



PROGRAMA DE ASIGNATURA

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre del curso o actividad | <b>ELECTIVO: SISTEMAS DINÁMICOS NO LINEALES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Nombre del programa          | Doctorado en Ciencias de la Ingeniería mención Automática                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Descripción                  | <i>Código: 12503 / 12504 / 12506, Nivel: 2 o 3, Créditos SCT-Chile: 10, Tipo: Electiva, Res. Plan de Estudios: Resolución N°3618 del 15/07/25.</i><br><br>La asignatura proporciona herramientas cuantitativas y cualitativas para el análisis de sistemas dinámicos no lineales continuos y discretos, con énfasis en su comportamiento complejo y en las potenciales aplicaciones interdisciplinarias, en Ciencias de la Ingeniería y en Control Automático.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Objetivos                    | Analizar, simular, caracterizar y obtener conclusiones cuantitativas y cualitativas sobre el comportamiento de los sistemas dinámicos no lineales continuos y discretos, con énfasis en la complejidad de las soluciones y en las potenciales aplicaciones interdisciplinarias, en Ciencias de la Ingeniería y en Control Automático.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Contenidos                   | <b>Unidad 1: Introducción, Aplicaciones y Clases. Tipología de Sistemas Dinámicos No Lineales.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Introducción, aplicaciones y clases.</li><li>• Tipos de sistemas dinámicos no lineales. Estructura.</li><li>• Simulación y aplicaciones de sistemas dinámicos no lineales continuos y discretos.</li><li>• Observación de cambios cualitativos ante modificaciones paramétricas.</li></ul> <b>Unidad 2: Tipología de Conjuntos Límite.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tipos de conjuntos límite de las trayectorias de los sistemas dinámicos no lineales: punto de equilibrio, punto fijo, solución periódica, punto periódico de período p, ciclo límite, solución subarmónica, solución cuasiperiódica y comportamiento caótico.</li><li>• Cálculo de puntos de equilibrio y puntos fijos, únicos o múltiples, de sistemas dinámicos no lineales continuos y discretos.</li><li>• Simulación y visualización de un caso particular de conjunto límite, en el espacio de estado.</li></ul> <b>Unidad 3: Análisis de Estabilidad Local y Global de Puntos de Equilibrio. Primer y Segundo Método de Lyapunov.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Primer Método de Lyapunov. Estabilidad local de un punto de equilibrio.</li><li>• Segundo Método de Lyapunov. Análisis de estabilidad de un punto de equilibrio. Determinación de un subconjunto del dominio de atracción de un punto de equilibrio estable. Verificación de estabilidad global.</li><li>• Segundo Método de Lyapunov, modificado para sistemas dinámicos discretos.</li></ul> <b>Unidad 4: Identificación de Conjuntos Límites Atractores y Determinación de Dominios de Atracción. Transformación de Poincaré e Identificación de Tipos de Soluciones en Estado Estacionario.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Identificación de un conjunto límite atractor y determinación de su dominio o cuenca de atracción.</li><li>• Identificación del tipo de conjunto límite correspondiente a la solución en estado estacionario de un sistema continuo en el tiempo, a partir del conjunto límite de un sistema discretizado mediante la transformación de Poincaré.</li><li>• Representación gráfica de un tipo de solución en estado estacionario de un sistema continuo en el tiempo y de su transformación de Poincaré.</li></ul> |



|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      | <p><b>Unidad 5: Estabilidad Estructural, Bifurcaciones y Comportamiento Caótico.</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Reconocimiento de las condiciones para las cuales un sistema es estructuralmente inestable.</li><li>• Reconocimiento del fenómeno de la bifurcación.</li><li>• Determinación de los puntos del espacio de parámetros, para los cuales se produce una bifurcación.</li><li>• Identificación del tipo de conjunto límite atractor de un sistema dinámico no lineal, en base a sus exponentes de Lyapunov.</li><li>• Identificación del comportamiento caótico de un sistema, a partir de los exponentes de Lyapunov u otra técnica cuantitativa.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Modalidad de evaluación              | <p><b>Estrategias Metodológicas:</b><br/>La metodología de enseñanza-aprendizaje es una combinación de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y aprendizaje invertido (<i>flipped learning</i>). Los aprendizajes de las unidades temáticas se desarrollan a través de trabajos escritos y simulaciones, basados en el estudio de bibliografía especializada. Los estudiantes trabajan en forma autónoma, con una orientación inicial de la profesora en cada trabajo, consultas de los y las estudiantes durante el desarrollo de cada módulo y exposiciones en clase. Se enfatiza el aprendizaje activo del o de la estudiante y su participación en clases, utilizando herramientas actuales y/o desarrollos propios, aplicando creatividad y autoaprendizaje. Las actividades son las siguientes:</p> <p><b>Cátedra:</b> Exposiciones orales de trabajos escritos, con participación individual y grupal de los estudiantes; estudio de casos de aplicación; explicaciones, discusión y respuesta a consultas en clase. Desde una perspectiva sistémica, se aplican las metodologías de Sistemas Dinámicos No Lineales en la solución de problemas de Ingeniería Eléctrica, multidisciplinarios o de otras disciplinas. Se realizan dos bloques semanales de docencia directa, de dos horas pedagógicas cada uno, en la sala de clases. La cátedra se desarrolla en la sala de clases, equipada con proyector.</p> <p><b>Estudio personal:</b> Individual o grupal. Desarrollo de problemas y estudio de la bibliografía principal y complementaria, tanto en español como en inglés. Investigación, resolución de problemas, desarrollo y análisis de modelos y simulaciones. Se aplican las metodologías desarrolladas en la cátedra, en simulaciones, modelos y aplicaciones obtenidos de la literatura especializada. Estudio del material de cátedra y laboratorio, disponible en el sitio de la asignatura en Universidad Virtual y en sus enlaces a la Biblioteca Digital de la Universidad.</p> <p><b>Evaluación:</b><br/>La asignatura se evalúa en base a los trabajos desarrollados, que incluyen todas las unidades temáticas. Dicha evaluación comprende todos los resultados de aprendizaje.</p> |
| Resultados de aprendizajes esperados | <p><b>Resultado de Aprendizaje General:</b><br/>Analizar, simular y caracterizar sistemas dinámicos no lineales continuos y discretos en el tiempo, aplicando diferentes métodos de análisis teóricos y heurísticos, para obtener conclusiones cualitativas sobre el comportamiento de dichos sistemas, y contribuir al objetivo de desarrollar la capacidad de generar y/o mejorar productos y soluciones tecnológicas, utilizando herramientas actuales y/o desarrollos propios, aplicando creatividad y autoaprendizaje desde una perspectiva sistémica, multidisciplinaria, innovadora y colaborativa.</p> <p><b>Resultados de Aprendizaje Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Identificar las principales entidades matemáticas (funciones, aplicaciones y difeomorfismos) y la clase de sistemas dinámicos no lineales continuos y discretos, mediante el reconocimiento de sus</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | <p>características bajo el marco conceptual de la teoría de sistemas dinámicos, para observar sus cambios cualitativos ante modificaciones paramétricas, vincular los aprendizajes con las potenciales aplicaciones y desarrollar el pensamiento sistémico del o de la estudiante en un contexto multidisciplinario.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Reconocer, describir y visualizar distintos tipos de conjuntos límite a partir de las trayectorias de sistemas dinámicos continuos y discretos en el tiempo, mediante cálculo o simulación, para el desarrollo de la capacidad de análisis cuantitativo y cualitativo del o de la estudiante.</li><li>• Obtener conclusiones sobre la estabilidad local y global de puntos de equilibrio de sistemas dinámicos no lineales continuos y discretos, y determinar un subconjunto del dominio de atracción de un punto de equilibrio estable, mediante la aplicación del Primer y el Segundo Método de Lyapunov, para desarrollar la capacidad de análisis y síntesis en base a metodologías cualitativas y cuantitativas, y su potencial aplicación en sistemas de control no lineal.</li><li>• Identificar, relacionar, representar gráficamente y obtener conclusiones sobre los conjuntos límites atractores de sistemas dinámicos no lineales continuos y discretos en el tiempo, mediante la Transformación de Poincaré, para desarrollar la capacidad de análisis y síntesis en base a metodologías cualitativas, cuantitativas y heurísticas, que sean de interés para su aplicación en problemas teóricos y prácticos, desde una perspectiva sistémica y multidisciplinaria.</li><li>• Analizar sistemas dinámicos continuos o discretos, aplicando diferentes métodos teóricos y heurísticos, para desarrollar la capacidad de obtener conclusiones cualitativas sobre la estabilidad estructural y la presencia de bifurcaciones o comportamiento caótico en sistemas teóricos o aplicados, en el desarrollo de soluciones a problemas de mediana complejidad, en base a un enfoque sistémico y multidisciplinario, integrando ciencias e ingeniería con una perspectiva innovadora orientada a diseño y emprendimiento.</li></ul> |
| Bibliografía | <p><b>Básica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mahla, I. (2024). <i>Guías de la asignatura Sistemas Dinámicos No Lineales</i>. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Santiago de Chile. Recuperado de <a href="https://uvirtual.usach.cl/moodle/course/view.php?id=12486">https://uvirtual.usach.cl/moodle/course/view.php?id=12486</a></li><li>• Sprott, J. C. (2010). <i>Elegant chaos: algebraically simple chaotic flows</i>. World Scientific, Singapore.</li><li>• Strogatz, S. H. (2014). <i>Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering</i>. 2nd edition. Westview Press. Boulder, USA.</li></ul> <p><b>Recomendada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Biblioteca Digital de la Universidad de Santiago, revistas interdisciplinarias y especializadas en sistemas dinámicos no lineales.</li><li>• Lynch, S. (2014). <i>Dynamical systems with applications using Matlab</i>. 2nd edition. Springer, Switzerland.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |