

**Aspectos generales**

Título:	Estudios Teóricos en Biología Bajo el Enfoque de los Sistemas Complejos
<b>Programas de posgrado o planes de estudio en donde se ofertará adicionalmente:</b>	
Posgrado de Bioquímica	
Posgrado de Biología	
Área del conocimiento:	Fisiología
Semestre:	2026-2
Modalidad:	Tópico selecto
Horario:	Martes y Jueves de 9:30 a 12:30 horas modalidad híbrida (Modificable)
No. sesiones:	16
Horas por sesión:	3.0
Total alumnos PDCB:	8
Total alumnos:	12
Videoconferencia:	Si
Lugar donde se imparte:	Cuernavaca, Morelos, en el Instituto de Ciencias Físicas o el Centro de Ciencias Genómicas, según disponibilidad
Informes:	mekler@icf.unam.mx

**Métodos de evaluación**

MÉTODO	PORCENTAJE	NOTAS
Exámenes parciales (2)	25%	2 Exámenes parciales: el primero a medio semestre y el segundo al final
Participación en clase	30%	
Proyecto	15%	Presentación 5%, Escrito 10%
Tareas	20%	
Trabajos	10%	

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

El curso se basa en investigaciones previas o en curso lo cual le confiere un cariz de "in vivo". Muestra trabajo transdisciplinario con Investigadores/as del Hospital General de México, Instituto Nacional de Cardiología, Facultad de Ciencias y Medicina, UNAM, Instituto de Biotecnología, de Ciencias Físicas, UNAM, UAM, UAEM. Tiene una componente conceptual, por ejemplo, sobre no linealidad, El propósito del curso es trasmisir una forma de hacer ciencia trans-disciplinaria, relacionada con la biología, con el enfoque de los sistemas complejas. Se espera que redundará en el desarrollo académico del alumnado a lo largo de su formación y en trabajo futuro.

**Profesor (a) responsable**

Nombre:	Martínez Mekler Gustavo Carlos
Teléfono:	(777) 3291600 Ext. 38281
Email:	mekler@icf.unam.mx

**Profesores (as) participantes**

PARTICIPANTE	ENTIDAD O ADSCRIPCIÓN	SESIONES
<b>MARTÍNEZ MEKLER GUSTAVO CARLOS</b> Responsable	Centro de Ciencias Genómicas	Todo el curso Estudios Teóricos en Biología Bajo el Enfoque de los Sistemas Complejos

**Introducción**

El propósito del curso es trasmisir una experiencia acumulada de varias décadas de investigación sobre de fenómenos biológicos con la perspectiva de los sistemas complejos. El curso tendrá dos vertientes: modelación y análisis de datos. Se centrará sobre los temas de enumerados en el temario. Se buscará integrar el material

resaltando puntos en común tanto conceptuales (por ejemplo: determinismo, azar, no linealidad, criticalidad y complejidad) como metodológicos, se trata de proyectos interdisciplinarios donde la analogía es una componente fundamental. A medida que se vayan presentando las investigaciones se abordará la biología, matemática, física y cómputo necesarios para darle seguimiento. En algunos de los temas se comentará en forma somera sobre trabajo experimental y de campo pertinente. Se busca familiarizar a los alumnos con aspectos de la biología sistemas y la biología teórica.

La biología cuantitativa es una línea de investigación de frontera que tiene multitud de variantes, en el curso se plantean algunas de ellas. El enfoque de sistemas complejos es recurrente.

## Temario

### A) INTRODUCCIÓN

Presentación y discusión de conceptos de causalidad, determinismo, no linealidad, caos, fractalidad, criticalidad y complejidad, con comentarios históricos.

Semana 1

### B) MODELACIÓN

1) Fecundación de invertebrados marinos y mamíferos: quimiotaxis, capacitación y reacción acrosomal. Formalismos: redes lógicas de regulación, dinámicas deterministas y estocásticas, sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias acopladas, ecuaciones de nado.

Semanas: 2,3,4

2) Diferenciación Celular en embriones de *Xenopus Laevis*. Formalismos: ecuaciones diferenciales acopladas y mapeos acoplados.

Semana 5

3) Evolución de secuencias genéticas en el ciclo reproductivo de VIH. Formalismos: mapeos acoplados, ecuaciones estocásticas.

Semanas 6, 7

4) Origen del código genético Formalismos: (ecuaciones diferenciales en potenciales aleatorios.

Semanas 8,9

5) Sucesión ecológica en paleolagos. Formalismos: análisis de series de diatomitas, propiedades de invariancia de escala, no linealidad, criticalidad y complejidad.

Semanas 10, 11

### C) ANÁLISIS DE SERIES FISIOLÓGICAS

6) Comparación de comportamientos de presión arterial y pulso cardíaco en ante cambios ortostáticos en sanos y pacientes con enfermedad renal avanzada. Formalismos: análisis estadístico en términos de distribuciones de probabilidad con colas largas, distribución beta generalizada, índices de no linealidad y determinismo

Semanas 12 y 13

7) Estudio de la transición sueño/vigilia y clasificación de etapas de sueño. Formalismo: variaciones entrópicas a partir de distribuciones de datos electroencefalográficos en humanos con y sin insomia, índices de no linealidad y determinismo. Se estudiarán etapas de sueño y bandas espectrales.

Semana 14.

9) Alertas tempranas de COVID por medio de análisis de registros fisiológicos de relojes inteligentes en personal del Hospital General de México Formalismos: probabilidad, entropía.

Semana 15.

10) Análisis de partituras de 500 años de música occidental, estructura, determinismo, narrativa, percepción y composición. Formalismos: Índices de no linealidad, entropía de permutación, irreversibilidad, asimetría, criticalidad y complejidad.

Semana 16.

## Bibliografía

- [1] Reviewing mathematical models of sperm signaling networks, D. Priego Espinosa, Jesús Espinal-Enríquez, A Aldana, M Aldana, G Martínez-Mekler, J Carneiro, A. Darszon, Molecular Reproduction and Development, 91 e23766 (2024). <https://doi.org/10.1002/mrd.23766>
- [2] Espinal J, Darszon, A., Wood, C., Guerreo A, Martínez- Mekler G (2014). In silico determination of the effect of multi-target drugs on sea urchin spermatozoa motility. PLoS ONE 9(8): e104451
- [3] Wood C., Guerrero A., Priego D., Martínez-Mekler G, Carneiro G., Darszon A. (2015) Sea Urchin Sperm Chemotaxis, in Flagellar Mechanics and Sperm Guidance, editor Jacky J. Cossen, Bentham Books
- [4] Espinal J, Beltrán C, Darszon A, Martínez-Mekler G, (2017). Network model predicts that CatSper is the main Ca<sup>2+</sup> channel in the regulation of sea urchin sperm motility, Scientific Reports 7:4236.
- [5] Priego D, Darszon A, Martínez-Mekler G, Carneiro G, Modular mathematical analysis of the control of flagellar Ca<sup>2+</sup>-spike trains produced by CatSper and Cav channels in sea urchin, J., PLoS Comput Biol 16 (13): e1007605 (2020.)
- [6] Rasgos de criticalidad y complejidad en la fecundación, de redes complejas biológicas basada en su dinámica: La fecundación como caso de estudio, D. Priego Espinosa, A. Aguado, A Darszon, G. Martínez-Mekler, in press InterDisciplina, CEICH, UNAM (2019)
- [7] Mathematical model reveals that heterogeneity in the number of ion-transporters regulates the fraction of mouse sperm capacitation, A Aguado-Garacía, DA Priego-Espinosa, A- Aldana, A. Darszon, G Martínez-Mekler PLoS one 16 (11), e0245816 (2021).
- [8] Role of Spatial Distribution of IP3 Receptors in Ca<sup>2+</sup> Dynamics During *Xenopus* Mesodermal Induction, J. Díaz, N. Pastor, G. y G. Martínez-Mekler Developmental Dynamics 232 (2005)
- [9] Translocation Properties of Primitive Molecular Machines and Their Relevance to the Structure of the Genetic Code, M Aldana-Gonzalez, G. Cocho, H. Larralde, G. Martínez-Mekler, Journal of Theoretical Biology 220 (2003) 27-45
- [10] Nonlinear Modeling of the AIDS Virus Genetic Sequence Evolution G. Cocho, A. Gelover-Santiago, G. Martínez-Mekler A. Rodin International Journal of Modern Physics C 5 (1994) 321-324.
- [11] Scaling and Extended Scaling in Sediment Registers of a Paleolake Perturbed by Volcanic Activity, E. Ugalde, G Martínez-Mekler, G. Vilaclara, Physica A 366 (2006) 485-494.
- [12] Diatom-inferred palaeoenvironmental changes of a Pliocene lake disturbed by volcanic activity, G. Vilaclara, E. Cuna, G. Martínez-Mekler, E. Ugalde, J. Paleolimnol 44 (2010) 203
- [13] Insights from Discrete Generalized Beta Distribution of heart rate and blood pressure variability: an Integrated approach to the study of end-stage renal disease,

A Aguado, C Lerma, H Gonzalez, G Martínez-Mekler, enviado a Biomedical Physics and Engineering Express, IOPscience.

[14] Opportune warning of COVID-19 in a Mexican health care worker cohort: Discrete beta distribution entropy of smartwatch physiological records, A. Aguado-García, A. Arroyo-Valerio, G- Escobedo, N. Bueno-Hernández, P. V. Olgún-Rodríguez, M. F. Muñller, J. D. Carrillo-Ruiz, G. Martínez-Mekler, enviado a Biomedical Signaling Processing and Control., 84, (2023)

[15] Fourier phase index for extracting signatures of determinism and nonlinear features in time series, A. I. Aguilar\_Hernandez, D. M. Serrano-Solis, W.A. Rios-Herrera, J. D. Zapata-Berruecos, G. Vilaclara, G. Martínez-Mekler, Chaos 34 (2024) 013103.

Libros de texto:

[1]"Evolution of Networks", S.N. Dorogovtsev, J.F.F. Mendes. (Oxford University Press, Oxford, 2014).

[2]"Network Science ", Laszlo Barabasi,(Cambridge University Press, 2016)

[3]"A modern course in statistical physics, Linda E Reichl, (Wiley, 2016).

[4]"Nonlinear Dynamics and Chaos: with applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering" , S. Strogatz, (Perseus Books, 1994)

[5] Nonlinear Word, Yoshitsugu Oono, (Springer-Verlag, 2013)

[6]Complexity Science: the study of emergence, Henrik Jensen, (Cambridge University Press, 2023).

## Observaciones

1) En el área de especialidad se puso únicamente Fisiología ante la imposibilidad en la plataforma de agregar áreas adicionales, como: Biología del Desarrollo, Origen de la Vida, Evolución Ecológica entre otras, tal como se puede apreciar del temario

2) Es un curso teórico con fuertes ligas, con experimento , trabajo clínico y de campo.

3) El curso se impartiría en Cuernavaca, la posibilidad de video conferencia con otras sedes pudiera ser una opción interesante, si el posgrado lo permite y facilita.

4) El curso es apto para alumnado de los posgrados en Biología y Bioquímica que cumplan con los requisitos de formación matemática antes mencionados y para los de Física interesados con una inclinación hacia la biología.

Los requisitos poseer conocimientos de ecuaciones diferenciales a nivel de un curso introductorio. Poseer conocimientos básicos de programación para poder realizar cálculos numéricos y simulaciones en plataformas como Python, R o Matlab.