

TÍTULO: Astronomía Extragaláctica			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Astronomía			

FUNDAMENTOS

La Astronomía Extragaláctica constituye un campo esencial para comprender la estructura y evolución del Universo en escalas mayores a nuestra galaxia. En las últimas décadas, el avance de grandes relevamientos como SDSS, 2MASS y LSST ha transformado radicalmente nuestro conocimiento sobre la formación y dinámica de las galaxias, su distribución estadística, y su relación con el entorno cósmico. Este curso de posgrado está diseñado para ofrecer una actualización profunda y rigurosa, integrando observaciones de última generación con modelos teóricos contemporáneos. Está especialmente orientado a investigadores y graduados que busquen comprender desde las bases del modelo cosmológico hasta fenómenos complejos como la retroalimentación de AGNs o la formación jerárquica de estructuras, con especial énfasis en el análisis crítico y la aplicación de herramientas modernas.

OBJETIVOS

El curso tiene como objetivos profundizar la comprensión de los principales procesos físicos que rigen la formación y evolución de galaxias y estructuras a gran escala, y capacitar a los estudiantes para interpretar críticamente resultados observacionales y simulaciones. Se abordarán temas como el contenido energético del Universo, la clasificación y propiedades morfológicas de galaxias, la función de luminosidad, la influencia del entorno en la formación estelar, la determinación de masas galácticas y los mecanismos de formación de AGNs. Además, se promoverá el desarrollo de habilidades prácticas para el análisis de catálogos astronómicos y el uso de escalas de distancia. Al finalizar, los estudiantes estarán en condiciones de integrar estos conocimientos en proyectos de investigación avanzados en astrofísica extragaláctica.

PROGRAMA

Unidad I: Modelo Cosmológico y contenido energético del Universo

Se realiza una primera recorrida del Universo desde el Big Bang hasta el presente. Se da una breve introducción al modelo cosmológico estándar y de los parámetros fundamentales. Se analizan los diferentes contenidos de energía del Universo y cómo impactan en los modos de expansión del Universo. Se da una descripción rápida de las diferentes etapas evolutivas de la materia: fondo cósmico de microondas, edad oscura, primeras estrellas, reionización, formación y evolución de galaxias.

Unidad II: Propiedades básicas de galaxias

Definición de sub-sistemas, clasificaciones morfológicas tradicionales y automáticas. Identificación de Galaxias en grandes catálogos: 2df, SDSS, 2MASS, LSST. Propiedades integradas: Distribución de brillo superficial; Colores: Secuencia Roja y bimodalidad.; Barras; Galaxias enanas; Galaxias de bajo brillo superficial. Espectro de Galaxias. Síntesis espectral y Correlación morfología-espectro. Grupo Local de Galaxias.

Unidad III: Galaxias Peculiares

Galaxias interactuantes y fusiones de galaxias. Proceso de fricción dinámica y aproximación impulsiva. Evidencias Observacionales y predicciones de las simulaciones numéricas.

Unidad IV: Propiedades Estadísticas de galaxias

Determinación de la Función de luminosidad de galaxias. Corrección K. Función de tamaños y brillos superficiales.

Unidad V: Las Galaxias y su Entorno

Diferentes formas de definir entorno. Relación morfología densidad. Propiedades básicas de Grupos y Cúmulos de Galaxias.

Unidad VI: Formación Estelar en Galaxias

Procesos de Enfriamiento Radiativo. Tasa de Formación Estelar (SFR) y Función Inicial de Masa. Diferentes Indicadores de formación estelar. SFR vs. Entorno. Evolución de la SFR. Análisis de resultados observacionales y predicciones de los modelos.

Unidad VII: Escala de Distancias y Relaciones de Escala

Concepto de Indicadores de Distancia. Análisis comparativo de los diferentes indicadores de distancia: Estrellas Cefeidas, Supernovas Ia, Fluctuación de brillos superficial, etc. Relaciones de Escala y su aplicación a la Escala de Distancias: Plano fundamental y Relación Tully-Fisher.

Unidad VIII: Determinación de masas

Análisis comparativo de los diferentes métodos de estima de masas totales, de la materia oscura y de la componente estelar. Relación Masa-Luminosidad.

Unidad IX: Núcleos Activos de Galaxias (AGN)

Agujeros negros supermasivos. Análisis comparativos de los diferentes tipos de AGN observados. Descripción del modelo unificado. Mecanismos de formación y evolución de los agujeros negros centrales.

Unidad X: Formación de galaxias

Formación jerárquica de estructuras. Modelo de Press-Schechter para los halos de Materia Oscura. Descripción de la etapa de Re-ionización. Ley Schmidt-Kennicutt para la formación estelar en galaxias. Análisis comparativo de los diferentes procesos de retroalimentación. Formación de discos y esferoides. Predicciones de los Modelos Semianalíticos.

PRÁCTICAS

Prácticas presenciales de diferentes actividades supervisadas y evaluadas mediante informes

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Mapa del Universo: A Map of the Universe. Gott III y otros. 2003. astro-ph/0310571.
- Review de Cosmología: TASI Lectures: Introduction to Cosmology. Trodden & Carroll. 2004. Astro-ph 0401547 y The Dark Universe. Bartelmann. 2009. Astro-ph 0906.5036.

Morfología de Galaxias:

- Evolution of galaxy morphology. van den Bergh. 2002. astro-ph/0208160.
- A new approach to galaxy morphology: I. Analysis of the SDSS EDR. Abraham y otros. 2003. astro-ph/0301239.
- Automated Galaxy Morphology: A Fourier Approach. Odewahn y otros. 2001. atroph/0110275.
- Morphological Transformation from Galaxy Harassment. Moore y otros. 1998. ApJ 495, 139. astro-ph/9510034.

Distribución de energía: Spectral Energy Distribution ... Wilkes. astro-ph/0310905.

Indicadores de formación estelar: Star Formation rate indicators in the SDSS. Hopkins y otros. 2003. astro-ph/0306621.

Propiedades de Galaxias:

- The Galaxy Luminosity Function and Luminosity Density at Redshift $z=0.1$. Blanton y otros. 2002. astro-ph/0210215.
- The size distribution of galaxies in the SDSS. Shen y otros. 2003. astro-ph/0301527.

Entorno vs. Propiedades de Galaxias:

- Relationship between environment and the broad-band optical properties of galaxies in the SDSS.
- Blanton y otros. 2003. astro-ph/0310453.
- Galaxy star-formation as a function of environment in the EDR of the SDSS. Gomez y otros. 2002. astro-ph/0210193.

Escala de distancias:

- A Critical Review of Selected Techniques for Measuring Extragalactic Distances. George Jacoby. PASP, 1982, V104,678.
- Freedman et al. 2001ApJ...553...47F.

Relaciones de escalado:

- The fundamental plane Bender et al. Galaxy Scaling Relations, ESO Astrophysical Symposia, 1996.
- Morfología vs. Tipos Espectrales: Correlating galaxy morphologies and spectra in the 2dFGRS. D.S Madgwick. 2002. astro-ph/0209051.

Objetos Activos:

Modelo unificado: AGN Unification: An Update. Urry. Astro-ph/0312545.
Georgina Coldwell. 2007. Tesis doctoral. FaMAF.

Determinación dinámica de masa:

- <http://www.usm.unimuenchen.de/people/botzler/lecture/lect.html>.

Galaxias a alto redshift:

- The Hubble Deep Fields. Ferguson y otros. 2000. astro-ph/0004319.

Formación de Galaxias:

- Galaxy Formation: clues from the milky way. Gilmore. 2002. astro-ph/0211023.

- The formation and evolution of field massive galaxies. Cimatti. 2003. astro-ph/0303023.

- The properties of spiral galaxies: confronting hierarchical galaxy formation models with observations. Bell y otros. 2003. astro-ph/0303531.

- The Hierarchical Origin of Galaxy Morphologies. Steinmetz & Navarro. 2002. astro-ph/0202466.

- Formación de Elípticas: Formation and Cosmic Evolution of Elliptical Galaxies. Pacheco & Mohayaee. 2003. astro-ph/0301248.

- Formation and Evolution of Galaxies. White. 1994. astro-ph/9410043.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Examen oral

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Licenciatura en astronomía

TÍTULO: Curso Intensivo de Fluorescencia de Rayos X: Fundamentos, Instrumentación y Aplicaciones			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: -	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 15 horas de teoría y 20 horas de práctica			
CARRERA/S: No estructurado			

FUNDAMENTOS

La fluorescencia de rayos X (XRF) es una técnica analítica no destructiva de gran relevancia en múltiples áreas de la ciencia, desde la caracterización de materiales hasta el análisis ambiental, patrimonial y biomédico. Este curso intensivo está orientado a brindar a los/as participantes una formación práctica y actualizada sobre los fundamentos físicos de la técnica, las configuraciones usuales instrumentales, los métodos de cuantificación y las aplicaciones más relevantes.

En el marco del reciente montaje de un nuevo equipamiento de XRF en FAMAFA, este curso busca fortalecer las capacidades analíticas de investigadores/as y estudiantes de posgrado, facilitando la incorporación y el perfeccionamiento del uso de esta herramienta en sus líneas de trabajo e investigación.

OBJETIVOS

Comprender los principios físicos de la fluorescencia de rayos X. Conocer las configuraciones instrumentales más comunes y sus modos de operación. Aplicar modelos de cuantificación y análisis espectral. Explorar aplicaciones prácticas en diferentes campos. Discutir avances recientes y perspectivas en técnicas XRF avanzadas (μ -XRF, HR-XRF, XRF en CT).

PROGRAMA

Unidad I: Producción y propiedades de los rayos X

Introducción y marco histórico. Radiación Continua. Radiación característica. Absorción de rayos X. Producción de fluorescencia. Dispersión elástica e inelástica de rayos X. Tubo de rayos X. Radiación de sincrotrón.

Unidad II: Sistema de detección de fotones.

Sistemas dispersivos en energía. Detectores de estado sólido. Preamplificador. Amplificador. Conversor analógico digital y procesador multicanal. Tiempo muerto. Picos suma. Pico de escape. Eficiencia. Resolución. Nociones básicas de sistemas dispersivos en longitud de onda.

Unidad III: Condiciones de medición y análisis espectral

Preparación de muestras. Errores en la medición. Límite de detección. Selección del tubo de rayos X y sus parámetros. Medio. Tiempo de medición. Determinación de las intensidades de los picos. Deconvolución. Fondo. Uso de software específico.

Unidad IV: Análisis Cuantitativo.

Ecuación de Sherman. Muestra extensa. Muestras delgadas. Curva de calibración. Adición de

estándar. Parámetros fundamentales. Cuantificación con estándares. Límite de detección. Otros métodos de cuantificación.

Unidad V: Avances actuales.

Micro-XRF, imágenes XRF, tomografía 3D con XRF, Espectroscopía de emisión de alta resolución, reflexión total, cuantificación por método montecarlo, etc.

PRÁCTICAS

Práctica 1. Estudio de la absorción de rayos X. Analizar la atenuación de rayos X en función del espesor y del tipo de material. Medición de espectros transmitidos. Construcción de curvas de atenuación. Discusión de resultados.

Práctica 2. Calibración y caracterización de un detector. Calibración en energía de un detector de estado sólido. Determinación de la resolución (FWHM), variación en función del elemento y el shaping time. Discusión de resultados.

Práctica 3. Análisis espectral. Caracterizar la estructura de un espectro XRF y aplicar métodos de deconvolución. Identificación de líneas características. Separación de picos solapados. Evaluación del fondo y correcciones. Cambios en el espectro según condiciones experimentales (ánodo, tensión, corriente). Discusión de resultados.

Práctica 4. Análisis cuantitativo. Cuantificación por curva de calibración. Análisis cuantitativo y semicuantitativo.

Práctica 5 Seminario taller de aplicaciones actuales de XRF. Discusión de artículos recientes de interés de los alumnos. Breve presentaciones orales y discusión en grupo.

BIBLIOGRAFÍA

X-ray fluorescence spectrometry. Ron Jenkins (John Wiley & Sons 1999).

X-ray Fluorescence Spectroscopy for Laboratory Applications. Michael Haschke. Jörg Flock. Michael Haller (Wiley-VCH 2021).

Handbook of X-Ray Spectrometry, Practical Spectroscopy Series, Van Grieken, R. E. Y Markowicz, (CRC Press 2001).

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

La evaluación del curso se realizará mediante la corrección de las actividades prácticas individuales propuestas durante el desarrollo del mismo. Se valorará especialmente: la participación activa en las clases y prácticas; la correcta interpretación de los espectros y datos experimentales; la aplicación adecuada de los conceptos teóricos al análisis de resultados; la participación en el seminario final. Para regularizar el curso deberá entregar y aprobar el 80 % de las actividades prácticas. La aprobación del curso requerirá la entrega y aprobación del 100% de las actividades prácticas y un examen final individual integrador

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Este curso está orientado a estudiantes de posgrado de distintas carreras del área de las ciencias exactas y naturales (física, química, geología, biología, ciencia de materiales, entre otras), que posean conocimientos básicos de matemática y física atómica.

Para el desarrollo de las actividades prácticas y el análisis de datos, se requiere que cada participante disponga de una computadora personal.

TÍTULO: Dinámica de espines en Resonancia Magnética Nuclear			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 15 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

El estudio de la dinámica de espines en Resonancia Magnética Nuclear (RMN) es esencial para interpretar adecuadamente los datos experimentales obtenidos mediante secuencias de pulsos convencionales. Asimismo, el diseño racional de secuencias de pulsos personalizadas se fundamenta directamente en la comprensión de la dinámica de los espines nucleares y electrónicos. Este conocimiento permite optimizar la adquisición de datos, mejorar la resolución espectral y obtener información estructural, conformacional y dinámica de las moléculas. Técnicas avanzadas, como la RMN bidimensional, la espectroscopía de correlación y la imagen por resonancia magnética (MRI), dependen críticamente de una descripción precisa de la evolución temporal de los espines nucleares. En conjunto, la dinámica de espines no solo constituye la base física de la RMN, sino que también resulta indispensable para su aplicación eficaz en múltiples áreas de investigación científica.

OBJETIVOS

1. Comprender los principios fundamentales de la dinámica de espines nucleares, incluyendo la precesión, la ecuación de Bloch y los mecanismos de relajación T_1 y T_2 .
2. Analizar la evolución temporal del sistema de espines bajo la acción de campos magnéticos y pulsos de radiofrecuencia, utilizando tanto descripciones clásicas como cuánticas.
3. Interpretar el efecto de diferentes secuencias de pulsos sobre la magnetización, con énfasis en técnicas convencionales.
4. Aplicar simulaciones numéricas para modelar la dinámica de espines, resolver la ecuación de Bloch o el Hamiltoniano de espines, y predecir/contrastar resultados experimentales
5. Desarrollar habilidades para diseñar y optimizar secuencias de pulsos, en función de objetivos experimentales específicos y del comportamiento dinámico del sistema de espines.

PROGRAMA

Unidad I: Breve repaso de RMN.

- a) Magnetismo nuclear.
- b) El espectrómetro de RMN.
- c) Descripción clásica de la RMN.
- d) Descripción cuántica de la RMN de sistemas de espines no-interactuantes.
- e) Aplicaciones más relevantes de la RMN.

Unidad II: Resumen de mecánica cuántica

- a) Operadores.
 - i) Conmutadores.
 - ii) Representación matricial.
 - iii) Notación de Dirac.

- iv) Funciones de operadores.
- v) Definiciones de conmutación cíclica.
- b) Momento angular.
 - i) Operadores momento angular.
 - ii) Operadores rotación.
 - iii) Autovalores y autofunciones del operador momento angular.
 - iv) Representación matricial de los operadores momento angular.
 - v) Momento angular de espín.
 - vi) Operadores de espín.
 - vii) Base Zeeman para espines.
 - viii) Espines con $I=1/2$.
 - ix) Espines con $I>1/2$.

Unidad III: Primeros pasos con Matlab/Python

- a) Cálculos numéricos.
 - i) Matrices y álgebra lineal con Matlab/Python.
 - ii) Funciones de operadores con Matlab/Python.
 - iii) Representaciones gráficas.
- b) Implementación de cálculos simbólicos.
 - i) Definiciones de variables.
 - ii) Operaciones simbólicas.
 - iii) Combinaciones con variables numéricas.

Unidad IV: Hamiltonianos en RMN

- a) Hipótesis del Hamiltoniano de espín.
- b) Interacciones electromagnéticas.
- c) Interacciones internas y externas al sistema de espín.
- d) Interacciones externas.
 - i) Interacciones con el campo estático.
 - ii) Campo de radiofrecuencia.
 - iii) Gradiente de campo magnético.
- e) Interacciones internas.
 - i) Hamiltoniano de corrimiento químico.
 - ii) Hamiltoniano de acoplamiento dipolar.
 - iii) Hamiltoniano de acoplamiento indirecto ("J").

Unidad V: El operador densidad de espín

- a) Poblaciones y coherencias.
- b) Órdenes de coherencia.
- c) Equilibrio térmico en presencia de un campo magnético estático.
- d) El operador densidad en el sistema rotante.
- e) Operadores producto.

Unidad VI: Elementos de una secuencia de pulsos

- a) Pulsos de radiofrecuencia.
 - i) Pulsos de banda ancha.
 - ii) Pulsos selectivos.
 - iii) Pulsos con diferentes perfiles.
 - iv) Trabajo práctico con Matlab/Python.

- b) Evoluciones libres.
- i) Evoluciones libres en presencia de campos magnéticos inhomogéneos.
 - ii) Evoluciones con Hamiltonianos lineales en operadores de espín.
 - iii) Evoluciones con Hamiltonianos bilineales en operadores de espín.
 - iv) Trabajo práctico con Matlab/Python.
- c) Adquisición de señales.
- i) Ancho espectral.
 - ii) Aliasing.
 - iii) Trabajo práctico con Matlab/Python.

Unidad VII: 7) Experimentos más representativos y simulaciones numéricas con Matlab/Python

- a) La señal de inducción libre (FID)
- b) El eco de Hahn.
- c) El eco estimulado.
- d) La secuencia CPMG (Carr-Purcell-Meiboom-Hill).
- e) Inversion Recovery y Saturation Recovery.
- f) COSY: correlation Spectroscopy.
- g) Trabajos prácticos varios con Matlab/Python.

PRÁCTICAS

Se desarrollarán actividades prácticas de simulación, en el aula designada para las clases. Se evaluará el desempeño en función de las presentaciones escritas (un informe por cada práctico) con un resumen de los resultados de cada trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Spin Dynamics. Basics of Nuclear Magnetic Resonance. M. H. Levitt. John Wiley and Sons, 2008.
- Quantum Description of High-Resolution NMR in Liquids. M. Goldman. Oxford University press, 1988.
- Principles of Nuclear Magnetic Resonance in One and Two Dimensions, Oxford, 1994.
- Principles of Nuclear Magnetic Resonance Microscopy. P. Callaghan. Clarendon Press, Oxford, 1991.
- NMR: Tomography, Diffusometry, Relaxometry, R. Kimmich, Springer Verlag, New York, 1997.
- Translational Dynamics & Magnetic Resonance. P. Callaghan. Oxford, 2011.
- Single Sided NMR. F. Casanova, J. Perlo, B. Blümich. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
- Computer Simulations in Solid State NMR I, Spin Dynamics theory. M. Edén, Concepts on Magnetic Resonance vol 17, 117-154 (2003).
- Computer Simulations in Solid State NMR II, Implementations for Static and Rotating Samples. M. Edén, Concepts on Magnetic Resonance vol 18, 1-23 (2003).
- Computer Simulations in Solid State NMR III, Powder Averaging. M. Edén, Concepts on Magnetic Resonance vol 18, 24-55 (2003).
- Zeeman Truncation in NMR I. The Role of Operator Commutation. M. Edén, Concepts on Magnetic Resonance vol 43, 91-108 (2015).
- Zeeman Truncation in NMR II. Time Averaging in the Rotating Frame. M. Edén, Concepts on Magnetic Resonance vol 43, 109-126 (2015).

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para regularizar el curso se requiere aprobar todos los trabajos prácticos. Para aprobar la materia, se realizará un trabajo práctico final (orientado hacia un problema a resolver de forma numérica) que englobe todos los conocimientos adquiridos a la largo del curso.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

- 1) Conocimientos básicos de Resonancia Magnética Nuclear.
- 2) Rudimentos de Mecánica cuántica.
- 3) Conocimientos básicos del uso de Matlab o de Python.

TÍTULO: Elementos de la Teoría de los Fenómenos Críticos			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 20 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

El estudio de los fenómenos críticos en sistemas en equilibrio termodinámico es probablemente el desarrollo teórico más acabado y exitoso de la Física Estadística. El mismo encuentra su campo de aplicación principal en los sistemas comprendidos dentro del área de la Física conocida como Materia Condensada. Así, la Teoría de los Fenómenos Críticos constituye una herramienta indispensable para quienes trabajan en dicha área.

Por otra parte, en la última década se ha detectado la existencia de fenómenos críticos en sistemas fuera del equilibrio en áreas que exceden la propia Física, tales como neurociencias, clima, geología, biología celular, medios granulares, etc., solo por citar algunos ejemplos. En muchos de estos casos, se ha encontrado que la fenomenología general encuadra casi al detalle en el formalismo originalmente desarrollado para sistemas en equilibrio termodinámico. Así, resulta de interés el conocimiento del formalismo básico para estudiantes de Doctorado en Física que desarrollen sus trabajos de Tesis en áreas afines a la Física Estadística, Materia Condensada, Materia Blanda, Biofísica y Sistemas Complejos en General.

OBJETIVOS

El objetivo general del curso es dotar a los estudiantes tanto del conocimiento general de la teoría, como de herramientas de cálculo específicas. El curso comienza con una descripción general de la fenomenología de los Fenómenos Críticos, continúa con las teorías clásicas (teorías de campo medio) y culmina con la teoría de escala y el Grupo de Renormalización. A título de aplicación, se incluyen también algunas nociones acerca del tratamiento del fenómeno de percolación.

Entre los objetivos particulares se espera que los estudiantes asimilen no solo los rudimentos teóricos, como también desarrollen un mínimo de capacidad para realizar cálculos de campo medio, Monte Carlo, Grupo de Renormalización y análisis de escala con el tamaño de modelos standard en la Mecánica Estadística, tales como el Modelo de Ising, Potts, Esférico, Landau-Ginzburg, Percolación de sitios, etc..

PROGRAMA

Unidad I: Introducción: Nociones básicas de transiciones de fase continuas.

Fenomenología. Ejemplos de transiciones de fase continuas. Caracterización de transiciones de fase continuas: parámetro de orden y exponentes críticos. Universalidad. Termodinámica y Mecánica Estadística de transiciones de fase. Ejemplos de Modelos Clásicos: Modelos de Ising, Heisenberg, Potts, etc.. Límite termodinámico. Ruptura espontánea de simetría.

Unidad II: Modelos exactamente solubles.

Algunos modelos exactamente solubles para fluidos. Gases de Tonks y Takhashi. Argumento de Ornstein para el gas de Van der Waals. Método de matriz de transferencia para modelos definidos sobre redes. Solución exacta de modelos unidimensionales: modelo de Ising y modelo n-vectorial. No existencia de transiciones de fase en sistemas unidimensionales con interacciones de corto alcance. Modelo de Ising en $d=2$. Modelos Gaussiano y Esférico.

Modelo de Curie-Weiss.

Unidad III: Teorías clásicas de los Fenómenos Críticos.

Teoría de campo medio. Desigualdades variacionales. Aproximación de Bethe-Peierls. Soluciones de modelos definidos en árboles de Cayley y red de Bethe. Teoría fenomenológica de Landau. Transiciones de fase de primer orden en la teoría de Landau. Puntos tricríticos. Teoría de Landau-Ginzburg. Criterio de Ginzburg.

Unidad IV: Simulaciones Numéricas en Física Estadística mediante el Método de Monte Carlo.

Generalidades sobre el Método de Monte Carlo. El Método de Monte Carlo en Física Estadística. Cadenas de Markov y balance detallado. Algoritmos de Monte Carlo: Metropolis, Glauber, etc.

Unidad V: Teorías de escala

Funciones homogéneas generalizadas. La hipótesis de escala y relaciones entre exponentes críticos. Spines de bloque y relaciones de escala para las funciones de correlación. Hipótesis de escala dinámica.

Unidad VI: Grupo de Renormalización

El Grupo de Renormalización en el espacio real. Puntos fijos, estabilidad, homogeneidad de las funciones termodinámicas y universalidad. Ejemplos de transformaciones de renormalización. Nociones de Grupo de Renormalización en el espacio de los momentos. Grupo de Renormalización y transiciones de fase discontinuas. Efectos de "crossover". Teorías de escala con el tamaño finito. Aplicaciones en simulaciones numéricas

Unidad VII: Percolación

Fenomenología y descripción general. Solución en una dimensión. Campo medio: solución en la red de Bethe. Percolación en la red de Erdős-Rényi. Exponentes críticos y relaciones de escala.

PRÁCTICAS

Resolución de problemas acerca de las técnicas explicadas en clase, contenidos en guías de trabajos prácticos.

Implementación de un software de simulación numérica del comportamiento crítico del modelo de Ising en $d=2$ y análisis del comportamiento en escala con el tamaño finito del mismo. La supervisión se lleva a cabo durante las clases prácticas.

BIBLIOGRAFÍA

N. Goldenfeld, Lectures on Phase Transitions and the Renormalization Group, Frontiers in Physics 85, Addison-Wesley Publishing Co. (1992).

C. J. Thompson, Classical Equilibrium Statistical Mechanics, Clarendon Press, Oxford (1988).

K. Huang, Statistical Mechanics, 2nd ed., John Wiley & Sons, (1987).

J. J. Binney, N. J. Dowrick, A. J. Fisher and M. E. J. Newman, The Theory of Critical Phenomena: an Introduction to the Renormalization Group, Oxford Science Publications (1993).

D. Stauffer and A. Aharony, Introduction to Percolation Theory, 2nd ed., Taylor & Francis Ltd., London (2003)

H. Nishimori and G. Ortiz, Elements of Phase Transitions and Critical Phenomena, Oxford University Press, 2011.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para la regularidad de la materia se exige asistencia del 80% a clases teóricas y practicas y la entrega de un informe con los resultados del trabajo practico de simulación numérica.

Para la aprobación de la materia se exige pasar un examen final escrito consistente en la resolución de problemas típicos desarrollados en clase.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos avanzados de Mecánica Estadística.

TÍTULO: Evolución tidal de sistemas planetarios			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 15 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Astronomía			

FUNDAMENTOS

La evolución orbital de sistemas gravitatorios con cuerpos extensos, tales como estrellas o planetas, difiere respecto del de un conjunto de masas puntuales. Estos son no-esféricos como resultado tanto de su rotación como de las fuerzas de mareas que ejercen sus compañeros debido a la atracción gravitatoria no-uniforme. Debido a que los cuerpos extensos no son perfectamente elásticos, disipan energía tratando de adaptarse al estrés tidal que ejercen sus compañeros y, como resultado de esto, su forma y los elementos Keplerianos orbitales evolucionan en el tiempo debido a estos procesos disipativos. De aquí se deriva que el estudio de la evolución por mareas de los sistemas planetarios involucra una combinación interesante de mecánica celeste y dinámica de fluidos.

Comprender la naturaleza y el efecto de estas fuerzas de marea es, entonces, fundamental para conocer la evolución dinámica de los sistemas planetarios. Como estas interacciones provocan cambios tanto en la forma de los cuerpos, como en sus rotaciones y en sus órbitas, juegan un papel clave en la estabilidad de planetas y satélites, sus proximidades a configuraciones de equilibrio (tanto rotacionales como son las resonancias espín-órbita como puramente orbitales como las resonancias de movimientos medios), la evolución de su tamaño y forma, el calentamiento interno y otros procesos geofísicos (como los que se desarrollan en lo o Enceládo), entre otros. Además, resultan claves para interpretar el gran número de observaciones de exoplanetas con las que se cuenta, estimar algunos parámetros físicos u orbitales claves en su evolución dinámica pasada y así reconstruir los procesos que dieron forma a la arquitectura actual de los sistemas.

OBJETIVOS

En este curso se busca proporcionar al alumnado un conjunto de herramientas teóricas —tanto analíticas como semi-analíticas— y numéricas, que le permitan comprender en profundidad los modelos de evolución tidal actualmente disponibles en la literatura, así como extenderlos a partir de incorporar nueva física o mayor número de cuerpos interactuantes. Estas herramientas se aplicarán al estudio de la evolución dinámica orbital y rotacional de una amplia variedad de sistemas planetarios, incluido el propio Sistema Solar. El objetivo es que el alumnado adquiera la capacidad de realizar aportes significativos al desarrollo de modelos de formación y evolución dinámica de sistemas planetarios con los que se cuenta en la actualidad, que sean capaces de explicar las observaciones existentes y reconstruir los trayectos evolutivos que condujeron a distintas configuraciones planetarias observadas en la actualidad. Además, se espera que como resultado de ello se logre una mejor estimación de parámetros muy poco conocidos en el área, los cuales resultan fundamentales para reproducir la evolución dinámica de estos sistemas.

PROGRAMA

Unidad I: Introducción a las fuerzas de marea

Deformaciones Tidales y Rotacionales. El bulge tidal. Teoría potencial. Figuras de equilibrio.

Relación Darwin-Radau. La zona de Roche. Intercambio de momento angular entre los cuerpos. Torque tidal.

Unidad II: Evolución Tidal de satélites y planetas

Ecuaciones de movimiento. Precesión tidal y término no-conservativo. Modelo clásico de Hut. Modelo lineal de Mignard. Estado síncrono y pseudo-síncrono. Escalas de tiempo. Variación secular de semieje. Dependencia con frecuencia de rotación del cuerpo extendido.

Unidad III: Resonancias Spin-órbita

Resonancias y acoplamiento Spin-Orbita. Estados de referencia. Primer modelo de rotación. Desarrollo del potencial perturbador. El ángulo spin-orbita y ecuaciones de movimiento. Formulación Hamiltoniana y frecuencias fundamentales. Tipos de soluciones en función de la excentricidad.

Unidad IV: Mareas en sistemas exoplanetarios observados

Evolución tidal de exoplanetas. Distribución de Exoplanets calientes. El desierto sub-Joviano y el pico de 3 días. Evolución tidal por mareas planetarias y estelares. Calentamiento tidal. "Spin-Up" Estelar. Interacción tidal en sistemas multi-planetarios.

Unidad V: Teorías tidales modernas

Modelos dinámicos (Papaloizou) y modelos reológicos (Ferraz-Mello, Correia). Escape de resonancia y evolución dinámica pos-escape. Dependencia con parámetros del sistema y comparación con distribución observada de planetas Kepler.

PRÁCTICAS

Las actividades prácticas estipuladas se dividen en dos tipos

- 1) En el aula, se prevé la resolución de una guía de ejercicios que incluyen cálculos simples respecto de la evolución por mareas de la órbita y la rotación de sistemas gravitatorios de dos cuerpos.
- 2) En la sala de cómputo del observatorio (o en el aula, en caso de que el estudiantado cuente con computadoras), el desarrollo/implementación de códigos numéricos que permitan realizar simulaciones de la evolución dinámica de una gran número de sistemas planetarios, incluyendo los diferentes modelos de marea estudiados y comparando los resultados obtenidos entre ellos y con las observaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. "The Exoplanet Handbook", M. Perryman, Cambridge University Press, 2011.
2. "Dynamics of Extended Celestial Bodies and Rings", Jean Souchay (Ed.), Springer, 2006.
3. "Solar System Dynamics", C.D. Murray & S.F. Dermott, Cambridge University Press, 1999.
4. Beaugé, C., Ferraz-Mello, S., & Michtchenko, T. A. 2007, Extrasolar Planets: Formation, Detection and Dynamics (Weinheim: Wiley-VCH Verlag)

GmbH),

5. Beutler, G. 2005, Methods of Celestial Mechanics, Astron. Astrophys.

Lib. (Berlin: Springer), I, 99

6. Correia, A. C. M., Laskar, J., Farago, F., & Boué, G. 2011, Celest. Mech. Dyn.

Astron., 111, 105

7. Correia, A. C. M., Boué, G., & Laskar, J. 2016, Celest. Mech. Dyn. Astron., 126,

189

8. Ferraz-Mello, S., Rodríguez, A., & Hussmann, H. 2008, Celest. Mech. Dyn.

Astron., 101, 171

9. Folonier, H. A., & Ferraz-Mello, S. 2017, Celest. Mech. Dyn. Astron., 129, 359

10. Hut, P. 1980, A&A, 92, 167

11. Mignard, F. 1979, Moon Planets, 20, 301

12. Mignard, F. 1980, Moon Planets, 23, 185

13. Rodriguez, A., Ferraz-Mello, S., Michtchenko, T.A., Beaugé, C., & Miloni, O.

2011, MNRAS, 415, 2349

14. Zoppetti, F. A., Beaugé, C., & Leiva, A. M. 2018, MNRAS, 477, 5301

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para obtener la regularidad del curso: cumplir un mínimo de 70% de asistencia a las clases y aprobación dos informes teórico-prácticos donde el/la estudiante muestre la capacidad de resolver problemas físicos con herramientas teórico/prácticas. Para aprobar el curso: aprobación de un examen oral individual sobre todos los contenidos teóricos y prácticos del curso.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos avanzados de Mecánica Celeste

TÍTULO: Física atómica computacional			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 1	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 30 horas de teoría y 20 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

El interés por la descripción de la estructura atómica ha favorecido paulatinamente la elaboración de técnicas numéricas de diversa índole para facilitar su desarrollo. Muchas de estas son herramientas computacionales de dominio público, cuyo manejo permite confrontar las diversas hipótesis que intervienen en los modelos empleados para realizar las mencionadas descripciones. En este curso se espera dominar algunas de estas alternativas, como así también el manejo de paquetes de aprendizaje automático basados en redes neuronales, que en los últimos años han cobrado una importante vigencia, y tienen un amplio abanico de posibilidades para encarar problemas de la física atómica y la interacción de la radiación con la materia.

OBJETIVOS

En este curso se repasan conceptos de la Mecánica Cuántica sobre potencial central y operadores asociados, para luego introducir el formalismo de sistemas multielectrónicos y las aproximaciones necesarias para contar con métodos numéricos para las soluciones relacionadas con física atómica. Se presentan entonces diferentes alternativas de paquetes computacionales de uso público, y finalmente se introducen los fundamentos de técnicas de aprendizaje automático mediante redes neuronales, los cuales pueden ser utilizados en la resolución de problemas asociados con la estructura atómica y la interacción de la radiación con la materia.

PROGRAMA

Unidad I: Procesos fundamentales en Física Atómica

- (a) Repaso General: El átomo de hidrógeno, estructura, niveles y transiciones
- (b) Átomos multielectrónicos
- (c) Procesos radiativos
- (d) Procesos colisionales
- (e) Recombinación y Autoionización

Unidad II: Métodos de aproximación y bases de datos

- (a) Métodos perturbativos
- (b) Método R-matrix
- (c) Métodos cuánticos "exactos"
- (d) Resolución de la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo
- (e) Paquetes computacionales de uso público

Unidad III: Métodos de aprendizaje automatizado

- (a) Introducción a redes neuronales
- (b) Solución de la ecuación de Schrödinger con redes neuronales
- (c) Información Física en aprendizaje automatizado
- (d) Métodos no supervisados de clasificación y agrupamiento
- (e) Ejemplo: Cálculos de frenamiento en la materia con Aprendizaje Automatizado

PRÁCTICAS

Resolución de problemas y manejo de software de dominio público

BIBLIOGRAFÍA

- Bransden y Joachain, "Physics of Atoms and Molecules", Pearson (2003)
- W.R. Johnson, "Atomic Structure Theory", Springer (2007). URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-68013-0>
- J.M. Thijssen, "Computational Physics", Cambridge University Press (1999).
- A. Burkov, "The hundred page machine learning book", Quebec City, Canada (2019)
- Wei-Meng Lee, "Python Machine Learning", Wiley (2019)

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

La evaluación se realizará mediante la elaboración de un trabajo que los alumnos entregarán al final del curso

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Licenciado en Física o afín, con conocimientos avanzados de Mecánica Cuántica

TÍTULO: Formación y Evolución Estelar y Planetaria			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Astronomía			

FUNDAMENTOS

El proceso de formación estelar, particularmente el de las estrellas de masas solares, conlleva la formación de planetas en discos circunestelares, los cuales, a su vez, son producto del propio proceso de formación estelar. Las estrellas transitan su ciclo de vida durante el cual los planetas están presentes y finalmente, hacia el final de su evolución, las estrellas se transforman en remanentes estelares, tales como enanas blancas y estrella de neutrones, experimentando notables cambios físicos. En estos estadios finales también se detectan planetas y/o vestigios de la presencia de cuerpos planetarios.

Los cambios que experimentan las estrellas durante su ciclo de vida son muy significativos e influyen de manera directa sobre sus sistemas planetarios. El curso propone el estudio de las distintas etapas de evolución estelar y su interrelación con los planetas o sistemas planetarios que albergan. En particular, se considerará como los cambios dramáticos de las propiedades físicas de las estrellas en sus distintas etapas evolutivas (protoestrellas, estrella de secuencia principal, gigante roja, nebulosa planetaria, enana blanca, en el caso de estrellas de masas solares, o bien, supergigante roja, supernova, estrellas de neutrones, en el caso de las estrellas masivas) afectan o condicionan a los planetas que las orbitan.

OBJETIVOS

- Vincular el proceso de formación y evolución estelar con la existencia planetaria
- Desarrollar y estudiar las técnicas de detección de exoplanetas
- Empleo de técnicas observacionales para la detección de discos, enanas marrones y planetas libres
- Estudiar las características físicas de exoplanetas y sistemas exoplanetarios.
- Definir e identificar biomarcadores en las atmósferas planetarias.
- Usar observaciones de acceso libre, como: James Web, TESS, K2, Herschel, entre otras para el estudio de estrellas y planetas.

PROGRAMA

Unidad I: Nubes Moleculares

Diferentes tipos de nubes moleculares. Clasificación. Características observacionales y propiedades físicas. Composición. Masas y dimensiones. Soporte térmico, magnético y turbulento. Observaciones en Radio y en el Infrarrojo lejano. Nubes activas en la formación de estrellas. Núcleos Moleculares Densos.

Características. Masas y dimensiones. Empleo de diferentes trazadores moleculares (en radio) para su estudio. Observaciones en el infrarrojo. Asociación con fuentes IRAS. Localización espacial. Evidencias observacionales del colapso gravitacional: Glóbulos de Bok. Asociación con protoestrellas.

Unidad II: Objetos de Clases O, I, II, III

Proto-estrellas u objetos de Clases 0 y I. Características observacionales. Detección. en radio,

milimétrico e infrarrojo. Envoltentes colapsantes. Distribución espectral de energía. Interpretación. Estrellas de Tipo T Tauri: Pre-secuencia principal: objetos de Clases II y III. Características espectroscópicas y fotométricas. Interpretación. Determinación de edades y masas. Discos primigenios. Características y propiedades.

Unidad III: Eventos de Tipo FU Orionis y Flujos Moleculares, Jets (Chorros) Estelares, Objetos de Tipo HH (Herbig-Haro)

FU Orionis: Características fotométricas y espectroscópicas. Cuasi-periodicidad en los estallidos. Causas. Estadística de los eventos. Modelo de acreción. Tasa de acreción de masa del disco a la estrella. Flujos Moleculares, Jets (Chorros) Estelares, Objetos de tipo HH (Herbig-Haro). Características observacionales. Flujos moleculares clásicos y altamente colimados. Rol e importancia para la formación de estrellas. Jets ópticos y objetos de tipo HH. Flujos ópticos gigantes. Escenario unificado de los tres eventos (flujos moleculares, jets estelares, objetos de tipo HH).

Unidad IV: Estrellas Herbig AeBe, de Gran Masa y Enanas Marrones

Estrellas Herbig AeBe: Detección y principales características. Curvas de luz de tipo "Algol": Interpretación. Anti-correlación entre brillo y polarización: Interpretación. Formación de Estrellas de Gran Masa. Acreción versus "Merger" o modelo colisional. Acreción competitiva. Protoestrellas de gran masa. Discos y Jets. Máseres. Regiones HII ultra-compactas. Identificación de distintos estadios evolutivos en la formación de las estrellas de gran masa. Enanas Marrones. Definición y escenarios de formación. Métodos de detección. Tipos espectrales L y T. Escala de Temperaturas. Densidades y relación masa-radio. Interiores: Combustión del deuterio, litio e hidrógeno. Función Inicial de Masa en el rango subestelar. ¿Existen los Planemos?

Unidad V: Estrellas de Tipo Vega o Análogos del Cinturón de Kuiper

Discos de escombros o "debris". Definición y características. Detección de análogos al cinturón de Kuiper. Métodos. Resultados de Spitzer, Herschel y ALMA. Extrapolaciones sobre el número de análogos solares en la vecindad solar. Binaridad en estrellas con discos. Discos y planetas en estrellas de Secuencia Principal.

Unidad VI: Formación Planetaria

Modelos de Formación planetaria standard: Acreción de núcleo. Inestabilidad de disco. Predicciones de ambos modelos y confrontación con la evidencia observacional actual. Modelos híbridos. Relevancia de la metalicidad estelar para los distintos escenarios de formación planetaria. Predicciones de los modelos actuales y evolución de discos protoplanetarios. Problema de la escala de tiempo de disipación del gas y formación planetaria.

Unidad VII: Planetas Extrasolares

Definición. Métodos de detección: Velocidades radiales, tránsitos planetarios, microlentes gravitacionales, imagen directa, astrometría, timing, variación del tiempo del tránsito (TTVs). Ventajas y limitaciones de cada técnica. Características de los planetas extrasolares conocidos. Resultados de Kepler, K2 y TESS. Misiones espaciales futuras. Zona de habitabilidad estelar y planetaria. Características de las estrellas con planetas. Correlación metalicidad y radio planetario. Binaridad/multiplicidad de estrellas que albergan planetas extrasolares. Planetas en cúmulos. Multiplicidad planetaria. Propiedades físicas de los planetas extrasolares.. Espectroscopía de transmisión y de emisión. Espectroscopía Doppler

de alta resolución. Tránsito secundario u ocultación. Resultados actuales y expectativas sobre misión *James Webb*.

Unidad VIII: Evolución Estelar

Secuencia principal superior e inferior. La reacción protón-protón. El ciclo CNO. Quema del helio: la reacción triple-alfa. Algunas reacciones más avanzadas. El límite de Schönberg-Chandrasekhar. Evolución pos-secuencia principal: ramas subgigante, gigante y gigante asintótica. Estructura de las estrellas subgigantes. Ascenso por la rama gigante. Estructura de las gigantes rojas y longitud de la rama gigante. La evolución posterior a la quema del helio: la rama asintótica. Los pulsos térmicos. Estrellas de masa baja e intermedia. Formación de núcleo de Carbono. Evolución de estrellas masivas. La evolución pos-secuencia principal: las principales etapas de quema nuclear. Cambios en las abundancias superficiales. El núcleo de hierro, importancia de la fotodesintegración. Flujo de neutrinos. El colapso del núcleo, objetos compactos. Curvas de luz y espectros de supernovas. Tipos de supernovas. Nucleosíntesis de los elementos pesados. Proceso de captura de neutrones. El origen de los elementos de la tabla periódica

Unidad IX: Remanentes Estelares

Enanas blancas y nebulosas planetarias. Características y propiedades. Gas degenerado de electrones. Estrellas de neutrones y púlsares. Características y propiedades. Gas degenerado de neutrones. Agujeros negros. Propiedades físicas y observacionales. Sistemas binarios con agujeros negros. Emisión en rayos X. Escenarios evolutivos que contempla sistemas binarios con estrellas de baja y alta masa.

Unidad X: Los llamados Planetas Fénix

Formación de discos y planetas en estrellas evolucionadas de tipo gigantes rojas, enanas blancas y estrellas de neutrones/pulsars. Planetas Fénix y "planetas" en sistemas binarios compactos evolucionados. Propiedades físicas de estos tipos de planetas. Resultados recientes de *Spitzer* y *Herschel*. Formación de planetas y sistemas planetarios en todo el espectro de masas estelares y todos los estadios evolutivos de la estrella asociada. Evolución de la zona de habitabilidad estelar y planetaria.

Unidad XI: Conceptos Básicos sobre Astrobiología

Astrobiología: Definición y alcance. La tierra primitiva y los primeros indicios de vida. La teoría de Oparin. Estrellas Astrobiológicamente interesantes y evolución estelar. Dominios Filogenéticos de la Vida. Extremófilos y ambientes terrestres extremos. Determinación de parámetros planetarios: Temperatura, presión, densidad y radiación Ultravioleta. Composición química de las atmósferas planetarias. Marcadores Biológicos o Bio-marcadores: Definición y Características. Bio-indicadores. Misiones Espaciales y la Posibilidad de detección de Bio-indicadores. Exobiología.

PRÁCTICAS

Cada estudiante tendrá asignado un tema de investigación estrechamente relacionado con los contenidos de la materia. Los conceptos aprendidos en las clases teóricas serán aplicados para el desarrollo del tema asignado. El estudiante será guiado y supervisado durante el desarrollo del mencionado trabajo. Una vez finalizado el trabajo propuesto, cada estudiante presentará una exposición oral del mismo. Se incentivará la discusión y la inter-relación entre los distintos trabajos desarrollados por los estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- Stellar Evolution and Nucleosynthesis – S. G. Ryan & A. J. Norton, (2010), Cambridge University Press
- Stars and Stellar Evolution – K. De Boer & W. Seggewiss, (2008), EDP Science.
- Life and Death of the Stars – G. Sprinivasan, (2014), Springer.
- Evolution of Stars and Stellar Populations – M. Salaris, S. Cassisi, (2008), WILEY.
- Accretion Processes in Star Formation, (2008), Second edition, Lee Hartmann, Cambridge University Press.
- An Introduction to Star Formation, (2011), Derek Ward-Thompson, Anthony P. Whitworth, Cambridge University Press.
- Star Formation, (2020), Space Sciences Series, Springer. Editors: Bykov, A.M., Charbonnel, C., Hennebelle, P., Marcowith, A., Meynet, G., Falanga, M., von Steiger, R.
- Protostars and Planets III, (1993), University of Arizona Press, editado por E.H. Levy & J. Lunine.
 - Protostars and Planets IV, (2000), Tucson: University of Arizona Press; editado por Mannings, V., Boss, A.P., Russell, S. S.
 - Protostars and Planets V, (2007) Tucson: University of Arizona Press; editado por Reipurth, B., Jewitt, D., Keil, J.
 - Protostars and Planets VI, (2014), Tucson: University of Arizona Press; editado por Henrik Beuther, Ralf S. Klessen, Cornelis P. Dullemond, and Thomas Henning.
- The Exoplanet Handbook, (2011) Perrymand, M. Editorial Cambridge
- Exoplanet Atmospheres, (2010), Seager, S., Deming, D., ARA&A 48, 631
- Charactering Stellar and Exoplanetary Environments, (2014), H. Lammer, M. Khodachenko, Springer.
- Introduction to Astrochemistry: Chemical Evolution from Interstellar Clouds to Star and Planet Formation, (2017), Satoshi Yamamoto. Springer.
- Astrophysics of Planet Formation, (2020), second edition, Philip J. Armitage, Stony Brook University, State University of New York.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- The Formation of Stars, (2004), Stahle, S. W. y Palla, F. Editado por WILEY-VCH.
- Handbook of Star Forming Regions Vol. I. The Northern Sky; Handbook of Star Forming Regions Vol. II. The Southern Sky, (2008), ASP Conference Series, Editado por B. Reipurth.
- Observations of Brown Dwarfs, (2000), Barsi, G., ARA&A 38, 485
- Theory of Low-Mass Stars and Substellar Objects, (2000), Chabrier, G., & Baraffe, I., ARA&A 38, 337
- Dusty Circumstellar Disks, (2001), Zuckerman, B., ARA&A 39, 549
- Evolution of Debris Disks, (2008), Wyatt, M. C., ARA&A 46,339
- Herbig-Haro Flows: Probes of Early Stellar Evolution, (2001), Reipurth, B., & Bally, J., ARA&A 39, 403
- Ultra-Compact HII Regions and Massive Star Formation, (2002), Churchwell, E., ARA&A 40, 27
- Embedded Clusters in Molecular Clouds, (2003), Lada C. J. & Lada, E. A., ARA&A 41, 57
- New Spectral Types L and T, (2005), Kirkpatrick, J. D., ARA&A 43, 195

- 50 Years of Brown Dwarfs from Prediction to Discovery to Forefront of Research, (2013), editors: Joergens, Viki, Astrophysics and Space Science Library
- Toward Understanding Massive Star Formation, (2007), Zinnecker, H., Yorke, H.W. ARA&A 45, 481
- Theory of low-mass stars and substellar objects, (2000), Chabrier, G. & Baraffe, I. ARA&A 38, 337
- Protoplanetary Disks and Their Evolution, (2011), Jonathan P. Williams and Lucas A. Cieza, ARA&A, 49, 67
- The Formation and Early Evolution of Low-Mass Stars and Brown Dwarfs, (2012), Luhman, K., ARA&A 50, 65
- Vida: La Ciencia de la Biología: Heller, C., Orians, G., Purves, B., Sadava, D., Hillis, (2008), D. Editorial Panamericana.
- Planets, Stars and Stellar Systems Volume 4: Stellar Structure and Evolution, (2013), editors: Oswalt, Terry, Barstow, Martin A. Springer.
- The Occurrence and Architecture of Exoplanetary Systems, (2015), Joshua N. Winn, Daniel C. Fabrycky, ARA&A 53, 409
- On the Cool Side: Modeling the Atmospheres of Brown Dwarfs and Giant Planets, (2015), M.S. Marley, T.D. Robinson, ARA&A 53, 279
- Protostellar Outflows, John Bally, (2016), ARA&A, 54, 491
- How to Characterize Habitable Worlds and Signs of Life, Lisa Kaltenegger, (2017), ARA&A 55, 433
- Origins of Hot Jupiters, Rebekah I. Dawson, John Asher Johnson, (2018), ARA&A 56, 175
- High-Mass Star and Massive Cluster Formation in the Milky Way, F. Motte, S. Bontemps, F. Louvet, (2018), ARA&A, 56, 41
- Exoplanetary Atmospheres: Key Insights, Challenges, and Prospects, Nikku Madhusudhan, (2019), ARA&A 57, 617
- Debris Disks: Structure, Composition, and Variability, A. Meredith Hughes, Gaspard Duchêne, Brenda C. Matthews, (2018), ARA&A 56, 541
- Observations of Protoplanetary Disk Structures, Sean M. Andrews, (2020), ARA&A 58, 483
- Astrochemistry During the Formation of Stars, Jes K. Jørgensen, Arnaud Belloche, Robin T. Garrod, (2020), ARA&A 58, 727
- Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets, and the New Search for Life beyond Our Solar System, (2017), Michael Summers, James S. Trefil, The Smithsonian Press.
- Extrasolar Kuiper belts, Wyatt, Mark (2020), en The Trans-Neptunian Solar System, pag. 351, edited by Dina Prialnik, Maria Antonietta Barucci, Leslie Young. Elsevier.
- Exoplanet Statistics and Theoretical Implications (2021) ARA&A, Vol. 59 pp. 291–336, Wei Zhu, and Subo Dong
- Atmospheres of Rocky Exoplanets (2022) ARA&A, Vol. 60, pp. 159–201, Robin Wordsworth, and Laura Kreidberg
- Protoplanetary Disk Chemistry (2023) ARA&A, Vol. 61, pp. 287–328, Karin I. Öberg, Stefano Facchini, and Dana E. Anderson
- An Observational View of Structure in Protostellar Systems (2024) ARA&A, Vol. 62, pp. 203-241, John J. Tobin, and Patrick D. Sheehan
- Dust Growth and Evolution in Protoplanetary Disks (2024) ARA&A, Vol. 62, pp. 157-202, Tilman Birnstiel
- Plurality of Worlds (2024) ARA&A, Vol. 62, pp. 1-20, Michel Mayor
- Protoplanetary Disk Chemistry (2024) ARA&A, Vol. 62, 287–328, Karin I. Öberg, Stefano Facchini and Dana E. Anderson
- The Star–Planet Composition Connection (2024) ARA&A, Vol. 62, pp. 333–368, Johanna K.

Teske

- Star Formation from Low to High Mass: A Comparative View (2025) ARA&A, Vol, 63, en prensa, H. Beuther, R. Kuiper, and M. Tafalla

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Examen oral individual frente al tribunal designado

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos avanzados de Astrofísica Estelar y Astrofísica Observacional

TÍTULO: Inteligencia Artificial			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Ciencias de la Computación			

FUNDAMENTOS

En esta materia se abordan los fundamentos teóricos y prácticos de la inteligencia artificial, con énfasis en métodos de aprendizaje automático supervisado, planificación, razonamiento y representación del conocimiento. Se exploran modelos clásicos y contemporáneos, incluyendo árboles de decisión, redes neuronales y modelos probabilísticos, así como técnicas modernas de inteligencia artificial generativa. Se presentan arquitecturas de modelos generativos aplicadas a la generación de lenguaje natural e imágenes, con especial atención a los modelos fundacionales como los transformadores. A lo largo del curso se analizan aplicaciones en dominios como la visión por computadora, los sistemas expertos y los agentes inteligentes, así como los desafíos éticos y sociales del desarrollo y uso de sistemas inteligentes.

OBJETIVOS

Este curso pretende ser una introducción al área de Inteligencia Artificial. Se pondrá un énfasis especial en la subárea de Procesamiento del Lenguaje Natural, que será tratada como un eje transversal del programa, utilizándola como fuente de ejemplos, ilustraciones y trabajos prácticos. Al finalizar el curso, se espera que los estudiantes hayan adquirido una perspectiva general del área de Inteligencia Artificial, familiaridad y capacidad operativa con técnicas y métodos del campo, madurez para analizar problemas y proponer soluciones evaluando diferentes alternativas, y capacidad para replicar líneas de trabajo ya iniciadas en esta área.

PROGRAMA

Unidad I: Introducción a la Inteligencia Artificial

Preguntas fundamentales, test de Turing. Breve historia de la IA. Agentes situados. Contextualización de los paradigmas de IA

Unidad II: Ética de la Inteligencia Artificial

Impactos sociales de la Inteligencia Artificial. Ética, justicia, legislación, buenas prácticas. Orígenes de las inequidades en Inteligencia Artificial. Equidad, sesgo, y métodos de evaluación para abordarlos.

Unidad III: Representación del conocimiento e inferencia clásica

Métodos simbólicos. Representaciones estructuradas. Frames, redes semánticas, ontologías. Algoritmos de deducción.

Unidad IV: Búsqueda y Planning

El espacio de soluciones a un problema. Algoritmos de búsqueda en el espacio. Búsqueda informada. Satisfacción de Restricciones. Planning.

Unidad V: Aprendizaje Automático Supervisado

Inducción de árboles y reglas de decisión. Vecinos más cercanos. Redes Neuronales. Aprendizaje Bayesiano. Aprendedores lineales. Ensembles. Embeddings.

Unidad VI: Aprendizaje no supervisado y levemente supervisado

Clustering. Reglas de asociación. Reinforcement learning. Aprendizaje semi-supervisado. Embeddings neuronales.

Unidad VII: Inteligencia Artificial Generativa

Problemas de respuesta abierta. Generación de lenguaje e imágenes. Arquitecturas de los grandes modelos de lenguaje. El paradigma de agentes.

PRÁCTICAS

Se realizarán ejercicios y pequeños proyectos sobre los temas de la materia mediante notebooks en lenguaje python y sobre infraestructura colab. Se tratará de prácticas autoadministradas con horas de consulta estipuladas semanalmente. Se evaluarán las entregas de cuatro trabajos prácticos basados en notebooks.

BIBLIOGRAFÍA

Crawford, K. (2021). The Atlas of AI: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence. Yale University Press.
Eubanks, V. (2018). Automating Inequality: How High-Tech Tools Profile, Police, and Punish the Poor. St. Martin's Press.
Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). Speech and Language Processing (3rd ed. draft). Disponible en línea: <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/>
Mitchell, Melanie (2019). Artificial Intelligence: A Guide for Thinking Humans. Farrar, Straus and Giroux.
Mitchell, Tom M. (1997). Machine Learning. McGraw-Hill.
Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Pearson. Traducción: Inteligencia Artificial: Un Enfoque Moderno (3.ª ed., 2010). Pearson Educación.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

La evaluación será mediante entrega de 4 trabajos prácticos, dos exámenes parciales y un coloquio final, basado en un proyecto individual.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos de probabilidad, estadística y modelos. Conocimientos de programación. Conocimientos de lógica.

TÍTULO: Introducción a la Geometría Riemanniana			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Matemática			

FUNDAMENTOS

La geometría Riemanniana estudia variedades diferenciables dotadas de una métrica que permite medir distancias, ángulos y volúmenes de manera coherente con la estructura diferenciable. Esta métrica generaliza las nociones clásicas del espacio euclídeo y se adapta a contextos donde la estructura global puede ser considerablemente más compleja. La comprensión profunda de las geodésicas (que generalizan las líneas rectas como trayectorias localmente óptimas) y de las diversas formas de curvatura (que cuantifican las desviaciones respecto a la geometría plana) es fundamental no solo en geometría, sino también en física teórica, teoría de la relatividad, teoría de la información, mecánica y optimización geométrica. El estudio de estas nociones no solo enriquece la comprensión de las propiedades intrínsecas de las variedades, sino que también establece un puente con aplicaciones significativas en diversas áreas. La interacción entre topología, geometría, álgebra y análisis se hace patente en esta teoría, y su dominio es esencial para cualquier investigador que aspire a trabajar en áreas modernas de las matemáticas y sus aplicaciones.

Las variedades que admiten un alto grado de simetría, los espacios homogéneos, ocupan un lugar central en la geometría diferencial contemporánea. Modelizadas como cocientes de grupos de Lie por subgrupos cerrados, estas variedades permiten explorar de manera sistemática la relación entre la estructura algebraica de los grupos de simetría y las propiedades geométricas del espacio. La incorporación de simetrías facilita un análisis más estructurado y eficiente, ya que la acción de un grupo de simetrías simplifica el estudio geométrico y permite describir el espacio global a partir de su estructura local. Estas variedades aparecen de forma natural en diversos contextos geométricos y físicos, y su estudio se apoya en herramientas algebraicas y diferenciales robustas.

El propósito de este curso es proporcionar a los estudiantes una introducción sólida a la geometría Riemanniana, que sienta las bases conceptuales y técnicas necesarias para comprender las variedades dotadas de una métrica. Posteriormente, se abordará una introducción a las variedades Riemannianas homogéneas, mostrando cómo las ideas de simetría y acción de grupos de Lie enriquecen y amplían el panorama geométrico.

A través del estudio detallado de ejemplos concretos, el curso buscará desarrollar tanto la intuición geométrica como la capacidad de manejar con rigor los conceptos fundamentales. La comprensión de las demostraciones y la conciencia de las hipótesis involucradas serán objetivos centrales, en vista de su importancia para la formación avanzada en geometría y sus aplicaciones. El dominio de estos contenidos proporciona una base sólida para la investigación en geometría diferencial, física matemática, teoría de grupos de Lie y áreas afines, y capacita a los estudiantes para afrontar problemas contemporáneos donde la interacción entre simetría, geometría y análisis es esencial.

OBJETIVOS

Objetivos del curso

El objetivo general del curso es brindar una formación sólida y rigurosa en aspectos básicos

de la geometría Riemanniana y la teoría de espacios homogéneos, articulando conceptos geométricos, algebraicos y analíticos que permitan describir y comprender variedades diferenciables dotadas de estructuras métricas. Se busca capacitar a los estudiantes para abordar con solvencia tanto el estudio teórico como las aplicaciones modernas de estas teorías en matemáticas y física.

Objetivos específicos

Al finalizar el curso, se espera que los estudiantes:

* Comprendan en profundidad las nociones y resultados fundamentales de la geometría Riemanniana, incluyendo:

-] Definición y propiedades de métricas Riemannianas.

-] Conexiones afines, geodésicas y curvatura.

-] Demostraciones rigurosas de teoremas clásicos del área entendiendo su alcance y limitaciones.

-] La formulación de espacios homogéneos como cocientes de grupos de Lie por subgrupos cerrados.

-] La identificación y estudio de estructuras geométricas invariantes bajo la acción de grupos de simetrías.

* Desarrollen competencias matemáticas esenciales para el estudio avanzado de geometría diferencial, en particular:

-] La capacidad de formular y demostrar resultados con precisión, tomando plena conciencia de las hipótesis utilizadas.

-] La habilidad para abstraer propiedades estructurales y relacionar conceptos provenientes de geometría, álgebra y análisis.

-] La destreza para comunicar, de forma clara y rigurosa, argumentos matemáticos tanto oralmente como por escrito.

* Adquieran la solvencia necesaria para aplicar las técnicas estudiadas en problemas contemporáneos de geometría diferencial, física matemática y teoría de grupos de Lie, consolidando una base sólida para la investigación.

PROGRAMA

Unidad I: Conexiones afines

Conexiones afines y su derivada covariante asociada. Transporte paralelo. Geodésicas y la aplicación exponencial. Coordenadas normales. Análisis de campos de Jacobi y puntos conjugados. Grupo de holonomía.

Unidad II: Métricas Riemannianas

Variedades Riemannianas y conexión de Levi-Civita. Propiedades de completitud y los teoremas de Hopf-Rinow y Hadamard.

Unidad III: La Curvatura

Tensor de curvatura y sus propiedades fundamentales. Identidades de Bianchi. Curvatura seccional, curvatura de Ricci y curvatura escalar. Curvatura seccional constante. Teorema de Schur y sus implicaciones para la geometría de variedades

Unidad IV: Inmersiones isométricas

Segunda forma fundamental y operador de forma. Curvatura media de inmersiones isométricas. Teorema de Gauss para subvariedades. Subvariedades totalmente geodésicas.

Unidad V: Campos Killing y Campos de Jacobi

Definición y propiedades de los campos de Killing. Campos de Jacobi y su comportamiento en espacios de curvatura constante. Relación entre puntos conjugados y puntos críticos de la aplicación exponencial.

Unidad VI: Variedades homogéneas

Grupos de Lie y acciones. Geometría riemanniana homogénea: Submersiones riemannianas y curvatura.

PRÁCTICAS

A lo largo del curso, los estudiantes abordarán y resolverán una colección de problemas diseñados para consolidar los conceptos teóricos y desarrollar destrezas en la aplicación rigurosa de los resultados estudiados. Además, se fomentará la exposición oral de algunas soluciones seleccionadas, con el doble propósito de afianzar la comprensión y fortalecer la capacidad de comunicar ideas y razonamientos matemáticos de forma clara, precisa y estructurada.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía Básica:

-] do Carmo, Manfredo Perdigão: "Geometria Riemanniana". 6ª edição. Projeto Euclides. Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA). Rio de Janeiro (2019).
-] Druetta, M. J.: "Notas de geometría riemanniana básica". Trabajos de Matemática, Serie B, 1/87, FaMAF. (1987).
-] Lee, John M. "Introduction to Riemannian Manifolds". Graduate Texts in Mathematics, Volume 176. Second Edition. Springer Nature Switzerland AG (2018).
-] Petersen, P.: "Riemannian geometry". Graduate Texts in Mathematics, Volume 171. Third Edition. Springer International Publishing AG (2016).
-] Salvai, Marcos: "Introducción a la Geometría Riemanniana". Notas de Clases. (2021).

Bibliografía Complementaria:

-] Gallot, S., Hulin D., Lafontaine, J.: "Riemannian geometry". Universitext. Third Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2004).
-] Jost, J: "Riemannian Geometry and Geometric Analysis". Universitext. Seventh Edition. Springer International Publishing AG (2017).
-] Köhler, K.: "Differential Geometry and Homogeneous Spaces". Universitext. Springer-Verlag GmbH, DE, part of Springer Nature (2024).

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

La regularidad se alcanzará a través de la resolución de una colección de ejercicios

seleccionados, distribuidos a lo largo del cuatrimestre.

La evaluación final constará de dos instancias: una prueba escrita orientada a la resolución de problemas y una parte teórica, basada en el estudio de algunos resultados seleccionados de una lista de teoremas estudiados a lo largo del curso y destinada a valorar la comprensión conceptual y la capacidad de argumentación rigurosa.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Se espera que los estudiantes posean conocimientos consolidados en teoría de variedades diferenciables, comparables a los contenidos impartidos en la asignatura Geometría Superior de la Licenciatura en Matemática de FaMAF.

TÍTULO: Introducción a la Magnetohidrodinámica			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Astronomía, Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

El plasma es el estado de la materia observable más abundante en el Universo (99%). La mayor parte de las estrellas, el medio interplanetario, interestelar, e intergaláctico es plasma. También se generan en laboratorios terrestres y para aplicaciones industriales. Es por esto que consideramos que la materia es de gran interés para estudiantes de astronomía y física.

OBJETIVOS

Al finalizar la materia los estudiantes estarán en condiciones de:

- Describir los parámetros característicos de un plasma y sus diferentes regímenes
- Diferenciar los planteos de la MHD de los que requieren soluciones cinéticas.
- Abordar la lectura de trabajos científicos en los que se tratan problemas astrofísicos desde la aproximación de la mecánica del continuo.
- Comprender problemas en los que se aborda la dinámica de flujos astrofísicos en la aproximación del continuo.
- Resolver problemas analíticos sencillos.
- Caracterizar los diferentes tipos de ondas MHD que se propagan en un plasma y caracterizar los distintos tipos de ondas de choque MHD.
- Comprender enunciados de teoremas de la especialidad.
- Iniciar en forma guiada un trabajo de investigación en la especialidad.

PROGRAMA

Unidad I: Introducción

Consideraciones generales sobre la teoría de plasma. Caracterización de la noción de plasma. Longitud de Debye-distancia de apantallamiento. Logaritmo de Coulomb. Movimiento de partículas cargadas en campos electromagnéticos: campo magnético uniforme; deriva \mathbf{ExB} de campos uniformes; movimiento en campos no uniformes; deriva $\text{Grad}(\mathbf{B})$; deriva de curvatura; movimiento en campos suavemente dependientes del tiempo; invariantes adiabáticos.

Unidad II: Plasma como fluido

Descripción cinética. Descripción de fluido. Aproximación MHD. Ecuaciones MHD: Ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía. Fuerza de Lorentz. Ecuaciones de Maxwell. Ley de Ohm. Ecuación de inducción. Límite difusivo. Límite de conductividad perfecta. Tubos de flujo magnético y hojas de corriente. Congelamiento del campo a la materia. Parámetros adimensionales: No Reynolds, No Reynolds magnético, No de Mach, No de Mach Alfvén, parámetro de plasma: beta.

Unidad III: Equilibrios magnetohidrostáticos

Ecuaciones de la magnetohidrostática. Superficies magnéticas. Variación de la presión con la altura cuando actúa la gravedad y el campo magnético. Equilibrios libres de fuerzas. Equilibrio cuando actúa el gradiente de presión y la fuerza de Lorentz. Equilibrios con simetría cilíndrica. Campos puramente axiales y puramente azimutales.

Unidad IV: Ondas MHD

Linealización de las ecuaciones y modos fundamentales. Ondas acústicas. Ondas de Alfvén y ondas magnetoacústicas. Ondas de gravedad. Propagación en medios inhomogéneos. Ondas de choque. Choques magnetosónicos rápidos y lentos.

Unidad V: Calentamiento y Reconexión magnética

Formación de hojas de corriente. Reconexión magnética. Tasa de reconexión. Modelo de Sweet-Parker. Modelo de Petschek. Resistividad anómala y difusión de Bohm

Unidad VI: Teoría de dínamo

Teorema de Cowling. Generación de campos por efecto dínamo. Dínamos cinemáticos. Teoría no lineal de dínamos. Electrodinámica de campo medio. Ondas de dínamo.

Unidad VII: Turbulencia MHD

Turbulencia isótropa y homogénea. Invariantes ideales y distribuciones de equilibrio. Regímenes de decaimiento selectivo y alineamiento dinámico. Espectros de energía. Intermitencia. Flujos estacionarios. Aspectos topológicos de la MHD. Helicidad magnética. Teorema de Woltjer.

Unidad VIII: Dinámica de la corona solar: Viento solar

Introducción. Modelos de calentamiento por disipación Joule de corrientes. Estabilidad térmica de arcos magnéticos. Fulguraciones solares. Componentes lenta y rápida del viento solar. Modelo de Parker. Agujeros coronales y "streamers". Mecanismos de aceleración y calentamiento.

Unidad IX: Dínamos en discos astrofísicos y galácticos

Discos en astrofísica: proto-planetarios, estelares y de acreción. Condiciones astrofísicas de los discos. Inestabilidad Magnetorrotacional. Creación de Chorros. Dínamos galácticos. Campos magnéticos en galaxias. Turbulencia interestelar y vientos. Modelos de Winding. Dinamo Alpha-Omega. Rayos cósmicos.

Unidad X: Campos magnéticos cosmológicos

El problema de los campos magnéticos primordiales. Evolución con el redshift. Campos magnéticos en el medio intergaláctico. Cúmulos, vacíos y filamentos cósmicos. Rayos cósmicos ultra energéticos.

PRÁCTICAS

Las actividades prácticas consistirán en la resolución de guías de problemas teóricos, prácticos y se realizarán prácticas con simulaciones numéricas. La resolución de las guías de problemas teóricos y prácticos se desarrollarán en el aula, mientras que los prácticos con simulaciones numéricas se desarrollarán en la sala de cómputo, donde los estudiantes podrán acceder a los diferentes programas.

BIBLIOGRAFÍA

- Costa, Schneiter, Cécere, 2015, "Introducción a la Magnetohidrodinámica. Aplicación a plasmas astrofísicos", Universitas Editorial.
- Baumjohann, W., Treumann, R., 2004. "Basic Space Plasma Physics", London, Imperial College Press.

- Biskamp, D. 1993. "Nonlinear magnetohydrodynamics", Cambridge Univ. Press.
- Green ball Biskamp, D. 2000. "Magnetic reconnection in plasmas", Cambridge Univ. Press.
- Chen, F.F. 1974. "Introduction to plasma physics", Plenum Press (NY).
- Choudhuri, A. 2004. "The Physics of Fluids and Plasmas", Cambridge Univer. Press.
- Kronberg, P. 2016, "Cosmic Magnetic Fields", Cambridge Univer. Press.
- Forbes, T., and Priest, E.R. 1999, "Magnetic reconnection: MHD theory and applications", Cambridge Univ. Press.
- Freidberg, J.P. 1987, "Ideal magnetohydrodynamics", Plenum Press (NY).
- Golub, L., and Pasachoff, J.M. 1997, "The Solar Corona", Cambridge Univ. Press.
- Goedbloed, J.P and Poedts, S., 2004 "Principles of to magnetohydrodynamics" Cambridge Univ. Press
- Nakariakov V., Verwichte E., 2005. "Coronal Waves and Oscillations", Liv.Rev.,2,3
- Rudiger, G., Hollerbach R., 2004, "The Magnetic Universe", Wiley Vch.
- Priest, E.R. 1982, "Solar magnetohydrodynamics", D. Reidel Publ. Co.
- Raichoudhuri, A., 1998, "The Physics of Fluids and Plasmas. An Introduction for Astrophysicists", Cambridge Univ. Press.
- Schwartz, S., Owen, C., Burgess, D., 2004, "Astrophysical Plasmas", London University of London.
- Sturrock, P.A. 1994, "Plasma physics", Cambridge Univ. Press.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para alcanzar la regularidad, se deberán aprobar 2 evaluaciones parciales, cuyos contenidos serán los vistos en el teórico/práctico. De ser necesario, habrá instancia de recuperación de uno de los parciales.

En caso de cumplir con la regularidad, el examen final consistirá sólo de un examen oral, en caso contrario el examen final consistirá de un examen escrito y oral.

En el examen oral, los estudiantes deberán exponer un trabajo o conjunto de trabajos que expliquen algún tema relacionado con la materia en donde se apliquen conceptos integradores de la misma. Las temáticas serán acordadas con los docentes. En la exposición deberán mostrar solvencia no sólo en el material específico trabajado sino también en los conceptos generales estudiados.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Para el cursado se requiere conocimientos avanzados de electromagnetismo.

TÍTULO: Microscopía electrónica de barrido y microanálisis con sonda de electrones			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: -	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 40 horas de teoría y 20 horas de práctica			
CARRERA/S: No estructurado			

FUNDAMENTOS

El curso está pensado para egresados de distintas carreras universitarias cuyos contenidos presenten alguna afinidad con la caracterización de materiales, tales como Licenciatura en Física, Licenciatura en Química, Licenciatura en Geología, etc. El propósito del curso es formar posibles operadores del microscopio electrónico de barrido de la FAMAFA. Para lograr este fin se dictarán contenidos sobre la interacción de la radiación con la materia; particularmente, la interacción de electrones ---que constituyen el haz incidente en la técnica y también son los responsables de la formación de las imágenes--- y de fotones ---que son los que permiten la caracterización química de materiales---. Además se presentará un panorama sobre los distintos sistemas de detección involucrada, preparación de muestras y habrá una proporción mayoritaria del tiempo destinado al curso frente al instrumento.

OBJETIVOS

El doble objetivo del curso es la formación en el uso y manejo de las dos técnicas involucradas (microscopía electrónica de barrido y microanálisis con sonda de electrones) y poder disponer de personas correctamente formadas para su posterior participación en el laboratorio como operadores del microscopio electrónico del LAMARX.

PROGRAMA

Unidad I: Principios del SEM

Principios de la microscopía electrónica de barrido (SEM). Electrones secundarios. Electrones retrodispersados. Cañón de electrones. Sistema de lentes electromagnéticas. Cámara de la muestra. Sistema de vacío. Portamuestras. Detectores de electrones.

Unidad II: Técnicas afines

Nociones de la espectroscopía de fotoelectrones inducidos por rayos x (XPS) y de la microscopía confocal. Visita a la sala de XPS y microscopía confocal.

Unidad III: Preparación de muestras

Preparación de muestras. Polvo y bulk. Distintos recubrimientos conductores. Uso de metalizadoras. Desecador de punto crítico.

Unidad IV: Manejo básico del equipo

Distintas aplicaciones de la microscopía electrónica. Encendido y apagado del microscopio del LAMARX. Uso de menús SEM.

Unidad V: Imágenes SEI

Uso del microscopio: imágenes con detector E-T. Brillo y contraste. Foco y astigmatismo (bajas y medias magnificaciones). Uso de los tres detectores de electrones del SEM. Observación de muestras con los tres. Alineado del haz con "wobbling". Altas magnificaciones. Obtención de imágenes de electrones secundarios en muestras y magnificaciones determinadas.

Unidad VI: EPMA

Principios del microanálisis con sonda de electrones. Detectores de Si(Li). Detector SDD.

Unidad VII: Uso de EPMA en el equipo

Uso de EPMA en el equipo: software, menús. Aplicación. Adquisición de espectros de rayos x. Líneas K, L y M. Relación entre la energía del máximo de un pico y su ancho. Calibración en energía y determinación de los factores Fano y noise.

Unidad VIII: Mapas de rayos X

Mapas y perfiles de rayos x. Mapas cualitativos y cuantitativos. Condiciones óptimas: configuración del detector, resolución espacial, energía e incidencia. Uso de software. Obtención de mapas de rayos x en muestras y magnificaciones determinadas.

Unidad IX: Análisis cuantitativos

Calibración en E y en I. "Standardization". Cuantificación sin estándares. Cuantificación con estándares.

PRÁCTICAS

Se desarrollarán cuatro o cinco prácticos de laboratorio en el microscopio electrónico de barrido Sigma del LAMARX, con la supervisión del docente a cargo o de técnicos habilitados para el manejo del equipamiento.

La evaluación se llevará a cabo mediante los informes de laboratorio correspondientes

BIBLIOGRAFÍA

Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis

Joseph I. Goldstein , Dale E. Newbury , Joseph R. Michael , Nicholas W.M. Ritchie , John Henry J. Scott , David C. Joy, Springer (2018).

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para aprobar el curso, el alumno deberá aprobar todos los informes de laboratorio y un examen final.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Se trata de un curso que deberían poder realizar licenciados en cualquier disciplina asociada a las ciencias exactas, por lo cual solo es necesario contar con conocimientos básicos de estructura de la materia y cierto manejo matemático.

TÍTULO: Seguridad informática con precisión matemática: modelos de cyber-inteligencia MITRE.			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 1	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 20 horas de teoría y 20 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Ciencias de la Computación			

FUNDAMENTOS

La seguridad informática (“cyber-seguridad”) es un área intrínsecamente asociada al uso de tecnologías web, e igualmente ubicua. No existen hoy día sistemas de cómputo, bases de datos, laptops personales, o teléfonos celulares, que estén fuera del alcance del rubro. El desarrollo de cyber-inteligencia, entendido como los conocimientos y prácticas utilizadas para mitigar amenazas a la seguridad cibernética, es una de las áreas de estudio más prolíficas de los últimos 30 años en ciencias de la computación.

El campo está predominantemente guiado por la práctica, donde MITRE—una organización no-gubernamental estadounidense—aparece como el referente internacional más citado, establecido como estándar de facto por casi la totalidad de las empresas desarrolladoras de software a nivel mundial. En particular, MITRE ATT&CK® reúne un compendio de terminología, incidentes registrados, y “buenas prácticas”, que sirven de guía a la inmensa mayoría de los SOC (siglas en inglés de “Centros Operativos de Seguridad”), y a un buen número de estándares internacionales, incluyendo ISO y NIST.

En contraste, el estudio teórico con fundamentos científicos de los conceptos, entidades, y actividades del rubro, es un área emergente con un desarrollo acelerado en países con fuerte presencia en las ciencias de la computación, como son los EEUU, Alemania, los Países Bajos, y China. El número y la complejidad de las variables y agentes involucrados es abarcado en general con análisis parciales. En contraste, el modelado formal de sistemas presenta la doble ventaja de abstraer comportamiento irrelevante para el análisis de seguridad, y proporcionar garantías formales (exactas o estadísticas) de los resultados obtenidos. Este curso introduce a los alumnos en el área de cyber-seguridad, revisando la terminología y prácticas comunes, y explorando los últimos avances que llevan al rubro de ingeniería pura hacia ciencias de la computación.

OBJETIVOS

Aprender las tácticas y técnicas adversarias conocidas para vulnerar sistemas informáticos, definidas en la base de conocimiento de cyber-inteligencia MITRE ATT&CK® (US).

Modelar su interrelación como árboles de ataque (ATs), usando las extensiones probabilistas introducidas en la Universidad de Twente (NL).

Cuantificar métricas relevantes en un sistema informático, para definir mecanismos de defensa con distintos objetivos (costo, efectividad, rapidez de implementación).

PROGRAMA

Unidad I: Teoría y práctica de cyber-seguridad

Conceptos de vulnerabilidad, amenaza, y ataque. Catálogo CVE (“Vulnerabilidades y exposiciones comunes” por sus siglas en inglés), y cuantificación del riesgo con CVSS (“Sistema normal de puntaje de vulnerabilidades”). Tácticas y técnicas de ataque. Categorización de MITRE: matriz MITRE ATT&CK®, defensas recomendadas, campañas y

actores de incidentes, registro en reportes técnicos. Prácticas ofensivas y defensivas para mitigar el impacto.

Unidad II: Árboles de ataque en métodos formales

Descripción de dinámicas adversarias como árboles de ataque (ATs por sus siglas en inglés). Sintaxis de ATs estáticos y dinámicos. Estructura: árboles vs. DAGs. Semánticas formales: cadenas de Markov de tiempo discreto (DTMCs), continuo (CTMCs), y autómatas estocásticos (IOSA). Decorado con recompensas numéricas, y cómputo óptimo de métricas sobre ATs a través de lógica(s) de consulta.

Unidad III: Modelado formal de cyber-inteligencia

Introducción al modelado de sistemas. Niveles de abstracción y selección de la semántica adecuada (expresividad vs. computabilidad y eficiencia de cálculo). Lenguajes específicos de dominio y su transformación a lenguajes de modelado formal. Especificación de consultas cuantitativas en términos de lógicas formales. Modelado de dinámicas adversarias en entornos limitados. Cómputo de métricas ortogonales: impacto, probabilidad, y velocidad de un ataque. Costo de medidas de defensa.

PRÁCTICAS

Los estudiantes deberán resolver trabajos prácticos: uno por cada unidad de estudio del programa, que pueden ser resueltos y entregados en forma grupal (hasta tres integrantes por grupo de trabajo). La evaluación será dinámica durante el curso, para permitir el escalado de resultados.

Para la Unidad I se requerirán estudios bibliográficos con los que cada grupo define un caso de estudio basado en reportes técnicos de MITRE ATT&CK®. Esta etapa usa “peer-feedback” para permitir a los estudiantes ampliar el caso de estudio elegido. Los resultados serán retomados en la Unidad III, y en el trabajo final.

Para la Unidad II los estudiantes emplearán herramientas de modelado formal para definir modelos de árboles de ataques, y calcular métricas de cyber-seguridad sobre ellos (probabilidad e impacto de ataque, costo de defensas, etc.).

Para la Unidad III los estudiantes emplearán los métodos de la Unidad II para definir un modelo acotado del sistema seleccionado en la Unidad I.

BIBLIOGRAFÍA

- MITRE ATT&CK knowledge base [<https://attack.mitre.org/>]
- M. Lopuhaä-Zwakenberg, C. E. Budde and M. Stoelinga (2023): “Efficient and Generic Algorithms for Quantitative Attack Tree Analysis”. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. 20 (5), pp. 4169–4187. DOI: 10.1109/TDSC.2022.3215752.
- Nicoletti, S.M., Lopuhaä-Zwakenberg, M., Hahn, E.M., Stoelinga, M. (2023): “A Logic for Quantitative Security Properties on Attack Trees”. In: SEFM 2023. LNCS 14323. Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-47115-5_12.
- Dang, T.K.N., Lopuhaä-Zwakenberg, M., Stoelinga, M. (2024): “Fuzzy quantitative attack tree analysis”. In: FASE 2024. LNCS 14573. Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-57259-3_10.
- Nicoletti, S.M., Lopuhaä-Zwakenberg, M., Stoelinga, M., Massacci, F., Budde, C.E. (2024): “How hard can it be? Quantifying MITRE attack campaigns with attack trees and cATM logic”. DOI: 10.48550/arXiv.2410.06692.
- D. Gibson & A. Igonor: “Managing Risk in Information Systems”, 3ED (2020). O’Reilly. ISBN: 978-1284055955.

- R. Anderson: "Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems", 3ED (2020). Wiley. ISBN: 978-1119642787.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

La materia debe ser regularizada asistiendo del 60% al 100% de las clases teóricas, y entregando la totalidad de los prácticos.

La evaluación final consiste en un proyecto que parte de los prácticos, y los alumnos deben extender (individualmente) añadiendo expresividad para cuantificar variables estudiadas pero no implementadas durante el curso. Se espera la implementación de algoritmos de optimización de frentes de Pareto para múltiples variables.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos de nivel medio en programación (el curso usa principalmente Python para programar; los ejemplos de vulnerabilidades puede ser en Python, Java, y C/C++). Conocimientos prácticos básicos en probabilidad. Conocimientos básicos de modelado formal de sistemas y procesos (ej. Ingeniería del Software 2 en la carrera de computación).

TÍTULO: Simulaciones micromagnéticas aplicadas al diseño y estudio de nanoestructuras			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

Los materiales ferromagnéticos, masivos y de baja dimensionalidad, exhiben propiedades interesantes, tales como la demagnetización ultrarrápida, la magnetización en el rango de los picosegundos y la dinámica precesional, de interés para diversas aplicaciones. Estas propiedades incluyen también procesos más lentos, como son el proceso de reversión de la magnetización, la dinámica de las paredes de dominio y la dinámica de los vórtices magnéticos. En particular, la teoría del Micromagnetismo, desarrollada por Landau, Lifschitz y Brown (1935-1940), permite describir los procesos de magnetización y las propiedades características del ciclo de histéresis de materiales ferromagnéticos nanoestructurados. Asimismo, estas propiedades magnéticas, estáticas y dinámicas de los elementos ferromagnéticos, están determinadas por la contribución relativa de diferentes términos energéticos. Algunas herramientas que permiten resolver las ecuaciones micromagnéticas para estructuras magnéticas de baja dimensionalidad son los programas numéricos OOMMF (de las siglas Object Oriented MicroMagnetic Framework) y Mumax, los cuales resuelven las ecuaciones de Landau- Lifschitz- Gilbert (LLG) mediante el método de diferencias finitas. En este curso se brindan los conocimientos mínimos necesarios para abordar el diseño y caracterización magnética de sistemas nanoestructurados, variados en composición y morfología, que permiten comprender sus comportamientos para aplicaciones nanotecnológicas en diferentes disciplinas.

OBJETIVOS

- Introducir conceptos básicos sobre el micromagnetismo de estructuras uni, bi y tridimensionales, de interés actual en diversas aplicaciones nanotecnológicas. Para ello, se emplearán herramientas de cálculo numérico en 2D y 3D, con el objetivo particular de entrenar a los/as alumnos/as en el uso de programas (OOMMF y MUMAX), que se usan actualmente para la resolución de estructuras magnéticas.
- Introducir conceptos básicos de skyrmions magnéticos y su modelamiento en micromagnetismo, implementando la interacción de Dzyaloshinskii–Moriya superficial.
- Presentar los fundamentos sobre resonancia magnética en distintas estructuras magnéticas (skyrmions, hopfions, etc.), con diámetros modulados.
- Resolver y exponer los trabajos prácticos propuestos por los docentes del curso, en formato póster.

PROGRAMA

Unidad I: Unidad I: Principios y fundamentos del Micromagnetismo

Breve repaso de conceptos fundamentales de materiales magnéticos. Fundamentos básicos del micromagnetismo: Teoría de dominio y modelo micromagnético. Energías involucradas. Ecuación de movimiento. Simulación de procesos micromagnéticos: Estados de equilibrio. Minimización de la energía. Ciclos de histéresis. Procesos de reversión de la magnetización. Micromagnetismo y aprendizaje automático: computación de nanoestructuras magnéticas. Micromagnetismo y electroquímica: aplicaciones en sensado molecular. Actividades. Exposición y discusión de resultados.

Unidad II: Simulación de nanoestructuras magnéticas en OOMMF 2D y 3D

Herramientas de simulación micromagnética: uso del software Object Oriented MicroMagnetic Framework (OOMMF). Selección de parámetros. Descripción de los comandos. OOMMF y Micromagnetismo. Ejemplos 2D. Presentación de archivos de entrada (MIF). Rutas de acceso. Acceso a Nanohub. Ejemplos 3D. Simulación de nanoestructuras cilíndricas para evaluar propiedades dependientes de la geometría, el tamaño y la composición que determinan el ordenamiento de los momentos magnéticos en nanoestructuras. Actividades. Exposición y discusión de resultados.

Unidad III: Principios Fundamentales de los skyrmions magnéticos: Estabilidad y Dinámica

Perspectiva general. Definiciones básicas: skyrmion magnético, carga topológica. Interacción de Dzyaloshinskii–Moriya. Diferencias entre skyrmions y burbujas magnéticas. Evidencia experimental de skyrmions a temperatura ambiente. Estabilidad y dinámica de skyrmions. Aplicaciones. Modelamiento de skyrmions en sistemas magnéticos utilizando la teoría micromagnética. Implementación de la interacción de Dzyaloshinskii–Moriya superficial. Estabilización de skyrmions. Dinámica inducida por la interacción con corrientes polarizadas en espín. Definición de problemas a resolver. Actividades. Exposición y discusión de resultados.

Unidad IV: Dinámica de la magnetización por Resonancia Ferromagnética en nanoestructuras.

Antecedentes teóricos. Aproximación al continuo. Dinámica de la magnetización. Curvas de histéresis. Espectros de frecuencia. Simulaciones micromagnéticas de FMR. Ejemplos y actividades. Herramientas para el desarrollo de actividades utilizando Python. Exposición y discusión de resultados.

Unidad V: Seminarios de integración: de la simulación al experimento y viceversa

Ciclo de cinco seminarios de integración en temas de frontera cargo de profesores invitados, expertos en cada uno de los siguientes temas, con el fin de mostrar el uso y potencial de las simulaciones para predecir o explicar resultados experimentales:

- 1.Skyrmions: simulación y experimentos (Dr. Juliano Denardin, USACH, Chile).
- 2.Nanoestructuras y texturas magnéticas (Dra. Rosa Corona, UTEM, Chile).
- 3.De la síntesis a la simulación: un enfoque integrado para el estudio de nanoestructuras magnéticas (Dr. Alejandro Pereira, UAI, Chile).
4. Materiales magnéticos quirales (Dr. Pablo Díaz Riquelme, UFRO, Chile).
5. Innovación con Nanotecnología (Dr. Juan Escrig, USACH, Chile)

PRÁCTICAS

Modalidad virtual: se entregará la resolución de las actividades asignadas por los docentes de cada módulo, enviando un archivo PDF que contendrá la resolución en formato de presentación póster- El contenido será expuesto y defendido al finalizar cada módulo.

BIBLIOGRAFÍA

Módulo 1

[1.1] C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, Seventh edition, Wiley India, New Delhi, India. (2009).

[1.2] A. H. Morrish, The Physical Principles of Magnetism. (IEEE Press, New York, United States, 2001).

[1.3] B. D. Cullity, C. D. Graham, Introduction to Magnetic Materials, Second Edition. IEEE Press and John Wiley & Sons, Inc., Publication. United States of America (2009). [61] Aharoni, A. (1996). Introduction to the Theory of Ferromagnetism International Series of Monographs on Physics. Oxford University Press Inc., New York.

[1.4] O'Handley, R. C. (1999). Modern Magnetic Materials: Principles and Applications. Wiley-Interscience, New York. [64] M. J. Donahue, R. D. McMichael, Physica B: Condensed Matter 233, 272–278 (1997).

[1.5] Artículos científicos y trabajos de grado (FAMAF) seleccionados por los docentes a cargo del módulo.

Módulo 2

[2.1] J. E. Miltat, M. J. Donahue, M. J. Handbook of magnetism and advanced magnetic materials - Numerical micromagnetics: Finite difference methods. John Wiley & Sons, Universidad Estatal de Pensilvania (2007).

[2.2] Software y manuales extraídos de <https://math.nist.gov/oommf/>

[2.3] Artículos científicos seleccionados por los docentes a cargo del módulo.

Módulo 3

[3.1] F. Tejo, E. Saavedra, J.C. Denardin, J. Escrig. Dynamic susceptibility of skyrmion clusters in Co/Pt nanodots. Applied Physics Letters 117 (15)

[3.2] F. Tejo, et al. Stabilization of Magnetic Skyrmions on Arrays of Self-Assembled Hexagonal Nanodomes for Magnetic Recording Applications. ACS Applied Materials & Interfaces 12 (47), 52231-53570

[3.3] F. Tejo, F. Velozo, R.G. Elías, J. Escrig. Oscillations of skyrmion clusters in Co/Pt multilayer nanodots. Scientific Reports 10 (16517)

[3.4] N. Vidal-Silva, A. Riveros F. Tejo J. Escrig, D. Altbir. Controlling the nucleation and annihilation of skyrmions with magnetostatic interactions. Applied Physics Letters 115 (8).

[3.5] F. Tejo, A. Riveros, J. Escrig, K.Y. Guslienko, O. Chubykalo-Fesenko. Distinct magnetic field dependence of Néel skyrmion sizes in ultrathin nanodots. Scientific reports 8 (1), 1-10

[3.6] A. Fert, V. Cros, J. Sampaio. Skyrmions on the track. Nat. Nanotechnol. 8, 152–156 (2013).

[3.7] J. Sampaio, V. Cros, S. Rohart, A. Thiaville, A. Fert. Nucleation, stability and current-induced motion of isolated magnetic skyrmions in nanostructures. Nat. Nanotechnol. 8, 839–844 (2013).

[3.8] O. Boulle, et al. Room-temperature chiral magnetic skyrmions in ultrathin magnetic nanostructures. Nat. Nanotechnol. 11, 449–454 (2016).

[3.9] C. Moreau-Luchaire, et al. Additive interfacial chiral interaction in multilayers for stabilization of small individual skyrmions at room temperature. Nat. Nanotechnol. 11, 444 (2016).

[3.10] K. S. Ryu, S.-H. Yang, L. Tomas, S. S. P. Parkin. Chiral spin torque arising from proximity-induced magnetization. Nat. Commun. 5, 3910 (2014).

[3.11] A. Fert, N. Reyren, V. Cros. Magnetic skyrmions: advances in physics and potential applications. Nature Reviews Materials volume 2, Article number: 17031 (2017).

Módulo 4

[4.1] Investigation Of Static And Dynamic Magnetic Properties Of Two-Dimensional Magnonic Crystals, Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy (Science) in Physics Ruma Mandal.

[4.2] Quasistatic and ultrafast magnetization dynamics in magnetic nanostructures, Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy (Science) in Physics (Experimental) by Bivas Rana.

[4.3] Investigation of static and dynamic magnetic properties in magnetic micro and nano elements with varying shapes, Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy (Science) in Physics (Experimental) by Bipul Kumar Mahato.

[4.4] Collective Magnetization Dynamics in Magnetic Nanostructures at Various Length Scales and Time Scales, Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy (Science) in Physics Susmita Saha.

[4.5] Susceptibilidad dinámica de nanoestructuras y geometrías complejas, Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencia con Mención en Física, Eduardo Saavedra.

[4.6] Proposal of a micromagnetic standard problem for ferromagnetic resonance simulations, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 421, 2017, Pages 428-439, ISSN 0304-8853, <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2016.08.009>.

[4.7] Dynamic susceptibility of nanopillars, N. Dao et al 2004, Nanotechnology 15 S634

[4.8] Magnetic normal modes of nanoelements, R.D. McMichael, M.D. Stiles, J. Appl. Phys. 97 (2005) 10J901.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Cada estudiante presentará la resolución de actividades propuestas en cada módulo, en forma escrita y oral y, al finalizar, expondrá una actividad integradora asignada por los docentes.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos básicos de magnetismo, análisis matemático, manejo de herramientas interactivas de visualización de curvas (e.g. QtiPlot, Origin), planillas de cálculo, procesadores de texto y aplicaciones para presentaciones (Ej. Impress).

TÍTULO: Sistemas Dinámicos			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Astronomía, Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

La teoría de sistemas dinámicos es fundamental para la comprensión de muchos desarrollos recientes no sólo en el área de la dinámica clásica, sino también en otras áreas de la física como la mecánica cuántica o la mecánica estadística.

OBJETIVOS

Los contenidos del presente curso surgen como una prolongación natural de los temas abarcados por algunas materias de las Licenciaturas en Física y Astronomía, principalmente Mecánica y Métodos Matemáticos de la Física. El objetivo es proveer al estudiante de los recursos conceptuales y operativos indispensables para abordar la literatura científica actual, tanto la específica del área como la que hace uso de sus herramientas, con un razonable nivel de capacidad teórica y práctica.

PROGRAMA

Unidad I: Sistemas autónomos

Espacio de fases, órbitas. Puntos críticos y linearización. Soluciones periódicas. Primeras integrales y variedades integrales. Teorema de Liouville. Puntos críticos en sistemas de dos, tres y más dimensiones. Soluciones periódicas, criterio de Bendixson y Teorema de Poincaré-Bendixson. Aplicaciones.

Unidad II: Introducción a la teoría de la estabilidad

Estabilidad estructural. Estabilidad de soluciones de equilibrio y de soluciones periódicas. Linearización. Ecuaciones lineales a coeficientes constantes, acotados y periódicos. Estabilidad por linearización de la solución trivial y de soluciones periódicas. Análisis de estabilidad por el método directo, funciones de Lyapunov, sistemas Hamiltonianos y sistemas con primeras integrales. Aplicaciones y ejemplos.

Unidad III: Introducción a la teoría de perturbaciones

Ejemplos elementales. Desarrollo "naïve". El teorema de desarrollo de Poincaré. El método de Poincaré-Lindstedt, soluciones periódicas de sistemas autónomos, aproximación sobre escalas de tiempo arbitrarias. El método de promediación; forma standard de Lagrange; promediación en el caso periódico y en el caso general; invariantes adiabáticos; promediación sobre una variable y variedades de resonancia; promediación sobre varias variables.

Unidad IV: Teoría de bifurcaciones

Normalización. Promediación y normalización. Variedades centrales. Bifurcación de soluciones de equilibrio. Bifurcación de Hopf.

Unidad V: Caos

Exponentes de Lyapunov. Entropía de Kolmogorov-Sinai. Las ecuaciones de Lorenz y su mapa asociado. El mapa cuadrático. El oscilador de Rössler. El oscilador de Duffing.

Unidad VI: Repaso de la mecánica Hamiltoniana

Ecuaciones de Lagrange. Transformaciones de Legendre y ecuaciones de Hamilton. Corchetes de Poisson y transformaciones canónicas. Ecuación de Hamilton-Jacobi, separación de variables. Invariantes adiabáticos y variables ángulo-acción.

Unidad VII: Simetrías y reducción del orden

Primeras integrales y Teorema de Noether. Reducción del orden. Equilibrio relativo y bifurcaciones de variedades invariantes. Variedades invariantes, regiones de movimiento posible y conjuntos de bifurcación. El problema de tres cuerpos plano.

Unidad VIII: Sistemas integrables

Cuadraturas, integrabilidad completa y formas normales. Variables ángulo-acción y conjuntos noconmutativos de primeras integrales. Método de separación de variables. Método de Pares de Lax.

Unidad IX: Los sistemas Hamiltonianos como Mapas Canónicos

Números de enrollamiento irracionales y estabilidad KAM. Números de enrollamiento racionales, estructura. Difusión de Arnold. Ejemplos

PRÁCTICAS

Resolución de guías de problemas adecuadas a cada tema, con guía de la cátedra.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- F. Verhulst, *Nonlinear Differential Equations and Dynamical Systems*. Springer-Verlag, Berlin, 2000.
- T. S. Parker and L. O. Chua, *Practical Numerical Algorithms for Chaotic Systems*. Springer-Verlag, New York, 2011.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- K. R. Meyer y D. C. Offin, *Introduction to Hamiltonian Dynamical Systems and the N-Body Problem*. Springer, 2017.
- A. E. Roy y B. A. Steves, *From Newton to Chaos*. NATO ASI Series B: Physics, Vol 336. Springer Science & Business Media, 2013.
- J. Lichtenberg y M. A. Leiberman, *Regular and Chaotic Motion*. Springer-Verlag, New York, 1992.
- J. Lichtenberg y M. A. Leiberman, *Regular and Stochastic Motion*. Springer-Verlag, New York, 1983.
- L. D. Landau y E. M. Lifshitz, *Mechanics*, Tercera Edición. Pergamon Press, Oxford, 1978.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Regularidad: aprobar dos de tres exámenes parciales escritos con nota mínima 6.
Aprobación del curso: examen final escrito individual.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos de mecánica clásica y ecuaciones diferenciales al nivel de las Licenciaturas en Física o Astronomía de FaMAF.

TÍTULO: Sistemas electrónicos de instrumentación			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Física, Doctorado en Ciencias de la Computación			

FUNDAMENTOS

La instrumentación electrónica es un pilar fundamental en la investigación y la experimentación científica al permitir la medición, el control y el registro de fenómenos físicos. Este hecho deja en evidencia la importancia de proporcionar a los estudiantes las herramientas, tanto conceptuales como prácticas, necesarias para desenvolverse con éxito en esta disciplina crucial.

El auge de conversores de datos (A/D y D/A) de bajo costo y alto rendimiento ha facilitado la conexión entre los mundos analógico y digital, potenciando las ventajas de precisión, estabilidad, confiabilidad y versatilidad que ofrece el procesamiento digital en comparación con el analógico. Además, las plataformas de diseño electrónicos actuales no solo permiten la adquisición de datos, sino que también juegan un papel fundamental en el control preciso de los experimentos, esencial para garantizar la reproducibilidad y la fiabilidad de los resultados obtenidos. En tal sentido, el curso aborda los conceptos necesarios para permitir que los estudiantes sean capaces de diseñar, construir y utilizar sistemas de medición electrónicos, permitiendo así llevar a cabo experimentos de manera más eficiente y obtener datos de mayor calidad.

El programa del curso combina aspectos teóricos con una fuerte componente de experiencias de laboratorio y ejecución de proyectos integradores de instrumentación electrónica, fomentando en los estudiantes una comprensión profunda de los principios subyacentes, el conocimiento detallado de las características de las señales involucradas, sus métodos de acondicionamiento, y las interfaces de entrada/salida de los sistemas. Además, se explora el uso de plataformas configurables digitales y analógicas reales, junto con lenguajes de descripción de hardware, a fin de que los estudiantes sean capaces de abordar la implementación de sistemas de instrumentación complejos y personalizados, ya sea mediante sistemas computacionales convencionales o plataformas orientadas al procesamiento en tiempo real. Esto permite a los físicos crear soluciones a medida para abordar problemas específicos en sus investigaciones.

OBJETIVOS

Objetivos Generales:

- Proporcionar a los estudiantes una comprensión integral de los principios y técnicas de la instrumentación electrónica moderna, a fin de ser capaces de abordar el análisis y diseño de sistemas electrónicos para la medición y control de fenómenos físicos.
- Fomentar el pensamiento crítico y la resolución de problemas en el contexto de la instrumentación electrónica.
- Proporcionar a los estudiantes las habilidades necesarias para comunicar eficazmente los resultados de su trabajo.

Objetivos Específicos:

- Comprender el principio de funcionamiento y las características de los diferentes tipos de sensores y actuadores, a fin de poder seleccionar los adecuados para una aplicación específica.
- Analizar e incorporar circuitos de acondicionamiento de señal, incluyendo amplificadores de

instrumentación, filtros analógicos y técnicas de linealización.

- Comprender el proceso de adquisición y generación de señales mediante el uso de conversores de datos analógicos-digitales (ADC) y digitales-analógicos (DAC).

- Ser capaz de utilizar plataformas configurables vigentes, tanto digitales (FPGAs) como analógicas, junto a sus recursos computacionales e interfaces disponibles, en la implementación de sistemas de instrumentación personalizados.

PROGRAMA

Unidad I: Introducción a la instrumentación

Conceptos básicos. Características de los instrumentos: precisión, exactitud, resolución, sensibilidad, rango dinámico. etc. Representación binaria, Introducción a los circuitos digitales. Lógica combinacional y secuencial.

Unidad II: Sensores y transductores

Transducción de señales: conversión de magnitudes físicas en señales eléctricas. Procesamiento de señales: acondicionamiento, amplificación, filtrado, conversión. Visualización y registro de datos. Características de los sensores: Sensibilidad, linealidad, rango, precisión, exactitud, tiempo de respuesta. Tipos de sensores: pasivos vs. activos. Clasificación: Sensores de temperatura; de presión; de fuerza; de posición; de luz; sensores químicos.

Unidad III: Acondicionamiento de señales

Amplificación/atenuación. Amplificadores de instrumentación. Ruido: definición, tipos y métricas. Filtrado analógico: tipos y características de filtros. Linealización: técnicas por hardware y por software.

Unidad IV: Procesamiento de señales

Muestreo y cuantificación de señales, Tasa de Nyquist. Análisis de series temporales. Sistemas de tiempo real: definición, características y aplicaciones. Terminología, restricciones de tiempo: tiempo límite, tiempo de ejecución, tiempo de respuesta, jitter.

Unidad V: Adquisición y generación de señales

Conversión analógica-digital (ADC): Tipos de ADC: de rampa; de integración; de aproximaciones sucesivas, flash. Características de los ADC: resolución, errores, velocidad de conversión, precisión. Concepto de muestreo, circuitos "Sample/Hold" y filtro "antialias". Conversores de sobremuestreo. Conversión digital-Analógica (DAC): principios de funcionamiento y características. Tipos: de resistores ponderados; tipo escalera (R-2R) y potenciométricos.

Unidad VI: Plataformas configurables digitales

Principios de configurabilidad digital: PAL, PLA, PLDs. PLD complejos, FPGAs. Arquitectura de una FPGAs. Flujo y herramientas de diseño asistido. Casos de estudio.

Unidad VII: Lenguajes de descripción de hardware

Introducción a los lenguajes de descripción de hardware (HDL). HDLs vs. lenguajes de programación. Sentencias básicas de de VHDL tipos de datos, modelado concurrente y secuencial. Síntesis. Casos de estudio.

Unidad VIII: Plataformas configurables analógicos

Sistemas configurables analógicos: configuraciones lineales y conceptos básicos de capacidades conmutadas. Diseño de aplicaciones mediante plataformas de microcontroladores con recursos analógicos reconfigurables. Interfaces de E/S: Puertos de entrada/salida (GIPO), timers, módulos de comparación y captura. Modulación PWM. Protocolos de comunicación: seriales (UART, USB, I2C, SPI) y paralelos.

PRÁCTICAS

Las actividades prácticas conforman una parte importante de la materia (50%), cubriendo aspectos diversos. Se partirá del planteo de problemas de complejidad creciente. La mayoría de ellos son problemas de diseño, los cuales son abiertos por naturaleza y sin solución única. Una vez finalizada la elaboración de la solución propuesta, se procederá a la implementación real de los circuitos y a la corroboración experimental del desempeño. Se emplearán para el curso los recursos disponibles en el laboratorio del Grupo de Desarrollo Electrónico e Instrumental de la FAMAFA.

Los estudiantes deberán desarrollar en carácter de trabajo especial el diseño, simulación y/o prototipado de un sistema electrónico de instrumentación pertinente a los grupos de investigación en los cuales desarrollan sus tesis. Este trabajo luego será evaluado en la instancia de examen final del curso.

Las actividades prácticas serán evaluadas de acuerdo con su grado de complejidad. Para las prácticas iniciales de laboratorio se evaluará el informe correspondiente de las mismas. Para los trabajos más avanzados se evaluará también la defensa de la estrategia de diseño que se haya escogido para resolver el problema.

La supervisión de las tareas será realizada por los docentes en los trabajos de laboratorio y se darán horarios de consulta para los trabajos independientes.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- 1- Roberts, G. W., Taenzler, F., Burns, M. (2012). An Introduction to Mixed-signal IC Test and Measurement. Reino Unido: Oxford University Press.
- 2- Lars Bengtsson (2024), Electrical Measurement Techniques. For the Physics Laboratory. Springer

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- 1- Bindal, A. (2017). Electronics for Embedded Systems. Alemania: Springer International Publishing.
- 2- Zhu, Y. (2023). Embedded Systems with ARM Cortex-M Microcontrollers in Assembly Language and C. Estados Unidos: E-Man Press LLC.
- 3- Amano, Hideharu (2018). Principles and Structures of FPGAs. Springer International Publisher
- 4- Alessandro Ferrero, Dario Petri, Paolo Carbone, Marcantonio Catelani (Ed). (2015). Modern Measurements: Fundamentals and Applications

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

PARA ALCANZAR LA REGULARIDAD

La evaluación se realizará de manera continua. Los estudiantes deberán reportar los resultados de trabajos prácticos de laboratorio en un informe individual que incluirá el

resumen de los conceptos teóricos empleados en la resolución, el procedimiento de análisis realizado y las herramientas utilizadas. La aprobación de estos trabajos determinará la regularización del curso

PARA LA APROBACIÓN DEL CURSO

El examen final será integrador y consistirá en la presentación y consecuente defensa de un trabajo especial de diseño de un sistema electrónico de instrumentación y/o control de procesos.

PROMOCIÓN

No posee régimen de promoción

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos de electrónica básica: diodos, transistores y amplificadores operacionales.

TÍTULO: Técnicas de Detección de Exoplanetas			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Astronomía			

FUNDAMENTOS

Actualmente se han caracterizado más de 6000 exoplanetas utilizando diversas técnicas de detección, predominantemente indirectas. La comprensión detallada de los fundamentos físicos y metodológicos de estas técnicas, así como de sus sesgos observacionales, es esencial para interpretar la arquitectura y las propiedades de las poblaciones exoplanetarias, y para establecer comparaciones robustas con los planetas y cuerpos menores del Sistema Solar.

OBJETIVOS

Al finalizar la materia, los estudiantes serán capaces de analizar críticamente las principales técnicas de detección de exoplanetas, reconociendo sus fundamentos físicos, limitaciones y sesgos observacionales. Asimismo, estarán en condiciones de contextualizar el Sistema Solar como un caso particular dentro de la diversidad de sistemas planetarios observados, integrando conceptos de formación y evolución planetaria.

PROGRAMA

Unidad I: La población de exoplanetas

Definición. Compilaciones online y catálogos. Clasificación por masa o radio. Distribuciones de períodos, masas, excentricidades de exoplanetas. Propiedades de las estrellas con exoplanetas.

Unidad II: Técnica de velocidad radial

Corrimiento al rojo. Resolución espectral. Determinación de velocidades baricéntricas. Actividad estelar. Otras fuentes de periodicidad. Efectos de alto orden: Rossiter Mc Laughlin. Instrumentos actuales e implementación de futuros instrumentos. Ejemplos de curvas de velocidad radial. Ajustes a datos sintéticos.

Unidad III: Técnica de tránsitos

Curvas de luz simplificadas y completas. Efectos de excentricidad en las curvas; anillos planetarios; Búsquedas desde el espacio comparadas con proyectos desde tierra. Mision Kepler, K2. Exactitud en la fotometría y tiempos. Técnicas secundarias: TTV (transit time variation) , TDV (transit duration variation). Tránsitos de exolunas. Ejemplos de curvas de luz. Ajustes a datos sintéticos.

Unidad IV: Técnicas complementarias

Limitaciones y Bias: imagen directa (astrometría), pulsar timing, microlentes. Ejemplos de curvas de luz. Ajustes a datos sintéticos.

Unidad V: Sistemas extrasolares simples y sistemas binarios

Sistemas extrasolares simples y sistemas binarios. Catálogo actual. Paradigmas de formación.

Unidad VI: La órbita en el espacio y minimización multiparamétrica

Órbitas keplerianas y órbitas osculadoras. Desarrollos en series de elementos orbitales. Ajuste de planetas individuales y ajustes de sistemas múltiples. Ajustes multiparamétricos no lineales. Fourier para datos no equispaciados. Periodogramas. Algoritmos genéticos; simplex; Detectabilidad y efectos de selección.

PRÁCTICAS

Las actividades prácticas están acompañadas con una guía de ejercicios para cada unidad. Incluyen manipulación de catálogos de exoplanetas, búsqueda e identificación de los bias observacionales, generación de datos sintéticos de velocidad radial y tránsitos; uso de herramientas no determinísticas para identificar mejores soluciones, análisis de errores y correlación con los intervalos observacionales.

Los prácticos son dados 2 veces por semana, se utiliza mayoritariamente el lenguaje python, se generan herramientas propias y se enseña a usar rutinas disponibles.

Los estudiantes deben entregar las guías terminadas y se las corrige hasta que logren obtener los resultados perseguidos.

BIBLIOGRAFÍA

Murray C. D., Dermott S. F., Solar System Dynamics, Cambridge University Press, 2008.

Determinación de parámetros planetarios con técnicas de tránsitos / Ximena Saad Olivera. Famaf.

Ajustes orbitales y dinámica de sistemas planetarios extrasolares / Cristian Andrés Giuppone. Famaf.

The Exoplanet Handbook. Michael Perryman. 2nd edition. Cambridge University Press, 2018

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

CONDICIONES PARA OBTENER LA REGULARIDAD

Asistencia 70% de la totalidad de las horas previstas, tanto teóricas como prácticas.

Tener todos los prácticos entregados y aprobados el 60% de los mismos.

FORMAS DE EVALUACIÓN

Examen oral individual de toda la materia frente al tribunal designado.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos básicos de astrofísica general y avanzados de astronomía de posición.

TÍTULO: Teoría de Conjuntos Descriptiva y Aplicaciones			
AÑO: 2025	CUATRIMESTRE: 2°	N° DE CRÉDITOS: 3	VIGENCIA: 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Matemática, Doctorado en Ciencias de la Computación			

FUNDAMENTOS

La Teoría de Conjuntos Descriptiva comprende el estudio de subconjuntos definibles en espacios Polacos (i.e., separables y completamente metrizables). Estos conjuntos se ordenan en una jerarquía que comienza con los conjuntos borelianos y prosigue con los conjuntos analíticos y proyectivos.

Las aplicaciones de éste tema son variadas, desde problemas concernientes a series trigonométricas (notablemente, el problema de “conjuntos de unicidad”), a la lógica, y a la Computación Teórica (en particular, para procesos de decisión de Markov sobre espacios no discretos).

Por último, es una variante “accesible” de la Teoría de Conjuntos general dado que involucra subconjuntos de espacios concretos.

OBJETIVOS

El objetivo principal es introducir las técnicas de definibilidad y de clasificación estructural, de los conjuntos mencionados más arriba para identificar problemas “salvajes” y similares, y pasar revista a aplicaciones clásicas al análisis y actuales en el área de las Ciencias de la Computación.

PROGRAMA

Unidad I: Espacios Polacos

Repaso de espacios topológicos y métricos. Árboles: representación de conjuntos cerrados. Ejemplos de espacios polacos: compactos, perfectos, de dimensión cero. Hipótesis del continuo para espacios polacos. Conjuntos con la propiedad de Baire.

Unidad II: Conjuntos Borelianos

Definiciones Básicas: espacios medibles. Espacios de Borel estándares. El teorema del Conjunto Perfecto para Borelianos. Conjuntos analíticos. Teoremas de Lusin y de Suslin. Teorema de Isomorfismo para espacios Borel estándar. Conjuntos Borel universales. Repaso de espacios de medida. Medidas Borel. El espacio de medidas de probabilidad. Isomorfismo de medidas. Relaciones de equivalencia sobre espacios Borel estándar. Selectores y transversales medibles. Introducción a las estructuras métricas (teoría de modelos continua). Juegos infinitos. Teorema de Gale-Stewart. Determinación de juegos Borel. Principio de Determinación.

Unidad III: Conjuntos Analíticos

Representaciones de conjuntos analíticos. Conjuntos analíticos universales. Determinación para analíticos. Ejemplos de conjuntos analíticos (completos): isomorfismo de estructuras contables; bisimilitud en marcos de Kripke. Propiedades de regularidad de conjuntos analíticos: del conjunto perfecto, medibilidad universal y propiedad de Baire. Aplicación a los procesos de decisión de Markov.

PRÁCTICAS

Provisión de guías de ejercicios a ser resueltos y consultas semanales.

BIBLIOGRAFÍA

[2012] P. D'Argenio, N. Wolovick, P. Celayes, P. Sánchez Terraf, Bisimulations for nondeterministic labelled Markov processes. *Mathematical Structures in Comp. Sci.*, 22 (1): 43–68. arXiv:1011.3362.

[2003] G. Hjorth, Countable models and the theory of Borel equivalence relations. En Peter Cholak (ed.), "The Notre Dame lectures". LNL 18, Association for Symbolic Logic.

[1994] A. Kechris, *Classical Descriptive Set Theory*. Grad. Texts in Math. 156, Springer-Verlag.

[2002] D. Marker, *Descriptive Set Theory*. Notas de curso en la U. Illinois at Chicago <http://www.math.uic.edu/~marker/math512/dst.pdf>.

[2006] *Notes on Set Theory*. Y. Moschovakis. UTM. Springer.

[1986] W. Rudin, *Real and Complex Analysis*. Third Edition. McGraw-Hill Series in Higher Mathematics.

[2011] P. Sánchez Terraf, Unprovability of the logical characterization of bisimulation. *Information and Computation*, 209 (7): 1048–1056. arXiv:1005.5142.

[2014] P. Sánchez Terraf, Bisimilarity is not Borel. *Mathematical Structures in Computer Science*, 27 (7): 1265–1284. arXiv:1211.0967

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Los alumnos deberán resolver una lista de aproximadamente diez ejercicios y exponer un tema en clase.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Se requiere conocimiento básico de topología de espacios métricos y rudimentos de teoría de la medida.