

**a) Denominación inequívoca del Curso.**

Procesos estocásticos: Aplicaciones a sistemas no lineales.

**b) Orientación:** Investigación.

**c) Justificación y fundamentación del curso.**

Este curso de postgrado, de carácter teórico-computacional-experimental, profundiza el estudio de los procesos estocásticos (introducido brevemente a los físicos en Mecánica Estadística II) Provee herramientas imprescindibles para quienes realicen investigaciones en física estadística y fisicoquímica, y muy provechosas para casi todas las especialidades de los doctorados que se dictan en nuestra facultad y en la de Ingeniería, así como en algunas especialidades de Ciencias Económicas y Sociales y Ciencias Agrarias. Está estructurado sobre la base de un curso dictado en la Universidad de Santiago de Compostela (USC, España) en mayo de 2003 (evolución de una versión previa dictada en la USC entre octubre y diciembre de 2000)

**d) Especificación de los docentes responsables del Curso:**

Dr. Roberto Raúl Deza, Profesor Titular, dedicación exclusiva, FCEyN-UNMdP.

**e) Programa Analítico (teoría y práctica) y bibliografía propuesta.**

Programa tentativo:

Clases teóricas:

- Introducción y revisión de conocimientos estadísticos previos.
- Definición de procesos estocásticos.
- Algunos ejemplos de procesos estocásticos.
- Procesos Markovianos, estacionarios, ergódicos. Espectro.
- La ecuación maestra.
- Resonancia estocástica en la aproximación de dos estados.
- La ecuación de Fokker-Planck y su resolución.
- Repaso de sistemas dinámicos.
- Ecuaciones diferenciales estocásticas (EDE).
- Resolución numérica de EDE.
- Potenciales de no-equilibrio.
- Integrales funcionales para procesos Markovianos y Gaussianos.
- Sistemas excitables y resonancia coherente.
- Ciclos límite, regímenes caóticos, sincronización.
- Sistemas extendidos.
- Inestabilidades y transiciones de fase inducidas por ruido.
- Ruidos no Gaussianos.

Clases prácticas:

a) resolución de ejercicios:

- Cálculo de la autocorrelación de algunos procesos.
- Ecuación de Fokker-Planck.

b) computacionales:

- Generación de números con estadística dada.
- Simulación de EDE.

- Cálculo de relación señal-ruido en aproximación de dos estados.
  - Resonancia coherente y sincronización en el modelo de FitzHugh-Nagumo.
  - Simulación numérica en sistemas extendidos.
- c) experimentales:
- Construcción y prueba de un generador de ruido Gaussiano.
  - Resonancia estocástica (con generador y osciloscopio).
  - Observación de la reacción de Belousov-Zhabotinskii.

Seminarios interdisciplinarios sobre temas de investigación actuales que sean del interés de la audiencia. Se proponen los siguientes:

- Sistemas químicos.
- Ecología.
- Sistemas biológicos.
- Sistemas socioeconómicos.

#### Bibliografía (básica y complementaria)

##### a) básica

- [1] N. G. Van Kampen, *Stochastic processes in physics and chemistry* (North-Holland, Amsterdam, 1983). ISBN: 0-444-86650-7.
- [2] W. Horsthemke y R. Lefever, *Noise-induced transitions: Theory and applications in physics, chemistry, and biology* (Springer-Verlag, Berlin, 1984). ISBN: 3-540-11359-2.
- [3] C. W. Gardiner, *Handbook of stochastic methods for physics, chemistry, and the natural sciences* (2da ed.) (Springer-Verlag, Berlin, 1985). ISBN: 3-540-15607-0.
- [4] H. Risken, *The Fokker-Planck equation: Methods of solution and applications* (2da ed.) (Springer-Verlag, Berlin, 1989). ISBN: 3-540-50498-2.
- [5] A. Papoulis, *Probability, random variables, and stochastic processes* (3ra ed.) (McGraw-Hill, New York, 1991). ISBN: 0-07-048477-5.
- [6] P. E. Kloeden y E. Platen, *Numerical solution of stochastic differential equations* (Springer-Verlag, Berlin, 1992). ISBN: 3-540-54062-8.
- [7] H. S. Wio, *An introduction to stochastic processes and nonequilibrium statistical physics* (World Scientific, Singapore, 1994). ISBN: 981-02-1571-1.
- [8] P. E. Kloeden, E. Platen y H. Schurz, *Numerical solution of SDE through computer experiments* (2da reimpr.) (Springer-Verlag, Berlin, 1997). ISBN: 3-540-57074-8.
- [9] J. García-Ojalvo y J. M. Sancho, *Noise in spatially extended systems* (Springer-Verlag, New York, 1999). ISBN: 0-387-98855-6.
- [10] V. S. Anishchenko, V. V. Astakhov, A. B. Neiman, T. E. Vadivasova y L. Schimansky-Geier, *Nonlinear dynamics of chaotic and stochastic systems: Tutorial and modern developments* (Springer-Verlag, Berlin, 2002). ISBN: 3-540-42419-9.

##### b) complementaria

- [11] L. Arnold, *Stochastic differential equations: Theory and applications* (John Wiley & Sons, New York, 1974). ISBN: 0-471-03359-6.
- [12] W. Weidlich y G Haag, *Concepts and models of a quantitative sociology: The dynamics of interacting populations* (Springer-Verlag, Berlin, 1983). ISBN: 3-540-11358-4.
- [13] B. Oksendal, *Stochastic differential equations: An introduction with applications* (Springer-Verlag, Berlin, 1985). ISBN: 3-540-15292-X.
- [14] Th. C. Gard, *Introduction to stochastic differential equations* (Marcel Dekker, New York, 1988). ISBN: 0-8247-7776-X.

- [15] F. Moss y P. V. E. McClintock (eds.), *Noise in nonlinear dynamical systems, 1: Theory of continuous Fokker-Planck systems* (Cambridge Univ. Press, Cambridge (UK), 1989). ISBN: 0-521-35228-2.
- [16] F. Moss y P. V. E. McClintock (eds.), *Noise in nonlinear dynamical systems, 2: Theory of noise induced processes in special applications* (Cambridge Univ. Press, Cambridge (UK), 1989). ISBN: 0-521-35229-0.
- [17] F. Moss y P. V. E. McClintock (eds.), *Noise in nonlinear dynamical systems, 3: Experiments and simulations* (Cambridge Univ. Press, Cambridge (UK), 1989). ISBN: 0-521-35265-7.
- [18] H. S. Wio, *Introducción a las integrales de camino* (Universitat de les Illes Balears, 1990). ISBN: 84-7632-076-0.
- [19] L. Schimansky-Geier, T. Pöschel, *Stochastic dynamics* (Springer-Verlag, Berlin, 1996). ISBN: 3-540-62893-2.
- [20] H. S. Wio, en *4th Granada lectures in computational physics*, Eds. P. L. Garrido y J. Marro (Springer-Verlag, Berlin, 1997). ISBN: 3-540-63086-4.
- [21] M. San Miguel y R. Toral, en *Instabilities and Nonequilibrium Structures V*, Ed. E. Tirapegui y W. Zeller (Kluwer, Dordrecht, 1999).
- [22] H. S. Wio, en *Fundamentals and applications of complex systems*, Ed. G. Zgrablich (Nueva Editorial Universitaria, San Luis (Arg.), 1999). ISBN: 950-609-021-1.
- [23] H. S. Wio y K. Lindenberg, en *Modern Challenges in Statistical Mechanics: Patterns, Noise, and the Interplay of Nonlinearity and Complexity*, Eds. V. M. Kenkre y K. Lindenberg (AIP Press (Melville (NY, USA), 2003). ISBN: 0-7354-0118-7.

**f) Pequeño resumen del tema.**

Primeras dos semanas: se desarrolla la teoría de procesos estocásticos, como herramienta idónea para incorporar la incerteza en la teoría de sistemas dinámicos. Cinco siguientes: se aplica esta teoría a sistemas no lineales concentrados. Octava semana, a los distribuidos. Dos últimas: se analizan problemas tomados de distintas disciplinas.

**g) Propuesta pedagógica.**

1. Objetivos de la asignatura.

Una vez finalizado el curso, los alumnos deberían evidenciar niveles de logro aceptables en los siguientes objetivos, formulados en función de los propósitos de formación enunciados en el punto c (Justificación y fundamentación del curso)

- 1) Comprender la importancia de un enfoque sistémico y transdisciplinario en ciertas situaciones.
- 2) Comprender la importancia de las fluctuaciones en ciertas situaciones.
- 3) Comprender la necesidad de un enfoque mesoscópico en dichas situaciones.
- 4) Modelar determinadas situaciones mediante ecuaciones diferenciales estocásticas (EDE) del tipo de Langevin.
- 5) Escribir programas para la simulación numérica de dichas EDE.
- 6) Interpretar los resultados de dichas simulaciones numéricas.
- 7) Conocer la utilidad de la propiedad de Markov de un proceso.
- 8) Conocer las limitaciones que impone al modelado la restricción a procesos Markovianos.
- 9) Conocer la ecuación maestra (EM) y la ecuación de Fokker-Planck (EFP) para la densidad de probabilidad a un tiempo de un proceso Markoviano.
- 10) Conocer y haber practicado las principales técnicas de resolución de EM y EFP.

- 11) Conocer la relación entre una EDE para el proceso y una EFP para su densidad de probabilidad a un tiempo.
- 12) Conocer las ambigüedades interpretativas que implica esta relación (Itô vs Stratonovich).
- 13) Conocer situaciones en que las fluctuaciones tienen un rol constructivo.
- 14) Tomar conciencia de diferentes aplicaciones de la teoría de procesos estocásticos en las diferentes ramas del conocimiento.
- 15) Según sea la audiencia, experimentar y adaptarse a un ámbito interdisciplinario.

## 2. Descripción de actividades de aprendizaje.

- 1) Resolución de problemas de aplicación de las técnicas explicadas en las clases magistrales.
- 2) Elaboración de programas de simulación numérica de EDE.
- 3) Asistencia a demostraciones y realización de tareas experimentales en electrónica y química.
- 4) Elaboración de un proyecto de investigación original de carácter acotado.

## 3. Cronograma de contenidos, actividades y evaluaciones.

Semana	Clase Nº	Carácter	Duración	Contenido	Actividad	Evaluación
1	1	Teórico	2 horas	Introducción y revisión de conocimientos estadísticos previos.	Clase magistral	Participación
	2	Teórico	2 horas	Definición de procesos estocásticos.	Clase magistral	Participación
	3	Práctico	2 horas	Generación de números con estadística dada.	Programación	Entrega prog
2	4	Teórico	2 horas	Algunos ejemplos de procesos estocásticos.	Clase magistral	Participación
	5	Teórico	2 horas	Procesos Markovianos, estacionarios, ergódicos. Espectro.	Clase magistral	Participación
	6	Práctico	2 horas	Cálculo de la autocorrelación de algunos procesos.	Resol. de ejerc.	Entrega guía
3	7	Teórico	2 horas	La ecuación maestra.	Clase magistral	Participación
	8	Teórico	2 horas	Resonancia estocástica en la aproximación de dos estados.	Clase magistral	Participación
	9	Práctico	2 horas	Construcción y prueba de un generador de ruido Gaussiano.	Lab. electrónica	Participación
4	10	Teórico	2 horas	La ecuación de Fokker-Planck y su resolución.	Clase magistral	Participación
	11	Teórico	2 horas	Repaso de sistemas dinámicos.	Clase magistral	Participación
	12	Práctico	2 horas	Ecuación de Fokker-Planck.	Resol. de ejerc.	Entrega guía
5	13	Teórico	2 horas	Ecuaciones diferenciales estocásticas (EDE).	Clase magistral	Participación
	14	Teórico	2 horas	Resolución numérica de EDE.	Clase magistral	Participación
	15	Práctico	2 horas	Cálculo de relación señal-ruido en aproximación de dos estados.	Programación	Entrega prog
6	16	Teórico	2 horas	Potenciales de no-equilibrio.	Clase magistral	Participación
	17	Teórico	2 horas	Integrales funcionales para procesos Markovianos y Gaussianos.	Clase magistral	Participación
	18	Práctico	2 horas	Resonancia estocástica (con generador y osciloscopio).	Lab. electrónica	Participación
7	19	Teórico	2 horas	Sistemas excitables y resonancia coherente.	Clase magistral	Participación
	20	Teórico	2 horas	Ciclos límite, regímenes caóticos, sincronización.	Clase magistral	Participación
	21	Práctico	2 horas	Res. coherente y sincroniz. en el modelo de FitzHugh-Nagumo.	Programación	Entrega prog
8	22	Teórico	2 horas	Sistemas extendidos.	Clase magistral	Participación
	23	Teórico	2 horas	Inestabilidades y transiciones de fase inducidas por ruido.	Clase magistral	Participación
	24	Práctico	2 horas	Simulación numérica en sistemas extendidos.	Programación	Entrega prog

9	25	Teórico	2 horas	Sistemas químicos.	Semin.interdisc	Participación
	26	Teórico	2 horas	Ecología.	Semin.interdisc	Participación
	27	Práctico	2 horas	Observación de la reacción de Belousov-Zhabotinskii.	Lab. de química	Participación
10	28	Teórico	2 horas	Ruidos no Gaussianos.	Clase magistral	Participación
	29	Teórico	2 horas	Sistemas biológicos.	Semin.interdisc.	Participación
	30	Teórico	2 horas	Sistemas socioeconómicos.	Semin.interdisc	Participación
		Práctico	18 horas	Trabajo final sobre tema original a elección (guiado).		Entrega

#### 4. Procesos de intervención pedagógica.

- 1) Clases magistrales, en las que se desarrollarán los conceptos y técnicas principales y se orientará a los alumnos para la lectura de la bibliografía.
- 2) Trabajos de laboratorio. Serán de dos tipos: computacionales y experimentales.
- 3) Seminarios. Se reserva esta modalidad para la presentación de la temática de carácter transdisciplinario. Combinará el estilo de la clase magistral con una discusión informal para favorecer la creación de un ámbito interdisciplinario. Eventualmente, se solicitará la colaboración de expertos para enriquecer los seminarios.
- 4) Trabajo de investigación con tutoría permanente.

#### h) Cantidad de horas de clases teórica y / o prácticas.

Teóricas: 42 - Prácticas: 36 (18 de clases más 18 del proyecto de investigación)

#### i) Duración del curso (densidad horaria)

Típicamente 4 horas teóricas más 2 horas prácticas semanales.

#### j) Duración del mismo (fecha establecida o tentativa)

10 semanas de clases durante el primer cuatrimestre de 2006, más un plazo a pactar con los alumnos para la entrega del proyecto de investigación individual.

#### k) Condiciones para la aprobación y especificación del sistema evaluativo.

- 1) Requisitos de aprobación: Verificación de participación activa en las clases magistrales y prácticas de laboratorio, presentación de guías de ejercicios resueltas y programas de simulación funcionando, presentación de proyecto de investigación final.
- 2) Criterios de evaluación: Participación activa, capacidad (en relación con su formación) de llevar a cabo los programas de simulación y proyecto de investigación final.
- 3) Descripción de las situaciones de pruebas a utilizar para la evaluación continua y final. Resolución de situaciones problemáticas reales (experimentales) y simuladas (teóricas y computacionales)

#### l) Cantidad de UVACs: 4,50

#### m) Presupuesto y financiamiento.

El curso no se arancelará, pero los gastos de fotocopias e insumos informáticos y electrónicos para las prácticas individuales correrán por cuenta de los alumnos. De todos modos, se estima que estos costos serán bajos.