

Curso Optativo Posgrado en Ciencias Físicas, UNAM

No linealidad, Criticalidad, Complejidad: su Detección y sus Interrelaciones.

Objetivo: El desarrollo de la física estadística, los sistemas dinámicos, capacidad de cómputo inimaginable, inteligencia artificial, avances experimentales, entre otros, provee herramientas para el estudio y el entendimiento de la complejidad del mundo que nos rodea. En esta tarea una mayor comprensión de fenómenos no lineales, criticalidad y complejidad es fundamental. Con este propósito, en este curso se explora el desarrollo de métodos para detectar esos comportamientos a partir de datos, registros de muy diversa índole, con un enfoque integrador, que resalta las virtudes de un enfoque transdisciplinario que tiende puentes entre fenómenos de distinta naturaleza, aprovecha analogías y toma en cuenta las diferencias. Analizar las interrelaciones entre no linealidad, criticalidad y complejidad puede ser muy revelador a nivel de consideraciones epistemológicas y ontológicas como azar, determinismo, causalidad.

Para llevar el curso se requiere conocimiento básico de ecuaciones diferenciales, programación y transiciones de fase al menos a nivel termodinámico.

- 1) Introducción (1/2 semana)
 - Fenómenos no lineales, comportamientos críticos, universalidad, sistemas complejos.
- 2) Repaso sobre sistemas dinámicos: (1+1/2. semanas)
 - Formalismos: Ecuaciones diferenciales ordinarias, sistemas de ecuaciones ordinarias acopladas, mapeos, mapeos acoplados, ecuaciones diferenciales parciales, autómatas celulares.
 - Espacio fase: puntos fijos, ciclos límites, atractores, teorema de Peixoto.
 - El mapeo logístico, bifurcaciones, exponentes universales, exponente de Lyapunov.
- 3) Repaso de transiciones de fase y fenómenos críticos: (3 + 1/2 semanas)
 - Teorías de campo promedio, puntos críticos
 - Escalamiento de Widom, escalamiento de Kadanoff.
 - Grupo de Renormalización: percolación, modelos de espines, polímeros, teoría de campo Landau-Ginzburg.
- 4) Desarrollo de índices estadísticos de invarianza de escala, no linealidad, irreversibilidad, determinismo a partir de series de datos (5 semanas)
 - Análisis de fluctuaciones sin tendencias, exponente de Hurst y dimensiones fractales.
 - Dimensión de correlación de Grassberger-Procaccia y sus extensiones
 - Análisis Cuantitativo de Recurrencias.

- Entropía de Shannon, divergencias de Kulbek-Leibler, producción de entropía.
 - Entropía permutacional.
 - Distribución discreta beta generalizada, entropía beta, análisis de cumulantes.
 - Análisis de series espacio de fases de Fourier, índice J, grupo de renormalización, sincronización.
 - Efectos de ruido aditivo y multiplicativo.
- 5) Determinación de ecuaciones dinámicas a partir de datos. (3/2 semanas)
- SINDy “Sparse identifications of nonlinear dynamics”, introducción a conceptos y métodos de aprendizaje automático para comprender e implementar SINDy como método de identificación dispersa de ecuaciones dinámicas da partir de datos.
- 6) Aplicaciones de las herramientas desarrolladas previamente: (4 semanas)
- Dinámica cardio vascular: estudio de cambios de comportamientos estadísticos de pulso y presión ante maniobras ortostáticas, en sanos y pacientes con enfermedad renal avanzada.
 - Transición vigilia sueño, etapas de sueño, bandas de sueño en sanos y pacientes con insomnio.
 - Detección de cáncer de mama a partir de la caracterización de co-expresión genética.
 - Caracterización estadística de partituras de música “clásica”, identificación de correlaciones, escalamiento, reversibilidad y simetría, motivos y frases musicales.
 - Evolución de poblaciones de diatomeas en paleolagos sujetos a vulcanismo,

Bibliografía

“Nonlinear World”, Yoshitsugu Oono, (Springer-Verlag, Japan, 2013)

“Nonlinear dynamics and chaos”, H. Strogatz, (Perseus Books, Reading, MA, 1994).

“Chaos in dynamical systems”, E. Ott, (Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1993).

“Chaos, an introduction to dynamical systems”, K. T. Alligood, T. D. Sauer y J.A. Yorke (Spinger -Verlag , New York, 1996).

“Complexity Science”, Henrik J Jensen (Cambridge University Press, 2023).

“Introduction to Statistical Physics”, Silvio Salinas (Springer, 2001).

“Critical Phenomena in Natural Sciences”, D. Sornette. (Springer-Verlag, Berlin, 2006).

“Entropy, Order Parameters and Complexity”, James P. Sethna. (Oxford University Press, 2006).

“Lectures On Phase Transitions and the Renormalization Group” (Frontiers in Physics) by Nigel Goldenfeld”, Frontiers in Physics, Addison Weseley 1992

“Teaching the renormalization group”, H.J. Harris, L.P. Kadanoff, Am. J. Phys 44(6),1978

“Al borde del milenio: caos, crisis y complejidad”. En: Ciencias de la materia: Génesis y evolución de sus conceptos fundamentales . 1.a ed. México: Siglo XXI, 1999. Cap. 8, pags. 265-299

“Encuentros con la complejidad” Jorge Flores y Gustavo Martínez Mekler, eds, Siglo XXI, 2011, 224 pags., ISBN : 978-6070302787.

“Ciencia, Humanismo, Sociedad”. De Los Sistemas Complejos a la Imaginación Heterodoxa . Germinal Cocho. Ed. por Octavio Miramontes, Eduardo Vizcaya, Danna Oassis, Dulce Guillén y Jaime García. México: CopitarXives, 2017. ISBN: 978-1-938128-13-4.

“Recurrence plots for the analysis of complex systems”, N Marwan, MC Romano, M Thiel, J Kurths, Physics Reports 436 , 237-329, 2007

“Measuring the strangeness of strange attractors” P. Grassberger and I. Procaccia, , Physica D 9 (1983) 189-208

“Universality in rank-ordered distributions in the arts and sciences” (2009), G. Martínez-Mekler, R. Alvarez Martínez, M. Beltran del Rio, R. Mansilla, P. Miramontes, G. Cocho, PLoS ONE 4(3): e4791. doi:10.1371/journal.pone.0004791

“Fourier phase index for extracting signatures of determinism and nonlinear features in time series”, Alberto Isaac Aguilar-Hernández, Wady A- Rios-Herrera, José Fernando Zapata-Berruecos, Gloria Vilaclara, Gustavo Martínez-Mekler, Markus F. Müller, Chaos **34**, 013103 (2024). <https://doi.org/10.1063/5.0160555>

“Discovering governing equations from data by sparse identification of nonlinear dynamical systems”, S. L. Brunton, J. L. Proctor y J. N. Kutz, Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 113, no. 15, pp. 3932–3937, 2016.

“Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning”, S. L. Brunton y J. N. Kutz, Dynamical Systems, and Control, Cambridge University Press, 2nd ed., 2022.

“Insights from a discrete generalized beta distribution analysis of heart rate and blood pressure variability: an integrated approach to study end-stage renal disease”, Alejandro Aguado-García, Claudia Lerma, Juan C Echeverría, Gertrudis Hortensia González-Gómez and Gustavo Martínez-Mekler⁵, Biomed. Phys. Eng. Express **12** (2026) 015012 <https://doi.org/10.1088/2057-1976/ae250e>

“Multiple scaling behaviour and nonlinear traits in music scores”, Alfredo González Espinoza, Hernán Larralde, Gustavo Martínez-Mekler, Royal Society Open Science **4**: 171282. <http://dx.doi.org/10-1098/rsos.17182> (2018)

“The arrow of time along five centuries of classical music”, Alfredo González-Espinoza, Gustavo Martínez-Mekler, Lucas Lacasa, Physical Review Research 2, 033166 (2020)
<https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.033166>

“Scaling and Extended Scaling in Sediment Registers of a Paloeelake Perturbed by Volcanic Activity”, E. Ugalde, G Martínez-Mekler, G. Vilaclara, Physica A 366 (2006) 485-494