

## **DENOMINACIÓN**

### **DINÁMICA NO LINEAL Y CAOS**

## **FUNDAMENTACIÓN**

Esta asignatura se encuentra dentro de las consideradas tecnologías básicas. Su propósito fundamental es el de introducir los conceptos físicos y matemáticos de la dinámica de no lineal y de sistemas caóticos. La asignatura posee un mayor énfasis en la formulación matemática del comportamiento de sistemas dinámicos.

Además, se desea transmitir en Dinámica no Lineal y Caos la metodología de trabajo en investigación y desarrollo sistemas dinámicos. El énfasis de la enseñanza está puesto en desarrollar la capacidad del maestrando para analizar y utilizar los conceptos con la finalidad de aplicarlos adecuadamente.

## **OBJETIVOS DE LA ASIGNATURA**

- Conocer los conceptos físicos-matemáticos involucrados en sistemas dinámicos y mapas no lineales.
- Determinar la estabilidad de sistemas y hallar los distintos tipos de soluciones: equilibrio, periódicas, cuasi-periódicas y caóticas.
- Adquirir un nivel formativo que facilite la incorporación del profesional a grupos de trabajo dedicados a la investigación científica y a la aplicación industrial en áreas de la especialidad.

## **CONTENIDOS**

**Unidad 1:** Conceptos Generales. Sistemas discretos (mapas). Sistemas continuos: autónomos y no autónomos. Diagramas de fase y flujos. Teoremas de existencia y unicidad. Disipación. Conjunto atractor. Conceptos de estabilidad. Estabilidad de Lyapunov. Estabilidad asintótica. Estabilidad de Poincaré. Estabilidad de Lagrange. Funciones de Lyapunov. Atractores.

**Unidad 2:** Soluciones de Equilibrio. En sistemas continuos: Linealización; Clasificación de las soluciones de equilibrio; Espacios propios y variedades invariantes. Sistemas discretos: Puntos fijos. Bifurcaciones de sistemas continuos. Bifurcaciones locales de puntos fijos. Diagramas de bifurcación. Bifurcaciones en mapas.

**Unidad 3:** Soluciones periódicas. Soluciones periódicas en sistemas autónomos. Teoría de Floquet: Aplicación a sistemas autónomos. Matriz de monodromía. Variedades de una solución periódica. Mapas de Poincaré. Aplicación a sistemas autónomos. Bifurcaciones.

**Unidad 4:** Soluciones cuasi-periódicas. Definición de soluciones cuasi-periódicas. Soluciones cuasi-periódicas en mapas de Poincaré: Numero de rotación. Mapa círculo (mapa seno).

**Unidad 5:** Caos. Caos en mapas. Caos en sistemas continuos. Rutas hacia el caos. Duplicación del período. Intermitencia. Tipo I. Tipo II. Tipo III. Tipo V. Rutas cuasi-periódicas. Escenario de Ruelle y Takens. Ruptura de toroide. Duplicación de toroide. Crisis.

**Unidad 6:** Herramientas para el análisis de movimientos y series de datos. Series temporales. Espacio de estado. Pseudo espacio de estado. Espectro de Fourier. Secciones de Poincaré. Funciones de auto-correlación. Exponentes de Liapunov. Evaluación de la dimensión del atractor.

## **ACTIVIDADES PRÁCTICAS**

Las actividades prácticas previstas para esta asignatura están dirigidas fundamentalmente a la implementación computacional de los esquemas numéricos más importantes que se presentan a lo largo del curso. Se prevé que el docente introduzca cada una de las actividades en clase, promoviendo la participación de los maestrandos, para que luego éstos desarrollen el trabajo en forma particular (no presencial). Se realizarán cinco actividades prácticas, cuyas consignas y

fechas de entrega serán informadas al comienzo de cada una de las unidades correspondientes, de modo que los maestrandos tengan tiempo suficiente de completar el trabajo en el tiempo estipulado. Los temas tentativos para estas actividades son los siguientes:

1. Conceptos de estabilidad. Funciones de Lyapunov.
2. Puntos fijos. Diagramas de bifurcación. Bifurcaciones en mapas.
3. Soluciones periódicas en sistemas autónomos. Teoría de Floquet.
4. Soluciones cuasi-periódicas.
5. Soluciones caóticas.

## **METODOLOGÍA**

La metodología de enseñanza para esta asignatura se plantea en el marco del dictado de clases teórico/prácticas. El sistema de enseñanza es de carácter teórico-práctico, con preeminencia del método deductivo (de lo general a lo particular) al tratar la faz teórica de los temas listados en los contenidos. En la medida de lo posible, siempre se intentará lograr que las clases por su contenido y modalidad de dictado estimulen la participación activa de los maestrandos.

Para desarrollar la habilidad de modelar y solucionar problemas, los maestrandos podrán disponer de un conjunto de ellos, entre los cuales se incluyen los problemas "tipo" que serán resueltos en clase bajo la tutela del profesor y discutidos entre los pares.

La parte teórica de las clases tiene carácter expositivo, donde el docente presenta las definiciones, conceptos y formulaciones matemáticas. La parte práctica presenta una mayor interacción, debido a que se aplica un formato de exposición dialogada, guiando a los maestrandos a realizar análisis deductivos para poder hallar las soluciones a los problemas planteados, usando los conceptos desarrollados en la parte teórica. Se destaca que las clases no están formalmente divididas en teóricas y prácticas si no que, según el tema, se produce una combinación de ambos tipos.

La estructura de dictado de la asignatura consiste en una clase semanal. Además, los docentes establecen un horario de consulta por fuera del horario de clases formal, el cual tiene una extensión adecuada en función de la cantidad de maestrandos inscriptos en la asignatura.

El docente explicará a los maestrandos cómo el contenido de los temas de la presente asignatura se relaciona con los conocimientos impartidos en las demás asignaturas de su plan de estudios de manera de articular las nuevas capacidades a las ya adquiridas. Se busca con esto formar una conciencia aeroespacial en el profesional dotando al mismo de la capacidad para interpretar la fenomenología propia de la actividad.

Se espera que la metodología aplicada desarrolle en el maestrando las competencias para:

- Comprender los conceptos físicos-matemáticos involucrados en sistemas dinámicos y mapas.
  - Describir las propiedades matemáticas fundamentales de sistemas dinámicos y mapas estables e inestables.
  - Describir matemáticamente los distintos tipos de soluciones de sistemas dinámicos y mapas inestables.
- Capacitar para resolver problemas en los cuales los sistemas dinámicos y mapas son determinantes para definir el fenómeno.
  - Plantear hipótesis válidas con la física del problema que se busca la solución.
  - Aplicar y manipular correctamente las ecuaciones necesarias y adecuadas para la resolución de problemas.
- Adquirir un nivel formativo que facilite la incorporación a grupos de trabajo dedicados a la investigación y a la aplicación industrial en áreas de la especialidad.
  - Desarrollar análisis crítico y criterio analítico sobre planteo y solución de problemas en dinámica no lineal.

Además, su busca que el maestrando adquiera competencias de carácter por un lado actitudinal, como el cumplimiento de responsabilidades y obligaciones y tener participación activa en las actividades prácticas, y por otro aptitudinal, como la identificación de problemas y la organización del tiempo y tareas.

## **EVALUACIÓN**

El sistema de evaluación está diseñado de forma tal que el maestrando deba mostrar que ha adquirido los conocimientos mínimos necesarios de todos los temas fundamentales de la asignatura. Consta de la elaboración de una carpeta de trabajos prácticos y un examen teórico-práctico final integrador. Tanto la carpeta como el examen final deben ser resueltos en forma individual.

El examen final incluye ejercicios prácticos y preguntas teóricas. Para realizar la evaluación de la parte práctica, los maestrandos pueden usar libros, manuales, apuntes y material didáctico relacionado con la asignatura. Puede recuperarse en una oportunidad el examen final.

Las condiciones para la promoción de la asignatura son:

- Entregar en tiempo y forma y aprobar la carpeta de trabajos prácticos con nota no inferior a siete (7) en una escala de cero (0) a diez (10).
- Aprobar el examen final integrador con nota no inferior a siete (7) en una escala de cero (0) a diez (10).

Los maestrandos que cumplan con el 50% de las exigencias referidas a las actividades evaluativas serán considerados regulares. Los demás estarán libres.

La nota final corresponderá al promedio ponderado de todas las instancias evaluativas.

## **CARGA HORARIA**

<b>Modalidad</b>	<b>Carga Teórica</b>	<b>Carga Práctica</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Presencial</b>	<b>45</b>	<b>15</b>	<b>60</b>
<b>A distancia</b>	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>	<b>15</b>	<b>60</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Del Rio, E.; Elaskar S.; "Experimental Results Versus Computer Simulations of Noisy Poincaré Maps in an Intermittency Scenario". Regular and Chaotic Dynamics, Vol 25, pp. 281-294, 2020.
- Elaskar, S.; del Río, E.; "New Advances on Chaotic Intermittency and its Applications". Springer, New York 2017.
- Elaskar, S.; del Río, E.; Gutiérrez Marcantoni, L.; "Nonuniform reinjection probability density function in type V intermittency". Nonlinear Dynamics, Vol. 92, pp. 683-697, 2018.
- Nayfeh A.; Balachandran B.; "Applied Nonlinear Dynamics. Analytical, Computational and Experimental Methods". John Wiley & Sons, Inc., New York 2004.
- Rössler, O.; Letellier, Ch.; "Chaos. The World of Nonperiodic Oscillations". Springer Nature, Switzerland, 2020.