

Aspectos generales

Título:	Análisis poblacionales de Registros Electrofisiológicos
Semestre:	2025-2
Sede:	Instituto de Fisiología Celular - Aula CD - Edificio de Ciencias Básicas
Horario:	Miércoles y Jueves de 10:15 a 12:15 h.
No. sesiones:	32
Duración de la sesión:	2.00
Cupo total:	15
Observaciones:	<p>El objetivo de este curso es presentar diversos métodos estadísticos de relevancia actual en el campo de la neurociencia cognitiva, brindando a los alumnos la capacidad de desarrollar una comprensión profunda sobre cómo aplicar estos métodos y reconocer sus limitaciones. Para lograrlo, se estudiarán artículos académicos que utilicen dichos métodos, a la vez que se abordarán los conceptos matemáticos fundamentales necesarios para justificar y generalizar su aplicación. El curso se enfocará en el estudio de oscilaciones cerebrales, fluctuaciones de la actividad neuronal y dinámicas poblacionales.</p> <p>Limitaciones del curso. Es requisito contar con conocimientos previos en programación (Python o Matlab) y en estadística no paramétrica para poder tomar el curso. Parte de la evaluación consistirá en ejercicios prácticos, en los cuales los alumnos analizarán bases de datos utilizando Python o Matlab. La otra parte serán exámenes teóricos.</p> <p>Zoom https://unam.zoom.us/j/83952082195?pwd=GppO1gNNCBFdgBlroeGvyEz5Kz0AnT.1</p> <p>ID de reunión: 839 5208 2195 Código de acceso: 8+DBZpS3</p>

Tutor responsable

Nombre:	ROMAN ROSSI POOL
Entidad:	Instituto de Fisiología Celular
Email:	romanr@ifc.unam.mx
Teléfono:	5556225586

Métodos de evaluación

MÉTODO	CANTIDAD	PORCENTAJE
Entrega de Ejercicios	20	50%
Exámenes	2	50%

Integrantes

INTEGRANTE	ROL	HORAS	ACTIVIDAD COMPLEMENTARIA
ROMAN ROSSI POOL	Responsable	64.00	
		64/64	

Introducción

Actualmente, las metodologías de registros electrofisiológicos nos permiten obtener señales de cientos o incluso miles de neuronas de manera simultánea en distintos circuitos cerebrales implicados en tareas cognitivas. Además, hemos alcanzado la capacidad de registrar las oscilaciones del potencial de campo utilizando cientos de electrodos en paralelo. Esta inmensa cantidad de datos nos ofrece una resolución mucho mayor para el estudio de los circuitos cerebrales, superando con creces las limitaciones de los métodos disponibles hace tan solo algunos años.

Para analizar las poblaciones de actividad neuronal, se emplean metodologías de reducción de dimensionalidad, como el análisis de componentes principales (PCA) o el análisis de modos latentes, que permiten identificar las dinámicas subyacentes o latentes de los circuitos neuronales. Estas dinámicas han permitido explicar una serie de procesos cognitivos previamente inexplorados o mal comprendidos. Además, estas técnicas han sido fundamentales para el avance en el campo de las interfaces cerebro-máquina, posibilitando la decodificación de movimientos y, más recientemente, la predicción del habla en humanos. Estos avances abren la puerta a aplicaciones revolucionarias en la neurorehabilitación y la comunicación asistida.

Por otro lado, las oscilaciones intra y extracraneales son analizadas a través de espectros de potencia, que permiten dividir las señales en bandas de frecuencia específicas, como delta, theta, alfa, beta y gamma. Cada una de estas bandas ha demostrado estar asociada con diferentes tipos de interacciones cognitivas y estados cerebrales. Además del análisis de las bandas individuales, se estudia la interacción entre diferentes bandas en regiones corticales separadas, conocida como coherencia, así como la sincronización entre las oscilaciones y las espigas neuronales registradas, lo que se denomina coherencia oscilaciones-espigas. Estos enfoques nos han permitido avanzar en la comprensión de cómo las diferentes regiones cerebrales se comunican y coordinan para ejecutar funciones cognitivas complejas.

Finalmente, el estudio de las fluctuaciones en la actividad neuronal ha proporcionado información crucial sobre la relación entre la codificación neuronal y las correlaciones de ruido. Estas investigaciones han arrojado luz sobre cómo los circuitos neuronales son capaces de separar eficazmente las señales relevantes para la codificación de la información, de aquellas asociadas al ruido, lo que optimiza el procesamiento sensorial y cognitivo. Además, al analizar la dinámica de estas fluctuaciones, se ha podido establecer una jerarquía en los procesos de las áreas y circuitos cerebrales, lo que ha permitido una mejor comprensión de cómo se organiza y distribuye el procesamiento de la información en el cerebro.

En resumen, estas nuevas herramientas y metodologías están transformando nuestra capacidad de estudiar la actividad neuronal a nivel poblacional, permitiendo desentrañar los mecanismos subyacentes a funciones cognitivas complejas, así como abrir nuevas fronteras en el desarrollo de tecnologías que interactúan directamente con el cerebro humano.

Objetivos

Objetivos del curso

Este curso de posgrado tiene como objetivo que los estudiantes adquieran un conocimiento profundo sobre las metodologías más avanzadas para el estudio de la actividad neuronal, enfocándose en el análisis de oscilaciones cerebrales, fluctuaciones en la actividad neuronal y dinámicas poblacionales. El enfoque será integral, combinando teoría y práctica, para que los alumnos desarrollen las habilidades necesarias para aplicar estas técnicas en contextos experimentales y analíticos dentro del campo de la neurociencia cognitiva.

Principales objetivos del curso:

1. Familiarización con el análisis de poblaciones neuronales: Los estudiantes aprenderán metodologías de reducción de dimensionalidad, como el análisis de componentes principales (PCA) y otros enfoques avanzados, que permiten identificar y modelar las dinámicas latentes en la actividad de poblaciones neuronales. Se explorará cómo estas dinámicas han sido clave para comprender procesos cognitivos previamente no entendidos y para el desarrollo de tecnologías como las interfaces cerebro-máquina.
2. Estudio de la sincronización y coherencia de las oscilaciones cerebrales: Se analizarán las oscilaciones neuronales utilizando espectros de potencia, con un enfoque en la división de las señales en bandas de frecuencia, y su relación con diversas interacciones cognitivas. Los estudiantes aprenderán a interpretar la coherencia entre diferentes áreas cerebrales y la sincronización entre oscilaciones y espigas neuronales, entendiendo cómo estas interacciones influyen en el procesamiento de la información en el cerebro.
3. Análisis de fluctuaciones y correlaciones neuronales: El curso abordará el estudio de las fluctuaciones en la actividad neuronal, centrándose en cómo estas influyen en la codificación de la información y en las correlaciones de ruido dentro de los circuitos neuronales. Los alumnos examinarán cómo los circuitos cerebrales gestionan estas fluctuaciones para optimizar el procesamiento de señales y cómo se establecen jerarquías funcionales entre las áreas cerebrales.
4. Integración de conceptos matemáticos y estadísticos: Se proporcionarán los fundamentos matemáticos y estadísticos necesarios para comprender y generalizar la aplicación de las técnicas de análisis neuronal. Esto permitirá a los estudiantes desarrollar una comprensión sólida de las bases teóricas de los métodos utilizados, capacitándolos para emplearlos eficazmente en investigaciones futuras.
5. Aplicación práctica a datos electrofisiológicos: Los estudiantes tendrán la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos analizando datos electrofisiológicos reales. Estas prácticas implicarán la utilización de las metodologías vistas durante el curso, lo que permitirá a los alumnos demostrar su capacidad para analizar la actividad cerebral con rigor científico y técnico.

Evaluación: La evaluación del curso consistirá en ejercicios prácticos de análisis de datos utilizando lenguajes de programación como Python o Matlab. Adicionalmente, los estudiantes deberán rendir dos exámenes teórico-prácticos en los que se evaluará la integración de los conceptos teóricos y metodológicos abordados a lo largo del curso.

Temario

1. Análisis de Potencial de Campo Local (Local Field Potential, LFP)
 1. Espectro de Potencia
 2. Filtros (Tapping)
 3. Coherencia entre dos señales periódicas.
 4. Coherencia entre Campo y Espiga (Spike Field Coherence, SFC)
 5. Spike Triggered Average (STA)
2. Análisis de Variabilidad Neuronal
 1. Autocorrelación de la tasa de disparo.
 2. Jerarquías de escalas temporales.
 3. Correlación de Ruido (Noise Correlation)
 4. Correlación de Tuning.
 5. Factor de Fano Poblacional.
 6. Matrices de Covarianza
3. Dinámicas Poblacionales
 1. Heterogeneidad de Respuestas

2. Selectividad Mixta
3. Vectores de respuesta poblacional y proyecciones
4. Similitud Coseno
5. Ajustes Lineales y no Lineales Poblacionales
6. Componentes Principales (PCA)
7. Componentes Principales Demixados (dPCA)
8. Ejemplos de estudios de dinámicas poblacionales
9. Aplicación de dinámicas poblacionales a interfaz cerebro máquina
10. Estudios geométricos y topológicos en dinámicas poblacionales
11. Métodos de reducción de dimensión no lineales

Bibliografía

Bibliografía Básica:

Libros de texto:

- 1) Cohen, M.X., 2014. Analyzing neural time series data: theory and practice. MIT press.
- 2) Steven Strogatz, Mark Friedman, A John Mallinckrodt, and Susan McKay. Non-linear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering. CRC press, 2018.
- 3) Daniel Durstewitz. Advanced Data Analysis in Neuroscience. Integrating Statistical and Computational Models. 1st Edition. Springer, 2017.
- 4) Gyorgy Buzsaki. Rhythms of the Brain. 2nd Edition. Elsevier Academic Press, 2011.
- 5) Karim Oweiss. Statistical Signal Processing for Neuroscience and Neurotechnology. 1st Edition. Academic Press, 2010.

Bibliografía Complementaria:

- 1) Elsayed, G.F. and Cunningham, J.P., 2017. Structure in neural population recordings: an expected byproduct of simpler phenomena?. *Nature neuroscience*, 20(9), pp.1310-1318.
- 2) Chaisangmongkon, W., Swaminathan, S.K., Freedman, D.J. and Wang, X.J., 2017. Computing by robust transience: how the fronto-parietal network performs sequential, category-based decisions. *Neuron*, 93(6), pp.1504-1517.
- 3) Ferro, D., van Kempen, J., Boyd, M., Panzeri, S. and Thiele, A., 2021. Directed information exchange between cortical layers in macaque V1 and V4 and its modulation by selective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(12).
- 4) Siegle, J.H., Jia, X., Durand, S., Gale, S., Bennett, C., Graddis, N., Heller, G., Ramirez, T.K., Choi, H., Luviano, J.A. and Groblewski, P.A., 2021. Survey of spiking in the mouse visual system reveals functional hierarchy. *Nature*, 592(7852), pp.86-92.
- 5) Wang, X.J., 2020. Macroscopic gradients of synaptic excitation and inhibition in the neocortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 21(3), pp.169-178.
- 6) Haegens, S., Vergara, J., Rossi-Pool, R., Lemus, L. and Romo, R., 2017. Beta oscillations reflect supramodal information during perceptual judgment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(52), pp.13810-13815.
- 7) Pesaran, B., Vinck, M., Einevoll, G.T., Sirota, A., Fries, P., Siegel, M., Truccolo, W., Schroeder, C.E. and Srinivasan, R., 2018. Investigating large-scale brain dynamics using field potential recordings: analysis and interpretation. *Nature neuroscience*, 21(7), pp.903-919.
- 8) Bi, Z. and Zhou, C., 2020. Understanding the computation of time using neural network models. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(19), pp.10530-10540.
- 9) Rossi-Pool, R., Zainos, A., Alvarez, M., Diaz-deLeon, G. and Romo, R., 2021. A continuum of invariant sensory and behavioral-context perceptual coding in secondary somatosensory cortex. *Nature communications*, 12(1), pp.1-13.
- 10) Yang, G.R. and Wang, X.J., 2020. Artificial neural networks for neuroscientists: A primer. *Neuron*, 107(6), pp.1048-1070.
- 11) Rossi-Pool, R., Zainos, A., Alvarez, M., Parra, S., Zizumbo, J. and Romo, R., 2021. Invariant timescale hierarchy across the cortical somatosensory network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(3).
- 12) Willett, F.R., Avansino, D.T., Hochberg, L.R., Henderson, J.M. and Shenoy, K.V., 2021. High-performance brain-to-text communication via handwriting. *Nature*, 593(7858), pp.249-254.
- 13) Gámez, J., Mendoza, G., Prado, L., Betancourt, A. and Merchant, H., 2019. The amplitude in periodic neural state trajectories underlies the tempo of rhythmic tapping. *PLoS biology*, 17(4), p.e3000054.
- 14) Rossi-Pool, R., Zainos, A., Alvarez, M., Zizumbo, J., Vergara, J. and Romo, R., 2017. Decoding a decision process in the neuronal population of dorsal premotor cortex. *Neuron*, 96(6), pp.1432-1446.
- 15) Kobak, D., Brendel, W., Constantinidis, C., Feierstein, C.E., Kepecs, A., Mainen, Z.F., Qi, X.L., Romo, R., Uchida, N. and Machens, C.K., 2016. Demixed principal component analysis of neural population data. *Elife*, 5, p.e10989.

- 16) Mante, V., Sussillo, D., Shenoy, K.V. and Newsome, W.T., 2013. Context-dependent computation by recurrent dynamics in prefrontal cortex. *nature*, 503(7474), pp.78-84.
- 17) Murray, J.D., Bernacchia, A., Roy, N.A., Constantinidis, C., Romo, R. and Wang, X.J., 2017. Stable population coding for working memory coexists with heterogeneous neural dynamics in prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(2), pp.394-399.
- 18) Murray, J.D., Bernacchia, A., Freedman, D.J., Romo, R., Wallis, J.D., Cai, X., Padoa-Schioppa, C., Pasternak, T., Seo, H., Lee, D. and Wang, X.J., 2014. A hierarchy of intrinsic timescales across primate cortex. *Nature neuroscience*, 17(12), pp.1661-1663.
- 19) Chaudhuri, R., Knoblauch, K., Gariel, M.A., Kennedy, H. and Wang, X.J., 2015. A large-scale circuit mechanism for hierarchical dynamical processing in the primate cortex. *Neuron*, 88(2), pp.419-431.
- 20) Sohn, H., Meirhaeghe, N., Rajalingham, R. and Jazayeri, M., 2020. A network perspective on sensorimotor learning. *Trends in Neurosciences*.
- 21) Sarafyazd, M. and Jazayeri, M., 2019. Hierarchical reasoning by neural circuits in the frontal cortex. *Science*, 364(6441).
- 22) Sarno, S., de Lafuente, V., Romo, R. and Parga, N., 2017. Dopamine reward prediction error signal codes the temporal evaluation of a perceptual decision report. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(48), pp.E10494-E10503.