UNC Universidad Nacional de Córdoba

FAMAF Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación

TÍTULO: Categorías tensoriales			
AÑO: 2023	**CUATRIMESTRE:** 2°	**N° DE CRÉDITOS:** 3	**VIGENCIA:** 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 30 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Matemática,Doctorado en Ciencias de la Computación			

FUNDAMENTOS

Las categorías tensoriales son objetos algebraicos que aparecen codificando simetrías de diversas estructuras matemáticas y físicas. Sus aplicaciones llegan a diversas áreas de la matemática: variedades topológicas de dimensión baja, teoría racional y logáritmica de campos, mecánica estadística y teoría de álgebras de Hopf. El entendimiento de esta herramienta puede ser de utilidad en diversos campos, incluida la computación cuántica.

OBJETIVOS

El objetivo de este curso es dar una introducción a las categorías tensoriales y sus representaciones. Se presentarán primero las nociones de categorías monoidales y categorías trenzadas, se darán construcciones y ejemplos básicos. Por último se describirán las representaciones de las categorías tensoriales finitas y se ejemplificarán en el caso de la categoría de representaciones de un álgebra de Hopf. En particular, se mostrará como la teoría de representaciones se relaciona con las deformaciones por 2-cociclo (dinámico) de álgebras de Hopf.

PROGRAMA

Unidad I: Categorías monoidales

Categorías monoidales, funtores monoidales. Categorías monoidales rígidas, categorías tensoriales finitas, ejemplos. Producto tensorial de categorías tensoriales finitas. Categorías tensoriales que provienen de álgebras (cuasi) Hopf y álgebras de Hopf débiles. Equivariantización de categorías tensoriales. La dimensión de Perron-Frobenius.

Unidad II: Categorías tensoriales trenzadas

Categorías monoidales trenzadas, funtores monoidales trenzados, ejemplos. El centro de Drinfeld de una categoría tensorial. Álgebras Lagrangianas. Ejemplos.

Unidad III: Representaciones de categorías tensoriales finitas

Módulos sobre categorías tensoriales finitas, funtores de módulos. Ejemplos de las representaciones sobre la categoría tensorial asociada a un álgebra de (cuasi) Hopf (débil) de dimensión finita. Categorías módulo exactas, el teorema de Etingof-Ostrik de su descripción en términos de álgebras en la categoría tensorial. La categoría tensorial dual. Categorías módulo y álgebras Lagrangianas.

Unidad IV: Deformaciones de categorías monoidales

Deformaciones dinámicas de categorías tensoriales y su relación con las representaciones. Ejemplos aplicados a la categoría de representaciones de un álgebra de Hopf.

PRÁCTICAS

Semanalmente se entregarán ejercicios que serán discutidos entre todos los participantes del curso.

BIBLIOGRAFÍA

-P. Etingof, D. Nikshych, S. Gelaki y V. Ostrik, Tensor categories, preprint.
-S. Mac Lane, Categories for the working mathematician. Springer, Graduate texts in mathematics; volume 5 (1971).
- P. Etingof, D. Nikshych, V. Ostrik, On fusion categories, Ann. Math. 162, 581-642 (2005).
- Una introducción a las categorías tensoriales y sus representaciones. Notas de M. Mombelli, disponibles en https://www.famaf.unc.edu.ar/~mombelli/categorias-tensoriales3.pdf

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para la regularidad se deberán realizar todos los ejercicios que se entreguen durante el curso. Para la aprobación del curso, el estudiante deberá entregar ejercicios resueltos que se entreguen oportunamente y presentar un examen oral.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Álgebra lineal, conocimiento de estructuras algebraicas y de teoría de categorías abelianas.

UNC Universidad Nacional de Córdoba

FAMAF Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación

TÍTULO: Electrónica Cuántica Molecular			
AÑO: 2023	**CUATRIMESTRE:** 2°	**N° DE CRÉDITOS:** 3	**VIGENCIA:** 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 30 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

Los nuevos dispositivos electrónicos y procesos electroquímicos avanzados requieren de un aprovechamiento de las propiedades cuánticas de la materia. El transporte electrónico a través de moléculas confinadas entre dos electrodos se está convirtiendo en un activo campo de investigación dentro de la Física y la Química, con aplicaciones a la Electrónica. Para ello se necesita una visión integradora de la descripción molecular que excede los conocimientos técnicos usualmente desarrollados en los cursos de Mecánica Cuántica, y Mecánica Estadística, o bien en un curso de Física Moderna. A partir de esto pueden introducirse los conceptos de la Materia Condensada que impactan en dispositivos electrónicos y magneto-ópticos basados en efectos cuánticos y en los procesos fisicoquímicos más actuales.

OBJETIVOS

El curso busca integrar en forma concreta los conceptos de la física atómica y molecular para una comprensión cualitativa y cuantitativa de los problemas de este campo. Es apto tanto para estudiantes de Física como de Química ya que busca construir un lenguaje común para abordar este campo interdisciplinario. Por otra parte, a lo largo del curso, de una manera simple y constructiva, se tomará contacto con temas físico-matemáticos de relevancia para la física actual: Hamiltonianos de enlaces fuertes "tight-binding"). Simetría orbital y Reglas de selección. Funciones de Green. Representación Espectral. Ecuación de Dyson. Potenciales efectivos. Diagramas de Feynman. Relación con Matrices de Dispersión (scattering), de Promoción y de Transferencia. Límite semiclásico de la mecánica cuántica. Sistemas multielectrónicos y Segunda cuantificación. El gas de Electrones y la aproximación de Hartree-Fock. Extensión de los conceptos anteriores a sistemas de muchas partículas. Función de Apantallamiento y la Aproximación de Fase Aleatoria (RPA). Propagador de Polarización. Líquidos de Fermi. La profundidad de cada uno de los temas se adapta a la formación individual e intereses de cada alumno.

PROGRAMA

Unidad I: Propiedades Cuánticas de Sistemas Multielectrónicos

Ideas centrales de Mecánica Cuántica. Integrales de Camino. Ecuación de Schrödinger discreta. Densidad de Estados. Aplicaciones del teorema de Oscilación. Sistemas multidimensionales y multipartícula. Aproximación de Hartree-Fock.

Unidad II: Métodos avanzados de moléculas y macromoléculas

Ideas sobre Estructura electrónica de moléculas. Campo ligante y campo cristalino. Complejos. Resolución de la ecuación de Schrödinger estacionaria en la Representación de Orbitales Moleculares de los distintos tipos de enlace.

Resolución de sistemas moleculares. Hamiltoniano efectivo y función de Green. Ecuacion de Dyson. Autoenergías. Diagramas de Feynman. Sistemas abiertos.

Unidad III: Moléculas y Electrodos

Reacciones concertadas de Woodward y Hoffmann. Átomos y Moléculas en Superficies. Catálisis Heterogénea. Ejemplos de aplicación. Papel de los complejos metálicos. Resolución de moléculas metal-orgánicas y polímeros. Estructura electrónica de C60 y nanotubos. Modelos para representar los electrodos.

Unidad IV: Transporte estacionario de excitaciones.

Otras Excitaciones Elementales. Fonones y estados vibrónicos. Poliacetileno y Anomalía de Kohn y transición de Peierls. Solitones. Polarones. Excitones. Soluciones estacionarias en sistemas múltiplemente conexos abiertos: Resonancias y anti-resonancias.

Unidad V: Dinámica Cuántica.

Dinámica de Electrones. Ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo. Velocidades de grupo y de fase. Escalera de Wannier. Oscilaciones de Bloch. Modelos d transferencia electrónica en sistemas fotosintéticos. Formulación de Marcus-Hush. El problema del tiempo de tunelamiento.

Unidad VI: Decoherencia y el problema del ambiente.

Electrodos como ambiente. Decoherencia. Modelos de ambientes. Sistemas Caóticos clásicos. El límite semiclásico. Impredictibilidad de la fase cuántica. Consecuencias del caos en la coherencia de fase. Los fonones como fuente de decoherencia.

Unidad VII: Formulación de Sistemas Abiertos.

Sistemas Finitos formulación de Landauer. Formalismo de Keldysh. Modelo DP. Conexion con la Ecuación de Boltzmann. Transporte de carga y energía.

Unidad VIII: Aplicaciones Avanzadas

Unidad 8 –Aplicaciones Avanzadas.

Respuesta a perturbaciones: Regímenes Lineal y No-lineal. Relaciones de Kramers-Kroning. Espectroscopia vibracional. Puntos Cuánticos. Bloqueo de Coulomb. Interruptor eléctrico. Dispositivos electromecánicos.

PRÁCTICAS

Se desarrollarán problemas de aplicación de ya conocidos y originales.Las clases prácticas son consultas individuales o grupales en la oficina o virtuales según disponibilidad de alumnos.

BIBLIOGRAFÍA

"Un camino oscilatorio a la Mecánica Cuántica".
H. M. Pastawski. libro en preparación disponible en https://drive.google.com/drive/folders/129UTXxYj72rBIfFKRAL3PIv0964hBF72?usp=share_link
"Applied Quantum Mechanics". Walter Harrison. World Scientific 2000 ISBN 9810243758
"Electronic Transport in Mesoscopic Systems" Supriyo Datta. Cambridge Univ. Press (1996)
"Tight-Binding methods in quantum transport through molecules and small devices: from the coherent to de decoherent description " H.M. Pastawski and E. Medina, Revista Mexicana Física 47 supp.1 (1-23) (2001)
"Quantum Transport: Atom to Transistor",
Supriyo Datta, Cambridge U. Press (2006)
"Introduction to Graphene-Based Nanomaterials: From Electronic Structure to Quantum Transport" 2nd Edition
by Luis E. F. Foa Torres, Stephan Roche, Jean-Christophe Charlier
Cambridge U. Press (2020)

Artículos desarrollados con alumnos de dictados anteriores.
Molecular dissociation in the presence of catalysts: interpreting bond breaking as a quantum dynamical phase transition
A Ruderman, A D Dente, E Santos and H M Pastawski
J. Phys.Condens. Matter 27 315501 (2015);
http://dx.doi.org/10.1088/0953-8984/27/31/315501
-Simulating a catalyst induced quantum dynamical phase transition of a
Heyrovsky reaction with different models for the environment.
F. Lozano.Negro, M. A. Ferreyra-Ortega, D. Bendersky, L. Fernández-Alcázar y H. M. Pastawski
J. Phys. Condens. Matt. 34 214006 (2022)
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-648X/ac57d6

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

- El examen final contará de una evaluación oral expositiva de un tema central a partir del cual se explorarán los conceptos desarrollados en el curso.

- Se propondrá el desarrollo exhaustivo de problemas tipo discutidos previamente en clase, enfatizando en el análisis cualitativo de los conceptos físicos involucrados.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO
Mecánica Cuántica Básica. Nociones de Mecánica Estadística

Universidad Nacional de Córdoba
FAMAF Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación

TÍTULO: Espacios de Lebesgue con exponente variable			
AÑO: 2023	**CUATRIMESTRE:** 2°	**N° DE CRÉDITOS:** 3	**VIGENCIA:** 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 30 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Matemática			

FUNDAMENTOS

Los espacios de Lebesgue con exponente variable son espacios de funciones medibles que tienen estructura de espacio de Banach. Estos son una generalización de los clásicos espacios de Lebesgue L^p. Si bien comparten ciertas propiedades también presentan algunas diferencias notables y son muy importantes por sus aplicaciones a las ecuaciones en derivadas parciales y a problemas variacionales con crecimiento no estándar.
Estos espacios fueron estudiados originalmente en 1931 por Orlicz. Dos décadas después Nakano desarrolló la teoría de espacios modulares e introdujo los espacios de Lebesgue variables como ejemplo. También fueron introducidos en la literatura rusa en 1961 por Tsenov, con un problema de minimar cierta integral. En 1979 Sharapudinov, I. desarrolló la teoría de espacios funcionales sobre intervalos de la recta real introduciendo una norma de Luxemburgo. Más aún fue el primero en considerar ciertas condiciones de regularidad para los exponentes. A partir de 1982 Zhikov aplicó el estudio de dichos espacios al problema del cálculo de variaciones.
El interés de estos espacios creció en los años 90 por su utilidad en el estudio de modelos matemáticos de fluidos cuya viscosidad cambia cuando se la expone a un campo eléctrico. También es muy importante el estudio de estos espacios en el estudio del comportamiento de fluidos quasi-newtonianos, en magnetostática, en procesamiento de imágenes, etc.

OBJETIVOS

El objetivo fundamental del curso es poner al alumno en contacto con herramientas modernas del análisis armónico. Se pretende lograr un buen manejo conceptual de estos espacios como así también introducir el estudio de la continuidad de ciertos operadores entre dichos espacios.
Un problema típico es estudiar condiciones necesarias y suficientes para que ciertos operadores resulten acotados (entre ellos las integrales singulares, el operador maximal de Hardy-Littlewood, la integral fraccionaria, el operador de Hilbert, entre otros). Desde luego, se analizarán distintas técnicas adecuadas para la acotación de estos operadores entre los espacios de Lebesgue con exponente variable.

PROGRAMA

Unidad I: Estructura topológica de los espacios de Lebesgue variable
Funciones exponentes. La modular. El espacio L^p(.). Desigualdad de Hölder y norma asociada. Teoremas de embeddings. Convergencia en L^p(.). Completitud y subconjuntos densos. Es espacio dual a L^p(.). El teorema de diferenciación de Lebesgue.

Unidad II: El operador Maximal de Hardy-Littlewood
Algunas propiedades básicas. La descomposición de Calderón-Zygmund. El operador

Maximal sobre L^p(.). Prueba de la acotación del operador maximal sobre el L^p(.). Desigualdades modulares. Interpolación y convexividad.

Unidad III: Extrapolación en los espacios de Lebesgue variables
Algunas propiedades de la convolución. Aproximaciones de la identidad. La falla de la desigualdad de Young. Repaso de la teoría de pesos de Mackenhoupt. Algoritmo de extrapolación de Rubio de Francia. Aplicaciones en la acotación de clásicos operadores del análisis armónico. Una aplicación a la desigualdad de Poincaré.

Unidad IV: Espacios de Sobolev con exponente variable
El espacio W^{k,p(.)}. Densidad de funciones suaves. Desigualdades de Poincaré. Teoremas de Embedding de Sobolev.

PRÁCTICAS

El alumno tendrá que resolver ciertos ejercicios propuestos para reforzar los conceptos dados en clases. Podrá consultar dudas de los mismos en reuniones semanales previamente acordadas.

BIBLIOGRAFÍA

-D. Cruz Uribe y A. Fiorenza. "Variable Lebesgue Spaces", Foundations and Harmonic Analysis, Birkhauser, 2013.
-L. Diening, P. Harjulehto, P. Hästö, M. Ruzicka, "Lebesgue and Sobolev spaces with variable exponents", Lecture Notes in Math. 2017. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2011.
-E. Stein, "Singular Integrals and differentiability properties of functions", Princenton University Press, 1970.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para la regularidad se exigirá la entrega de dos listas de ejercicios los cuales deberán ser resueltos en un lapso de tiempo determinado (dos semanas).
El examen final y aprobación del curso consistirá en un examen oral con los temas desarrollados en clases.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Para el curso será necesario tener conocimientos avanzados de funciones reales y topología general.

UNC Universidad Nacional de Córdoba
FAMAF Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación

TÍTULO: Formalización de Matemática y Ciencia de la Computación en Asistentes de Prueba			
AÑO: 2023	**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

Un artículo reciente de matemáticos y computólogos (Bayer et al, 2022) pone en cuestión la noción de prueba matemática: “Una prueba es uno de los conceptos más importantes de la matemática. Sin embargo, hay una diferencia muy importante entre cómo se define una prueba en teoría y cómo se usa en la práctica. Esto pone en peligro el estatus único de la matemática como una ciencia exacta.” [Traducción mía]

A medida que la sofisticación de la matemática avanza, es cada vez más difícil tener certeza sobre la corrección de la validez de las pruebas. ¡Aún si han sido revisadas y publicadas en revistas de primer nivel! De allí la afirmación de la cita. Vladimir Voevodsky (2014) se asustó antes el hecho de que haya errores que pasen inadvertidos por un tiempo largo, indicando que esto sucede porque “Difícilmente se verifica en detalle un argumento técnico de un autor confiado, que es difícil de verificar y parece similar a argumentos que se saben correctos” [Traducción mía]. Más recientemente, Kevin Buzzard (2020) señala dos artículos publicados en Annals of Mathematics, uno en 2004 y el otro en 2006 con resultados contradictorios.

Así como hay programas de computación que asisten en el cómputo matemático (Sage, Maple, Mathematica) también hay herramientas, llamadas “asistentes de prueba”, que asisten en la creación de pruebas matemáticas de maneras de asegurar la validez de las pruebas. Hasta hace unos quince años el uso de estas herramientas estaba casi confinado a una comunidad pequeña y la mayoría de los proyectos eran liderados por personas formadas en ciencias de la computación; un caso excepcional fue el proyecto de Thomas Hales para formalizar completamente su prueba sobre la conjetura de Kepler. De unos años a esta parte la comunidad matemática ha empezado a usar los asistentes de prueba para formalizar resultados novedosos y para entender mejor sus propias construcciones.

Uno de los impedimentos para la adopción de estas herramientas por parte de la comunidad matemática era la falta de un corpus grande con los requisitos obvios para encarar la formalización de estructuras sofisticadas. Es decir, quien quisiera formalizar algo debía empezar casi desde cero. Hoy en día se cuenta con grandes bibliotecas de matemática formalizada para poder encarar proyectos interesantes.

Otra dificultad es lo que implica en sí formalizar matemática: es transcribir en un lenguaje absolutamente formal y con todo detalle las pruebas de manera que el asistente pueda comprobar que cada paso de razonamiento es válido (a partir de los axiomas de la teoría en cuestión). La validez de las inferencias está dada por la lógica subyacente al asistente; en algunos casos, se trata de una lógica intuicionista que resulta ajena a la práctica habitual. Por otro lado, algunos razonamientos “obvios” en una prueba pueden exigir, al formalizarlos, pasos aparentemente innecesarios (u obvios) para los ojos matemáticos.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este curso es introducir los asistentes de prueba como herramienta para definir estructuras matemáticas, para enunciar proposiciones sobre esas estructuras y probarlas formalmente.

Se espera que quien tome este curso logre conocer las teorías subyacentes a diferentes asistentes de prueba y que pueda elegir uno que se adapte a la formalización que le interese hacer.

Quien apruebe el curso tendrá la capacidad para definir estructuras matemáticas (o computacionales), enunciar propiedades sobre ellas y probar teoremas en algún asistente; se fomentará el uso de las bibliotecas disponibles en el asistente en cuestión.

Se hará hincapié en la importancia de conceptos de ingeniería de software (componentes e interfaces entre componentes) para delinear la formalización inicialmente y como guías que permitan el desarrollo modular de la formalización. En este sentido, se espera que quien apruebe el curso comprenda la ventaja de definir tácticas (y el uso de meta-programación en general) para resolver tareas repetitivas.

PROGRAMA

Unidad I: Fundamentos

Repaso de lógica de primer orden: términos, fórmulas, reglas de inferencia. Verificación mecánica de pruebas matemáticas: codificación de sistemas de prueba en Isabelle/ZF como ejemplo minimal. La arquitectura de LCF. Sistema simple de tipos. Presentación de Isabelle/HOL.

Unidad II: Teoría de tipos dependientes para mecanización de matemática

La correspondencia de Curry-Howard. La igualdad en Teoría de Tipos. Presentación de Agda, Coq y Lean. Tipos inductivos y Familias de tipos. Inducción y recursión. Registros. Definiciones por pattern-matching.

Unidad III: Formalización de teorías matemáticas

Tácticas, secciones, variables. Type-classes. Coerciones. Meta-programación y definición de tácticas propias. Bibliotecas de matemática formalizadas existentes.

Unidad IV: Proyecto individual

Presentación de propuesta inicial con la estructura de módulos. Definición de los componentes de manera abstracta, enunciado de teoremas más importantes y esquema de prueba. Avance con lemas conducentes a la prueba de los teoremas.

PRÁCTICAS

Prácticos iniciales de familiarización con los asistentes Agda, Coq, Lean e Isabelle/HOL.
Presentación de avances de formalización al final del curso.
Formalización de un tema a convenir con cada estudiante.

BIBLIOGRAFÍA

Jeremy Avigad, Leonardo de Moura, y Soonho Kong. Theorem Proving in Lean. Electronic textbook, 2021. https://leanprover.github.io/theorem_proving_in_lean/

Jeremy Avigad, Kevin Buzzard, Robert Y. Lewis, Patrick Massot. Mathematics in Lean. 2020. https://leanprover-community.github.io/mathematics_in_lean

Yves Bertot y Pierre Castéran. Interactive Theorem Proving and Program Development - Coq'Art: The Calculus of Inductive Constructions. Texts in Theoretical Computer Science. An EATCS Series. Springer, 2004. doi: 10.1007/978-3-662-07964-5.

Kevin Buzzard. Formalising Undergraduate Mathematics. Presentación en CICM13. 2020.

John Harrison. Handbook of Practical Logic and Automated Reasoning. Cambridge University Press 2009, ISBN 978-0-521-89957-4

Assia Mahboubi y Enrico Tassi. Mathematical Components. Zenodo, Sept. 2022. doi: 10.5281/zenodo.7118596.

Tobias Nipkow y Gerwin Klein. Concrete Semantics - With Isabelle/HOL. Springer, 2014. doi: 10.1007/978-3-319-10542-0.

Benjamin C. Pierce et al. Logical Foundations. Ed. by Benjamin C. Pierce. Vol. 1. Software Foundations. Version 6.3, http://softwarefoundations.cis.upenn.edu. Electronic textbook, 2023.

Egbert Rijke. Introduction to Homotopy Type Theory. Pre-print. doi: 10.48550/arXiv.2212.11082. 2023.

The Univalent Foundations Program. Homotopy Type Theory: Univalent Foundations of Mathematics. Institute for Advanced Study, 2013.

Vladimir Voevodsky. Univalent Foundations. Presentación en el Institute of Advanced Studies. 2014. Disponible en: https://www.math.ias.edu/~vladimir/Site3/Univalent_Foundations_files/2014_IAS.pdf

Philip Wadler, Wen Kokke, and Jeremy G. Siek. Programming Language Foundations in Agda. Aug. 2022.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN
- Presentación del proyecto de formalización - Presentación de avance de formalización - Presentación al final del curso/momento de rendir

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO
Ser estudiante del doctorado de Matemática o del doctorado de Computación

TÍTULO: Introducción a la geometría hermitiana			
AÑO: 2023	**CUATRIMESTRE:** 2°	**N° DE CRÉDITOS:** 3	**VIGENCIA:** 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 30 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Matemática			

FUNDAMENTOS

Las variedades complejas, como las variedades diferenciables reales, son generalizaciones de curvas y superficies a dimensiones arbitrarias, pero con cartas coordenadas que toman valores en C^n y con cambios de coordenadas holomorfos. A pesar de la similitud formal entre las definiciones, la teoría de variedades complejas es mucho más profunda que la teoría de variedades diferenciables, reemplazando la palabra "diferencial" o "suave" por "compleja" u "holomorfa". Para tener una idea de cómo se diferencian estas dos teorías, podemos considerar los siguientes hechos: (1) Todas las variedades complejas son orientables y poseen una orientación canónica; (2) Las únicas funciones holomorfas globales en una variedad compleja compacta son las funciones constantes; (3) No existen subvariedades complejas compactas de Cn de dimensión positiva; (4) No existen las particiones de la unidad; (5) El espacio de campos vectoriales holomorfos en una variedad compleja compacta tiene dimensión finita, y en muchos casos contiene sólo el campo vectorial nulo.
Las variedades complejas aparecen en muchas áreas de la matemática. Por ejemplo, juegan un papel esencial en:

- Geometría riemanniana (métricas hermitianas y Kähler)
- Análisis complejo clásico (superficies de Riemann)
- Varias variables complejas (variedades de Stein)
- Geometría algebraica (variedades algebraicas complejas no singulares)
- Topología de dimensión baja (clasificación de variedades de dimensión 4)
- Teoría de Lie (grupos de Lie complejos)
- Teoría de cuerdas (variedades de Calabi-Yau)

En este curso profundizaremos en la geometría diferencial de las variedades complejas. En muchos casos, variedades complejas interesantes pueden ser equipadas con métricas riemannianas especiales, y se pueden utilizar técnicas de la geometría riemanniana para distinguirlas. Esto se aplica particularmente a las variedades de Kähler, que se encuentran en la intersección de las geometrías riemanniana, algebraica y simpléctica. Buena parte del curso estará dedicada a estudiar estas variedades, pero también estudiaremos propiedades de métricas riemannianas compatibles más generales, en particular, la clasificación de métricas casi hermitianas de Gray-Hervella.

OBJETIVOS

La meta de esta asignatura es que al finalizar la materia los estudiantes estén en condiciones de:

- Manejar los conceptos y técnicas básicas de la geometría hermitiana, de tal manera que le permitan resolver problemas relacionados.
- Establecer analogías y diferencias con las variedades diferenciables reales.
- Comprender enunciados y reproducir demostraciones de teoremas relacionados con el

área.

PROGRAMA

Unidad I: Unidad I: Teoría local

Funciones holomorfas de varias variables – Álgebra lineal hermitiana: estructuras complejas y hermitianas en espacios vectoriales – Formas diferenciales en C^n.

Unidad II: Variedades complejas

Definición y ejemplos – Fibrados vectoriales holomorfos – "Blow up" en puntos – Estructuras casi complejas e integrabilidad: el teorema de Newlander-Nirenberg – Cálculo diferencial en variedades complejas – Los operadores \del y \bar\del - Cohomología de Dolbeault – El fibrado canónico del espacio proyectivo complejo.

Unidad III: Variedades de Kähler

Repaso de métricas riemannianas – Métricas hermitianas – Métricas de Kähler – Caracterizaciones equivalentes – Ejemplos – La métrica de Fubini-Study – Conexión de Levi-Civita: curvatura seccional y curvatura seccional holomorfa – Tensor de Ricci – Holonomía y variedades de Calabi-Yau – Campos de Killing.

Unidad IV: Cohomología de variedades de Kähler compactas

Las identidades de Kähler – Operadores de Lefschetz – Teoría de Hodge en variedades de Kähler – El lema \del\bar{\del} - Cohomología de de Rham de variedades de Kähler compactas – Teoremas de Lefschetz.

Unidad V: Variedades (casi) hermitianas

Clasificación de variedades casi hermitianas según Gray-Hervella – Variedades "almost Kähler", "nearly Kähler" y localmente conformes Kähler – Conexiones canónicas de Gauduchon: conexión de Chern y de Bismut.

PRÁCTICAS

Resolución de ejercicios prácticos sobre temas vistos en las clases teóricas.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA
D. Huybrechts, Complex Geometry, Universitext, Springer.
W. Ballmann, Lectures on Kähler manifolds, European Mathematical Society.
A. Moroianu, Lectures on Kähler geometry, Cambridge University Press.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA
J. Morrow y K. Kodaira, Complex manifolds, American Mathematical Society.
A. L. Besse, Einstein Manifolds, Classics in Mathematics, Springer.
R. Wells, Differential Analysis On Complex Manifolds, Springer.
A. Gray y L. Hervella, The sixteen classes of almost Hermitian manifolds and their linear invariants, Ann. Mat. Pura Appl. 123 (1980), 35–58.

P. Gauduchon, Hermitian connections and Dirac operators, Boll. Unione Mat. Ital. Ser. VII 2 (1997) 257–288.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

El examen final contará de una evaluación escrita sobre contenidos prácticos, y una exposición oral sobre los contenidos completos de la materia.

Para la regularidad:

- Asistencia mínima de 70% a las clases teóricas.
- Resolución y exposición oral de problemas seleccionados sobre los contenidos teórico-prácticos desarrollados en la materia.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Conocimientos avanzados de funciones analíticas y de variedades diferenciables.

TÍTULO: Mecánica de los Fluidos			
AÑO: 2023	**CUATRIMESTRE:** 2°	**N° DE CRÉDITOS:** 3	**VIGENCIA:** 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 30 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Astronomía,Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

La mecánica de los fluidos está presente en un gran número de áreas de la física, como por ejemplo en la dinámica de la atmósfera, en el estudio de materiales, procesos físico-químicos, procesos en física médica, etc. Debido a la gran diversidad de aplicaciones que tiene, este curso se planifica con la intención de cubrir un aspecto importante en la formación de un número de estudiantes de posgrado de FAMAF, de diferentes especialidades de la física, que necesitan conocimiento de mecánica de los fluidos para ser aplicadas con solvencia en sus trabajos de doctorado.
En particular, la mecánica de fluidos es una rama de la mecánica de medios continuos y estudia el comportamiento y movimiento de los fluidos, tanto en reposo (estática de fluidos) como en movimiento (dinámica de fluidos), y las fuerzas que lo provocan, así como las interacciones entre el fluido y el entorno que lo limita.
La mecánica de fluidos se basa en tres ecuaciones fundamentales (ecuación de continuidad, de cantidad de movimiento y de conservación de energía), las cuales, en su forma diferencial, se denominan ecuaciones de Navier-Stokes. Dada la complejidad de este conjunto de ecuaciones, no existe una solución general, por lo que cada problema debe ser estudiado de manera individual, buscando simplificaciones (cuando es posible) que permitan la resolución del mismo. Sin embargo, en algunos casos, no es posible obtener una solución analítica por lo que se debe recurrir a métodos numéricos.

OBJETIVOS

El objetivo del curso es dar a los estudiantes una introducción de los fenómenos, conceptos físicos y procedimientos de análisis a partir de los principios básicos y métodos generales de la Mecánica de los Fluidos.

PROGRAMA

Unidad I: Fluidos ideales
Ecuación de continuidad. Ecuación de Euler. Hidrostática. Ecuación de Bernoulli. Flujos de energía y momento. Flujo potencial. Fluidos incompresibles. Ondas de gravedad.

Unidad II: Fluidos viscosos
Ecuación de Navier-Stokes. Disipación de energía en un fluido incompresible. Ley de similaridad. Aproximación de Stokes. Estela laminar.

Unidad III: Turbulencia
Estabilidad del flujo estacionario. Condición de turbulencia. Inestabilidad de discontinuidades tangenciales. Desarrollo completo de turbulencia. Turbulencia local. Velocidad de correlación. Región de turbulencia y fenómeno de separación. Estela turbulenta. Teorema de Zhukovski.

Turbulencia isotrópica.

Unidad IV: Capa límite
Capa límite laminar. Estabilidad del flujo en la capa límite laminar. Perfil logarítmico de velocidades. Capa límite turbulenta. Crisis del drag. Drag inducido.

Unidad V: Conducción térmica en fluidos
Ecuación general de la transferencia de calor. Conducción térmica en fluidos incompresibles. Conducción térmica en medios finitos e infinitos. Ley de similaridad para transferencia de calor. Transferencia de calor en capa límite.

Unidad VI: Difusión
Ecuación dinámica para una mezcla de fluidos. Coeficientes de transferencia de masa y difusión térmica. Difusión de partículas suspendidas en un fluido.

PRÁCTICAS

Se resolverán 6 (seis) guías de ejercicios y problemas para estudiar los temas de cada capítulo del programa. Al final de cada guía de ejercicios, se propondrá un trabajo práctico que implique encontrar la solución numérica a un problema sin solución analítica.

BIBLIOGRAFÍA

- Wiggert, Ramadan y Potter (2014). Mecánica de fluidos. México: Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- Spurk y Aksel (2007). Fluid mechanics. Springer Science & Business Media.
- Landau, Lifshitz, Berestetskii y Pitaevskii, (2021). Mecánica de fluidos. España: Reverte.
- Lamb. (2012). Hydrodynamics. Estados Unidos: HardPress Publishing.
- Batchelor (2012). An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press
- Eckert y Drake (1981). Heat and Mass Transfer. Estados Unidos: R.E. Krieger Publishing Company.
- Pruppacher y Klett (2010). Microphysics of Clouds and Precipitation. Springer Netherlands
- Incroprera y De Witt (2001). Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Wiley
- Streeter, Wylie y Bedford (2000). Mecánica de los fluidos. McGraw-Hill

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para regularizar el curso es necesario:
- Asistir al menos al 80% de las clases,
- Entregar la totalidad de las guías de ejercicios y de los prácticos resueltos,
- Aprobar un examen parcial.

Para aprobar el curso es necesario:
- La presentación y discusión de los trabajos prácticos realizados y/o de un artículo de investigación,
- Examen oral donde el/la estudiante deberá responder preguntas sobre los temas del curso.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO
Este curso está dirigido a graduados/as de las carreras de Licenciatura en Física y en Astronomía. Se requiere sólidos conocimientos en análisis matemático en varias variables, en métodos matemáticos y de análisis numérico. Nociones de física. Conocimientos prácticos básicos de programación en algún lenguaje (C, Fortran, Matlab, etc.).

TÍTULO: Métodos Matemáticos Avanzados en Física			
AÑO: 2023	**CUATRIMESTRE:** 2°	**N° DE CRÉDITOS:** 3	**VIGENCIA:** 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 30 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Astronomía,Doctorado en Física			

FUNDAMENTOS

Las herramientas y el lenguaje de la física y la astrofísica han cambiado radicalmente en las últimas décadas. Este cambio viene impulsado desde varias áreas donde se han dado desarrollos importantes: i) las afirmaciones de las respectivas teorías en ecuaciones en derivadas parciales; ii) su paralelo en el campo de las aproximaciones numéricas; iii) la irrupción de la geometría como lenguaje en gran parte de los desarrollos teóricos y prácticos; iv) la generación de grandes volúmenes de datos por parte de observaciones y experimentos. Estos últimos requieren la incorporación de nuevas herramientas para su manejo y comprensión desde un punto de vista teórico (no trataremos manejo de datos ni nociones estadísticas, sino algunos aspectos básicos de topología y optimización/minimización).

OBJETIVOS

Dotar a los participantes de bases teóricas y manejo práctico de aspectos matemáticos modernos.
Incorporar la comprensión del comportamiento de distintos tipos de sistemas de ecuaciones de derivadas parciales a sus respectivos temas de trabajo.
Preparar a los alumnos para un curso posterior en métodos numéricos.
Llegar a la frontera del conocimiento en el área de los sistemas hiperbólicos con vínculos y condiciones de contorno.

PROGRAMA

Unidad I: Conceptos Básicos de Topología.
a) Introducción;
b) Terminología;
c) Conceptos Derivados
c.1) Mapas continuos
c.2) Compacidad

Unidad II: Álgebra Lineal.
a) Espacios Vectoriales;
b) Covectores y Tensores;
c) Complexificación;
d) Espacios cociente;
e) Normas;
f) Las normas inducidas en V*;
g) Teoría de Operadores Lineales;

g.1) Representación Matricial;
g.2) Subespacios Invariantes;
g.3) Aplicación: Lema de triangulación de Schur;
g.4) Forma Canónica de Jordan;
g.5) Operadores Adjuntos;
g.6) Operadores Unitarios;
g.7) Problemas;

Unidad III: Geometría.
a) Variedades;
b) Funciones Diferenciables;
c) Curvas;
d) Vectores;
e) Campos Vectoriales y Tensoriales;
f) El Corchete de Lie;
g) Difeomorfismos y la Teoría de las Ecuaciones Diferenciales Ordinarias;
h) Campos de Co-vectores y Tensores;
i) La Métrica;
j) Notación de Índices Abstractos;
k) Derivada Covariante;
l) Curvatura;

Unidad IV: Ecuaciones Diferenciales Ordinarias.
a) Introducción;
b) El Caso de una Única Ecuación Ordinaria de Primer Orden;
c) Ecuación Autónoma de Primer Orden;
d) Extendiendo la Solución Local;
e) El Caso No-autónomo;
f) Reducción a Sistemas de Primer Orden;
g) Sistemas de EDO;
g.1) Integrales Primeras;
g.2) Teorema Fundamental de los Sistemas de EDO;
g.3) Dependencia en Parámetros, Ecuación de Variaciones;
h) Problemas;

Unidad V: Sistemas Lineales
a) Sistema lineal homogéneo;
b) Sistema Lineal Inhomogeneo -- Variación de constantes;
c) Sistemas lineales homogéneos: coeficientes constantes;
d) Problemas.

Unidad VI: Estabilidad
Teorema de Lyapunov

Unidad VII: Teorema Fundamental de las EDO
a) Prueba de los puntos i) y ii) del teorema fundamental;
b) Problemas.

Unidad VIII: Elementos Básicos de Análisis Funcional.
a) Introducción;
b) Completando un Espacio Normado;
c) Integral de Lebesgue;
d) Espacios de Hilbert;
e) Serie de Fourier;
f) Problemas;
g) Problemas de Series de Fourier.

Unidad IX: Distribuciones
a) Introducción;
b) La derivada de una distribución;
c) La completitud de D y su dual D';
d) Convergencia y Compacidad Débil .

Unidad X: La Transformación de Fourier
a) Introducción;
b) Teoremas básicos;
c) Propiedades básicas de los Espacios de Sobolev.

Unidad XI: Teoría de ecuaciones en derivadas parciales
a) Introducción;
b) La ecuación de primer orden;
c) El Problema de Cauchy;
d) Clasificación de ecuaciones en derivadas parciales.

Unidad XII: Teoría de Ecuaciones Elípticas
a) La Ecuación de Laplace;
b) Existencia;
c) Regularidad de las Soluciones;
d) Teorema Espectral;
e) Coercividad;
f) Condición Inf-sup;

g) Ejemplos y problemas.

Unidad XIII: Ecuaciones Parabólicas.
a) Introducción;
b) Unicidad y el Teorema del Máximo.

Unidad XIV: Ecuaciones simétrico--hiperbólicas y fuertemente hiperbólicas
a) Introducción;
b) Un ejemplo;
c) Desigualdad de la energía para sistemas simétrico-hiperbólicos;
d) Unicidad de las soluciones;
f) Dominio de dependencia;
g) Construcción de una superficie característica;
h) Dominio de dependencia, ejemplos;
i) Vínculos;
j) Condiciones de Contorno.

PRÁCTICAS
Durante el curso se darán diversas guías de problemas a resolver con la idea de afianzar los conocimientos. Se darán consultas tanto para los teóricos como los prácticos. Al final del curso los alumnos deberán presentar una carpeta con los problemas resueltos a los fines de obtener la regularidad en el curso.

BIBLIOGRAFÍA

El curso se basará en mi libro sobre el tema: Métodos Matemáticos de la Física pero a partir de ahí el material se irá extendiendo con artículos específicos que los estudiantes deberán presentar en clase y que servirán para profundizar cada uno de los temas.

Otra bibliografía utilizada:

1. Gilbarg, D. and Trudinger, N.S. (2001) Elliptic Partial Differential Equations of Second Order. Springer-Verlag, Berlin.

2. Geroch, Robert. 1985. Mathematical physics. http://site.ebrary.com/id/11030420.

3. Analysis, Manifolds and Physics Revised Edition, Yvonne Choquet-Bruhat, Cecile DeWitt-Morette, Margaret Dillard-Bleick Gulf Professional Publishing, 1982 - 630 páginas.

4. Arnold, Vladimir I. 1974. Mathematical Methods of Classical Mechanics, Graduate Texts in Mathematics. Vol. 60. Translated by Vogtmann, Karen; Weinstein, Alan D. (2nd ed.). New York: Springer-Verlag. ISBN 978-0-387-96890-2.

5. Foundations of Mechanics, Ralph Abraham, Jerrold E. Marsden American Mathematical Soc., 2008 - 826 páginas

MODALIDAD DE EVALUACIÓN
La regularidad se alcanza con el 70% de la asistencia, con la presentación y evaluación positiva de la carpeta de problemas resueltos y con una nota de concepto indicando la participación en los debates que se generen durante el cursado. Para aprobar la materia los estudiantes deberán escribir y presentar monografías sobre temas avanzados durante el cursado.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO
Conocimientos previos de cálculo.

TÍTULO: Radio Astronomía Galáctica y Extragaláctica			
AÑO: 2023	**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 detección de ondas de radio frecuencias en astronomía ha tenido un gran impulso en los últimos años, tanto del punto de vista científico como tecnológico. Grandes proyectos internacionales en esta área se están desarrollando, tanto en el extranjero como en el país. Esto crea la necesidad de formar estudiantes que se introduzcan en los aspectos de las observaciones astronómicas en radio, la utilización del instrumental y el tratamiento de la información con ellos obtenida.

OBJETIVOS

El objetivo de este curso es brindar los fundamentos básicos de la observación astronómica en radio frecuencia, interiorizarse en el manejo del instrumental y el análisis de los datos obtenidos.

PROGRAMA

Unidad I: Bases de la radioastronomía
Espectro electromagnético. Coherencia en radio-astronomía. Bases de la teoría de Fourier. Mecanismos de radio-emisión.

Unidad II: Elementos de la antena primaria.
Teoría básica de la antenas. Desempeño de la antena. Tipos de antenas. Eficiencia, precisión, polarización.

Unidad III: Fundamentos de radio interferometría
Respuesta del interferómetro. Interferómetro simple. Conjunto de antenas. Parámetros de Stokes. Diseño de conjunto de antenas

Unidad IV: Detección y análisis
Correlación cruzada. Calibración. Polarización. Formación de imágenes. Observación de espectro de líneas

Unidad V: Observación con radio-telescopios
Antenas simples. Interferometría de gran línea de base. Polarimetría y líneas espectrales. Interferometría en ondas milimétricas

Unidad VI: Fuentes de emisión
Emisión galáctica no-térmica. Líneas de recombinación y regiones HII. Hidrógeno neutro y medio interestelar difuso. Estructura de la galaxia a partir de HI. Hidrógeno neutro extragaláctico. Radiogalaxias y quasars. Fondo de radiación en microondas. Cosmología a partir de radiofuentes

Unidad VII: Observación con VLBI (Very Large Baseline Interferometry)
Proyectos científicos. Sistema de observación. Correlación y calibración. Formación de imágenes con VLBI.

PRÁCTICAS

Se realizarán trabajos prácticos consistentes en la aplicación de las técnicas de procesamiento de datos, utilizando el software disponible. Al final del curso se realizará una presentación con el objetivo de evaluar los resultados obtenidos

BIBLIOGRAFÍA

-An Introduction to Radio Astronomy. B.F. Burke, F. Graham-Smith. 2007.
-Synthesis Imaging In Radio Astronomy II. Eds. Taylos, G.B, Carilli, C.L., Perley, R.A., 2001, A.S.P. Conferences Series, Vol. 180.
-Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy, Thompson, A.R., Moran, J.M.,Swenson G.W., 2000
-Very Long Baseline Interferometry and VLBA, Zensus, J.A., Diamond, P.J. y Napier, P.J., 2002
-Tools of Radio Astronomy, T. L. Wilson, K. Rohlfs, S. H ttemeister, 2009,
-Galactic and Extragalactic Radio Astronomy, G.L. Verschuur, K.I. Kellermann. 1988

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Para regularizar la materia el estudiante deberá presentar al final del curso los resultados de los trabajos prácticos propuestos. La aprobación del curso se realizará a través de un examen oral individual sobre los contenidos del curso.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Para el cursado de este curso serán necesarios conocimiento de electromagnetismo y astronomía esférica

TÍTULO: Redes Neuronales			
AÑO: 2023	**CUATRIMESTRE:** 2°	**N° DE CRÉDITOS:** 3	**VIGENCIA:** 3 años
CARGA HORARIA: 60 horas de teoría y 30 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Matemática,Doctorado en Física,Doctorado en Ciencias de la Computación			

FUNDAMENTOS

La incursión de las tecnologías de la información y la comunicación en la vida cotidiana de los seres humanos implica enormes desafíos, que van desde cuestiones éticas a nuevas formas de abordar el tratamiento de grandes volúmenes de datos con técnicas de la inteligencia artificial. Es necesario, en un contexto cambiante y disruptivo, ofrecer a los estudiantes de las carreras de posgrado de FAMAF que incluyen esta materia en su currículo, la posibilidad de conocer, entender y manejar estas técnicas, las cuales sin duda se están implementando cada vez con más asiduidad en los más diversos ámbitos de nuestras vidas.

OBJETIVOS

El curso tiene como principal objetivo dotar a los estudiantes avanzados de herramientas matemáticas y computacionales que le permitan encarar el desafío de entender, manejar y utilizar los algoritmos más modernos de aprendizaje automático basado en redes neuronales y del modelado matemático de sistemas neuronales naturales.
En la primera parte se brindan conceptos básicos sobre el comportamiento de neuronas y sistemas nerviosos en seres vivos y a partir de estos, modelar el comportamiento biológico observado en las células nerviosas. Este conocimiento no es solo conceptual pues está acompañado de la implementación de modelado mediante la integración numérica de ecuaciones diferenciales ordinarias.
En la segunda parte, a partir de los mismos conceptos biológicos introducidos en la primera parte, se busca que los y las estudiantes manejen los conceptos más importantes del aprendizaje automático supervisado neuronal. Se construyen redes neuronales artificiales de creciente complejidad y tamaño, describiendo los conceptos y lo métodos que explican su funcionamiento. En forma gradual se llega hasta los algoritmos hoy más conocidos y utilizados de aprendizaje profundo, haciendo hincapié en sus especificidades, sus fortalezas y debilidades como así también las aplicaciones más comunes.
Se busca que los estudiantes logren un manejo sólido de los principales conceptos utilizados en la neurociencia teórica y computacional y sus métodos y a la vez que sean capaces de implementar las metodologías aprendidas utilizando librerías de Python especialmente diseñadas. Se espera que ante una situación particular puedan discernir cuáles son las mejores arquitecturas y tamaño para implementar soluciones específicas. Esto les permitirá incluir la inteligencia artificial como parte del diseño de proyectos de científicos y profesionales. Se fomenta la comparación entre métodos de regresión con aprendizaje automático y las técnicas estadísticas usuales. Dado los serios problemas éticos que conlleva la utilización de métodos basados en inteligencia artificial, se busca que reflexione sobre la utilización responsable de los contenidos brindados en la materia.

PROGRAMA

Unidad I: Elementos de Sistemas dinámicos.

El concepto de sistema dinámico. El proceso de modelado. Linealidad vs. no linealidad. Describiendo un sistema dinámico desde el punto de vista matemático. Ecuaciones diferenciales ordinarias. Clasificación de Sistemas Dinámicos. Sistemas autónomos y no autónomos. Sistemas estacionarios vs. sistemas no estacionarios. Comportamiento caótico.
El caso unidimensional. Análisis geométrico de las soluciones: Puntos de equilibrio y el concepto de estabilidad. Análisis de estabilidad lineal. Existencia y unicidad. Diagramas de fases. Métodos numéricos para la resolución de ecuaciones diferenciales ordinarias. Método de Euler y métodos de Runge-Kutta de 2 y 4 orden. Análisis de bifurcaciones.
El caso bidimensional. Análisis de estabilidad lineal: Clasificación de los puntos fijos. El plano de fase. Puntos fijos y linealización. Bifurcaciones en sistemas bidimensionales.
El caso tridimensional y de dimensiones mayores a tres: El ejemplo del sistema de Lorenz. El concepto de caos. Atractores extraños. Sensibilidad a las condiciones iniciales. El exponente de Liapunov. El efecto de la dimensionalidad del sistema en su dinámica.
Sistemas discretos: Mapas unidimensionales. Puntos fijos. El mapa logístico. La ruta de duplicación de período al caos.

Unidad II: Modelado matemático de neuronas

Propiedades eléctricas de las neuronas. ¿Qué es una neurona artificial? Neurona de McCulloch y Pitts. Modelos “integrate-and-fire”. Conductancias dependientes del voltaje. El modelo de Hodgkin y Huxley. Modelados de canales. Conductancia sináptica. El modelo neuronal de Izhikevich. Redes neuronales biológicas con neuronas de Izhikevich.

Unidad III: Introducción a las redes neuronales artificiales

¿Qué es el aprendizaje automático? Repaso y presentación de diferentes problemas y técnicas. Aprendizaje de conceptos. Arboles de decisión. Evaluación de hipótesis. Aprendizaje Bayesiano. Conjuntos de clasificación. Reducción de dimensionalidad. Regresión lineal. Regresión no lineal y logística. Neuronas artificiales. Inspiración biológica. Historia. Redes de neuronas artificiales. La función de activación. Posibles arquitecturas.

Unidad IV: Redes neuronales Feed-forward

Reglas de la plasticidad sináptica. Aprendizaje no supervisado. El perceptrón simple. Neuronas escalón, lineales y no lineales. El método del descenso por el gradiente. El perceptrón multicapas. Separabilidad lineal. El método de la retro-propagación del error y algoritmos asociados. Generalización. Aproximación de funciones continuas. Aprendizaje no supervisado. Aplicaciones.

Unidad V: Redes neuronales recurrentes

Inspiración biológica. Funciones de base radial. Redes de base radial. Algoritmos. Aplicaciones. El modelo de Hopfield para memoria asociativa. Capacidad de almacenamiento. Neuronas estocásticas. El modelo de la pseudo inversa. Dilución sináptica. Mapas auto organizados. Red neuronal de Kohonen. La máquina de Boltzmann. Autoencoders.

Unidad VI: Aprendizaje profundo
Introducción al aprendizaje profundo. La supresión y explosión del gradiente. Descenso por el gradiente estocástico. Descenso por el gradiente adaptativo. Auto-encoders apilados. Redes feed-forward profundas. Redes convolucionales. La máquina de Boltzmann profunda. Modelos generativos profundos. Transformers. Aplicaciones y casos de éxito.

PRÁCTICAS

Las clases prácticas se dictan usando Google Colab o Jupyter Notebooks. La materia tiene un enfoque práctico que busca dotar a los estudiantes con herramientas de programación Python y sus librerías para inteligencia artificial (Pytorch, Tensor Flow, Keras y SciKit learn). Durante las primeras clases los prácticos se orientan a dotar a los estudiantes de conocimientos básicos y avanzados de programación en Python. En la segunda parte deben realizar diferentes trabajos prácticos para el modelado de sistemas neuronales biológicos. Estos son:
1. Neurona Integrate-and-Fire
2. Neurona de Izhikevich y red neuronal de Izhikevich.

En la segunda parte se abordan los trabajos prácticos de aprendizaje automático neuronal: Estos son:
1. Un perceptrón simple para resolver un problema de regresión logística.
2. Una red feed-forward de una capa oculta para clasificar imágenes.
3. Una red feed-forward profunda para regresión.
4. Un auto-encoder convolucional profundo para hacer regresiones.

En la última etapa deben entregar un trabajo final integrador que consiste en un práctico de aplicación de aprendizaje profundo o de modelado matemático de sistemas neuronales biológicos.

BIBLIOGRAFÍA

• Apuntes de clase.
• “Nonlinear dynamics and chaos”, S.H. Strogatz, Addison-Wesley Publishing Company, 1994.
• “Theoretical neuroscience: computational and mathematical modeling of neural systems”, P. Dayan and L. Abbot, MIT Press, 2001
• “Machine Learning”, T.M. Mitchell, McGraw-Hill, 1997.
• “Introduction to the Theory of Neural Computation”, J. Hertz, A. Krogh and R.G. Palmer, Santa Fe Institute, 1991.
• “Deep learning”, Ian Goodfellow, Yoshua Bengio and Aaron Courveille, MIT Press, 2016
• “Neural Networks and Deep Learning”, Michael A. Nielsen, Determination Press, 2016

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

Los y las estudiantes deberán entregar tres prácticos numéricos a lo largo del curso, cada uno con un respectivo informe. Además deberá presentar un Trabajo Final Integrador de la materia, con contenidos teóricos y numéricos. Todos ellos serán evaluados con calificación de

0 a 10 puntos.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO
Análisis de varias variables. Álgebra lineal. Elementos de programación (pueden ser Julia, FORTRAN, C++, Python, entre otros). Probabilidad y estadística.

UNC Universidad Nacional de Córdoba
FAMAF Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación

TÍTULO: Simulaciones micromagnéticas aplicadas al diseño y estudio de nanoestructuras			
AÑO: 2023	**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. Una herramienta que permite resolver las ecuaciones micromagnéticas para estructuras magnéticas de baja dimensionalidad es el programa numérico OOMMF (de las siglas Object Oriented MicroMagnetic Framework), el cual resuelve las ecuaciones de Landau-Lifschitz-Gilbert mediante el método de diferencias finitas. La posibilidad de predecir las propiedades de nanoestructuras mediante simulaciones micromagnéticas, permite abordar el diseño de materiales en interacción con dichas nanoestructuras, para su evaluación electroquímica como sensores multipropósito.

OBJETIVOS

Impartir conocimientos sobre el micromagnetismo de estructuras uni y bidimensionales, de interés actual en diversas aplicaciones nanotecnológicas. Para ello, se emplearán herramientas de cálculo numérico en 2d y 3D, junto con aplicaciones concretas entendidas desde la caracterización electroquímica, con el objetivo particular de entrenar a los/as alumnos/as en el uso de programas (OOMMF), 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 y nanohilos con diámetros modulados.
Resolver y exponer los trabajos prácticos propuestos por los docentes del curso, en formato póster.

PROGRAMA

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. Actividades. Exposición y discusión de resultados.

Unidad II: Simulación de nanoestructuras magnéticas en OOMMF 2D
Herramientas de simulación micromagnética: uso del software Object Oriented MicroMagnetic Framework (OOMMF). Selección de parámetros. Descripción de los comandos. OOMMF y Micromagnetismo: Construcción del "Micromagnetic Input Format" (MIF) para el modelamiento de sistemas bidimensionales. Ejemplos. Definición de problemas a resolver. Actividades. Exposición y discusión de resultados.

Unidad III: Simulación de nanoestructuras magnéticas en OOMMF 3D
Presentación de archivos de entrada (MIF). Rutas de acceso. Acceso a Nanohub. 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 IV: Introducción a los skyrmions magnéticos y su modelamiento en micromagnetismo
Perspectiva general. Definiciones básicas: skyrmion magnético, carga topológica. Interacción de Dzyaloshinskii–Moriya. Diferencias entre skyrmions y burbujas magnéticas. Evidencia experimental de skymions 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. Definición de problemas a resolver. Actividades. Exposición y discusión de resultados.

Unidad V: Propiedades estáticas y dinámicas de nanoestructuras moduladas
Antecedentes teóricos. Aproximación al continuo. Fundamentos sobre resonancia magnética. Burbujas skyrmiónicas. Nanohilos con diámetros modulados. Dinámica de la magnetización. Ejemplos. Actividades. Exposición y discusión de resultados.

Unidad VI: Nanoestructuras magnéticas quirales
Antecedentes generales de los materiales magnéticos quirales. Simulaciones micromagnéticas con Mumax3 en materiales quirales. Cálculos de configuraciones estacionarias y curvas de histéresis. Un nanohilo magnéticos con y sin modulación. Sistema de nanohilos magnéticos. Sistemas conectados tipo Artificial Spin Ice. Cálculos de la magnetorresistencia.

Unidad VII: Electroquímica de nanoestructuras magnéticas
Fundamentos y aplicaciones de electroquímica: La interfase electroquímica. Procesos electroquímicos. Fundamentos de técnicas electroquímicas convencionales (voltamperometría cíclica, espectroscopia de impedancia electroquímica). Aspectos experimentales. Los análogos eléctricos y los procesos químicos. Ejemplos de aplicación a nanoestructuras

magnéticas. Actividades. Exposición y discusión de resultados.

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 I
[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). / 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 seleccionados por los docentes a cargo del módulo.

Módulos II y III
[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.
[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), 2020.
[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, 2020.
[3.3] F. Tejo, F. Velozo, R.G. Elías, J. Escrig. Oscillations of skyrmion clusters in Co/Pt multilayer nanodots. Scientific Reports 10 (16517), 2020.
[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), 2019.
[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, 2018.
[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.

Módulos IV y V
[4/5.1] Susceptibilidad dinámica de nanoestructuras y geometrías complejas, Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencia con Mención en Física, Eduardo Saavedra, 2019.
[4/5.2] 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.
[4/5.3] Dynamic susceptibility of nanopillars, N. Dao et al 2004, Nanotechnology 15 S634
[4/5.4] Magnetic normal modes of nanoelements, R.D. McMichael, M.D. Stiles, J. Appl. Phys. 97 (2005) 10J901.

Módulo VI
[6.1]S.D. Yi, S. Onoda, N. Nagaosa, J. Hoon Han. Physical Review B 80, 054416 (2009)
[6.2] J. H. Han, J. Zang, Z. Yang, J.-H. Park, N. Nagaosa. Physical Review B 82, 094429 (2010).
[6.3] D. Prychynenko, M. Sitte, K. Litzius, B. Krüger, G. Bourianoff, M. Kläui, J. Sinova, K. Everschor- Sitte. Physical Review Applied 9, 014034 (2018).
[6.4]G. Sáez, P. Díaz, E. Cisternas, E.E. Vogel, J. Escrig. Scientific Reports 11, 20811 (2021)
[6.5] G. Sáez, E. Cisternas, P. Diaz, E.E. Vogel, J.P. Burr, E. Saavedra, J. Escrig. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 512, 167045 (2020).
[6.6] G. Sáez, P. Díaz, N. Vidal-Silva, J. Escrig, E. E. Vogel. Results in Physics 39, 105768 (2022).
[6.7] E. Saavedra, J. Escrig, J.L. Palma. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 490, 165522 (2019).
[6.8] E. Saavedra, J. Escrig. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 513, 167084 (2020).
[6.9] F. Valdés-Bango, M. Vélez, L. M. Alvarez-Prado, J. I. Martín. New Journal of Physics 20, 113007 (2018).
[6.10] B. L. Le, J. Park, J. Sklenar, G.-W. Chern, C. Nisoli, J. D. Watts, M. Manno, D. W. Rench, N. Samarth, C. Leighton, P. Schiffer. Physical Review B 95, 060405(R) (2017).
[6.11] J. Park, B. L. Le, J. Sklenar, G.-W. Chern, J. D. Watts, P. Schiffer. Physical Review B 96, 024436 (2017).

[6.12] A. Vansteenkiste, J. Leliaert, M. Dvornik, M. Helsen, F. Garcia-Sanchez, B. Van Waeyenberge. AIP Advances 4, 107133 (2014).

Módulo VII
[7.1] Allen J. Bard, Larry R. Faulkner. Electrochemical Methods. Fundamentals and
[7.2] Applications. 2da Edición. 2001 John Wiley & Sons, Inc.
[7.3] E. Barsoukov, J. R. Macdonald. Impedance Spectroscopy. Theory, experiment and applications. 2da. Edición. 2005 John Wiley & Sons, Inc.
[7.4] Artículos científicos seleccionados por el profesor.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN
El/la estudiante presentará la resolución de actividades propuestas en cada módulo, en forma escrito y oral, y al finalizar, una actividad integradora asignada por los docentes.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO
Conocimientos básicos de magnetismo y materiales magnéticos, 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 de control			
AÑO: 2023	**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 sistemas de control se diseñan para regular y mantener el comportamiento de un sistema físico, un proceso o una máquina de acuerdo con un objetivo deseado. Para ello, utilizan sensores, actuadores y algoritmos de control para medir variables, compararlas con valores de referencia y tomar acciones correctivas, asegurando así el funcionamiento óptimo y seguro de una amplia gama de aplicaciones.

En los laboratorios, la aplicación de sistemas de control puede mejorar significativamente el rendimiento de los aparatos experimentales, así como el control de diferentes variables puede generar datos más confiables. Pueden así diseñarse sistemas de control de temperatura, para experimentos en donde sea crucial mantener la misma dentro de un rango específico forma precisa y estable. También puede ser necesario regular presión cuando se involucran gases o vacío, movimiento para posicionar de manera precisa objetos o muestras, voltajes, corrientes, gradientes magnéticos y secuencias de pulsos en diferentes tipos de experimentos.

A pesar de que soluciones de control pueden implementarse utilizando herramientas comerciales, dada la necesidad de innovación requerida en la investigación científica, existen numerosas situaciones en las cuales los científicos deben desarrollar su propio sistema de control para la implementación de una determinada experiencia. Esto se debe a, simplemente, que la electrónica desarrollada con fines comerciales sólo cubre necesidades generales, casi nunca con las características tan específicas requeridas por la experimentación científica que debe generar nuevos resultados que permitan desplazar la frontera del conocimiento.

Surge entonces como necesidad la formación del científico experimental en temas de control , particularmente orientados a laboratorios experimentales . Esta formación se encuentra normalmente más allá de la formación de grado habitual de los estudiantes de carreras de ciencias, lo que justifica su propuesta como curso de posgrado.

Este curso introduce los conceptos de sistemas de control realimentado para sistemas lineales, abordando cuestiones que abarcan desde los conceptos básicos , el modelado matemático de los sistemas físicos desde el punto de vista de la frecuencia y desde el punto de vista temporal, conceptos de algoritmos de control e implementación de controladores.

OBJETIVOS

- Comprender adecuadamente el principio de los sistemas de control, así como sus alcances y limitaciones
- Modelar los sistemas a controlar utilizando las herramientas matemáticas adecuadas
- Desarrollar habilidades para el diseño e implementación de sistemas de control de interés en instrumentación científica.

PROGRAMA

Unidad I: Introducción a los sistemas de control y modelado matemático
Conceptos de sistemas de control. Sistemas lineales e invariantes en el tiempo. Función de transferencia y respuesta al impulso. Modelado en el espacio de estados. Transformación de modelos. Ejemplos de modelado de sistemas control de interés en física.

Unidad II: Análisis de comportamiento dinámico y diseño de sistemas de control
Análisis de la respuesta transitoria y estacionaria. Análisis y diseño de control por método de lugar de raíces y respuesta en frecuencia. Controladores PID, ajustes e implementación.

Unidad III: Análisis y diseño de los sistemas de control en el espacio de estados
Solución de la ecuación de estado invariante en el tiempo. Controlabilidad y observabilidad. Diseño de sistemas reguladores y de control con observadores. Criterio de estabilidad de Liapunov. Introducción al control óptimo cuadrático. Control robusto. Observadores en presencia de ruido: el filtro de Kalman. Consideraciones de diseño.

PRÁCTICAS

Las actividades prácticas cubren una parte importante de la materia (50%), cubriendo aspectos diversos.
Las mismas abarcarán la resolución de problemas de complejidad creciente. Se utilizará la herramienta Matlab para el análisis, diseño y desarrollo de los sistemas de control. Esto se debe a que presenta una amplia funcionalidad, librerías especializadas, entorno de simulación, capacidades de visualización y capacidad de integración con otras herramientas y dispositivos.
En algunos problemas más avanzados, alcanzados los objetivos de diseño en el simulador, 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 Grupo de Desarrollo Electrónico e Instrumental de la FAMAF.
Los estudiantes deberán desarrollar en carácter de trabajo especial el diseño, simulación y/o prototipado de un sistema de control, en lo posible sistemas de instrumentación pertinente a los grupos de investigación en los cuales desarrollan sus tesis.
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

- Katsuhiko Ogata. INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA. PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2010. ISBN: 978-84-8322-660-5
- Arie Nakhmani, Ph.D.Modern Control.State-Space Analysis and Design Methods.McGraw-Hill Education, United States, 2020

- Farid Golnaraghi, Benjamin C. Kuo. Automatic control systems.Tenth Edition Hill Education, United States, 2017
- John Bechhoefer. Control Theory for Physicists. Cambridge University Press, United Kingdom, 2021. ISBN 978-1-107-00118-3 Hardback
- Keviczky, L., Bars, R., Hetthéssy, J., Bányász, C. Control Engineering. Advanced Textbooks in Control and Signal Processing. Springer, Singapore, 2019. ISBN: 978-981-10-8297-9
- Dingy¨u Xue, YangQuan Chen, Derek P. Atherton. Linear Feedback Control.Analysis and Design with MATLAB. Springer 2002.

.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN
La evaluación se realizará de manera continua y los estudiantes deberán reportar los resultados en un informe individual que incluirá el resumen de los conceptos teóricos empleados para la resolución de cada caso planteado y los resultados experimentales que demuestren el correcto funcionamiento de la solución propuesta. La aprobación de estos trabajos determinará la regularización del curso. El examen final será individual, integrador y consistirá en el tratamiento teórico y aspectos de implementación de un sistema de control de interés en instrumentación científica y la consecuente defensa de la alternativa escogida.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO
Conocimientos básicos de álgebra lineal, ecuaciones diferenciales ordinarias y electromagnetismo

TÍTULO: Técnicas de Astrometría para problemas astrofísicos			
AÑO: 2023	**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 Astrometría es fundamental para todas las otras áreas de la Astronomía, desde el calado de telescopios, los sistemas de navegación y guiado, hasta las determinaciones de distancias y movimientos para la Astrofísica. En las últimas décadas, nuevas técnicas observacionales han llevado a mejoras de órdenes de magnitud en la precisión de las mediciones. Comenzando desde los principios básicos, en este curso se proveen los fundamentos de esta Astrometría de precisión al nivel del milisegundo e incluso microsegundos de arco, y su impacto en problemas de Astrofísica, a fin de conocer las oportunidades que presenta, así como sus limitaciones.

OBJETIVOS

Se espera que al finalizar la materia los estudiantes estén en condiciones de:
- Comprender las formas de definición y materialización de los sistemas de referencia celestes actuales.
- Conocer y aplicar correctamente las resoluciones vigentes de la Unión Astronómica Internacional referidas a sistemas de referencia.
- Resolver cálculos de posiciones y movimientos de objetos celestes al nivel de precisión de la astrometría actual.
- Describir adecuadamente las principales técnicas astrométricas.
- Aplicar conceptos de formación de imágenes y de teoría de errores en la determinación precisa de posiciones y movimientos.
- Analizar y discutir investigaciones que emplean mediciones astrométricas.
- Evaluar las potencialidades y limitaciones de las mediciones astrométricas para dar respuesta a diversos problemas astrofísicos.

PROGRAMA

Unidad I: Fundamentos de la Astrometría actual

Vectores y matrices en Astrometría. Principios de la relatividad especial y general. Sistemas de coordenadas y posiciones. Desplazamientos aparentes de los objetos celestes.

Unidad II: Sistemas de referencia y marcos de referencia

Definición de los sistemas de referencia: dinámico y cinemático. International Celestial Reference System (ICRS) e International Terrestrial Reference System (ITRF): definiciones y conceptos generales. Construcción de marcos de referencia. Marcos de referencia actuales. Modelos, estándares y convenciones de la Unión Astronómica Internacional: definiciones, conceptos generales y aplicación.

Unidad III: Técnicas de Astrometría desde Tierra

Astrometría semi-global y de pequeño campo. Atmósfera terrestre: efectos sobre las observaciones y limitaciones a la precisión astrométrica. Astrometría con imágenes desde Tierra. Interferometría óptica. Astrometría en radio.

Unidad IV: Técnicas de Astrometría espacial
Astrometría global y de pequeño campo. Astrometría con el Telescopio Espacial. El satélite astrométrico Hipparcos: principio de funcionamiento, estrategia de observación, principales resultados. Los catálogos Hipparcos, Tycho y Tycho-2. La misión Gaia: principio de funcionamiento, estrategia de observación, "data releases" actuales y futuros. Futuras misiones espaciales.

Unidad V: Aplicaciones de la Astrometría a temas astrofísicos
Impacto en Astrofísica de la misión astrométrica Hipparcos. Resultados astrofísicos a partir de los "data release" de Gaia disponibles. Determinación de distancias y calibración de luminosidades. Estrellas binarias y múltiples. Cúmulos estelares. Objetos del Sistema Solar. Estructura galáctica. Cosmología. Planetas extrasolares.

PRÁCTICAS

Las actividades prácticas consistirán en el análisis de datos astrométricos, la utilización de tales conjuntos de datos para determinar parámetros físicos de distintos objetos astronómicos y la evaluación de las incertezas en los resultados. Se desarrollarán en la sala de informática del Observatorio Astronómico. Se dará seguimiento y orientación personalizada del avance en cada clase y se evaluará tanto la justificación del desarrollo seguido como el resultado final.

BIBLIOGRAFÍA

Básica
- Van Altena, W. (Ed.). (2012). Astrometry for Astrophysics: Methods, Models, and Applications. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139023443
- Kovalevsky, J., & Seidelmann, P. (2004). Fundamentals of Astrometry. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139106832
- Kovalevsky, J. (2002). Modern Astrometry. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. doi: 10.1007%2F978-3-662-04730-9
- Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac (1992), University Science Books
- Gaia Collaboration, Prusti, T., et al. (2016), The Gaia mission, A&A, Volume 595, id.A1, 36 pp. https://doi.org/10.1051/0004-6361/201629272
- Bustos Fierro, I.H. & Calderón, J.H. (2019), Extraction of globular clusters members with Gaia DR2 astrometry, MNRAS, Volume 488, Issue 3, p.3024-3034. https://doi.org/10.1093/mnras/stz1879
- Gaia Collaboration, Vallenari, A., et al. (2022), Gaia Data Release 3. Summary of the content and survey properties, https://doi.org/10.1051/0004-6361/202243940
- Cantat-Gaudin, T. et al. (2018), A Gaia DR2 view of the open cluster population in the Milky Way, A&A, Volume 618, id.A93, 16 pp. https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833476
- Cantat-Gaudin, T. et al. (2018), Characterising open clusters in the solar neighbourhood with the Tycho-Gaia Astrometric Solution, A&A, Volume 615, id.A49, 15 pp.

https://doi.org/10.1051/0004-6361/201731251

Complementaria

- Jin, Wenjing, Imants Platais, and M. A. C. Perryman. A Giant Step, From Milli- to Micro-arcsecond Astrometry: Proceedings of the 248th Symposium of the International Astronomical Union Held in Shanghai, China, October 15-19, 2007. Cambridge, U.K. ; New York: Cambridge University Press, 2008.
- Serie de artículos: Astronomy & Astrophysics, Gaia Data Release 3 (2022), https://www.aanda.org/component/toc/?task=topic&id=1641
- Además de los ya mencionados, otros artículos científicos recientes sobre las temáticas propuestas.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN
Examen oral integrador individual.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO
Conocimientos de: astronomía de posición clásica, astrofísica elemental, astronomía galáctica, observación astronómica, fundamentos de relatividad especial y general.

TÍTULO: Teoría básica de ∞-categorías			
AÑO: 2023	**CUATRIMESTRE:** 2°	**N° DE CRÉDITOS:** 3	**VIGENCIA:** 3 años
CARGA HORARIA: 120 horas de teoría y 60 horas de práctica			
CARRERA/S: Doctorado en Matemática			

FUNDAMENTOS

Los objetos matemáticos de cierta sofisticación suelen ir acompañados de estructuras homotópicas superiores: los mapas entre ellos pueden estar conectados por homotopías que atestiguan la débil conmutatividad de los diagramas, que luego pueden estar conectados por homotopías superiores que expresan condiciones de coherencia entre estos testigos, que luego pueden conectarse por homotopías aún más altas ad infinitum. El hábitat natural de tales objetos matemáticos no es una categoría 1 ordinaria, sino una categoría ∞ o, más precisamente, una categoría (∞, 1), con el índice "1" refiriéndose al hecho de que los morfismos por encima del más bajo dimensión - las homotopías que acabamos de discutir - son débilmente invertibles.
El formalismo de categorías tensoriales es ubicuo; aparece en diversas ramas del álgebra y la teoría cuántica de campos.

OBJETIVOS

El objetivo del curso es ofrecer una introducción tan elemental como sea posible a la teoría básica de ∞-categorías.

PROGRAMA

Unidad I: ∞-Cosmos y sus 2-categorías homotópicas
Cuasi-Categorías. ∞-Cosmos. Funtores cosmológicos La 2-categoría homotópica.

Unidad II: Adjunciones, Límites y Colímites
Adjunciones y equivalencias. Elementos Iniciales y terminales. Límites y colímites. Preservación de límites y colímites.

Unidad III: Coma ∞-Categorías
Funtores sofocantes. ∞-Categorías de flechas. Retrocesos de isofibraciones. La construcción de la coma. Coma ∞-Categorías representables. Adjuntos de fibra y equivalencias de fibra.

Unidad IV: Adjunciones, Límites y Colímites II
La propiedad universal de las adjunciones. ∞-Categorías de Conos. La Propiedad Universal de Límites y Colímites.

Unidad V: Fibrados y el Lema de Yoneda
Flechas cartesianas. Fibrados cartesianas. Funtores cartesianos. Fibrados y bifibraciones coartesianas. Fibrados cartesianas discretas. La representabilidad de las Fibrados cartesianas. El lema de Yoneda.

PRÁCTICAS

Resolución de ejercicios.

BIBLIOGRAFÍA
Elements of ∞-Category Theory. Emily Riehl &Dominic Verity.Cambridge University Press (2022). https://doi.org/10.1017/9781108936880

MODALIDAD DE EVALUACIÓN
Examen final sobre temas del curso.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO
Conocimientos básicos de estructuras algebraicas y teoría de categorías

TÍTULO: Topología Algebraica			
AÑO: 2023	**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 Topología Algebraica es una rama de la Matemática que utiliza herramientas algebraicas para el estudio de espacios topológicos. Se estudiarán los grupos de homotopía, en especial el llamado grupo fundamental. También, los grupos de homología, una sucesión de grupos abelianos asociados a cada espacio topológico que se utilizan para la clasificación de dichos espacios.

OBJETIVOS

El objetivo es definir invariantes algebraicos computables que permitan clasificar los espacios topológicos salvo homeomorfismo, o también, salvo equivalencia homotópica.
Que los alumnos adquieran las herramientas básicas de la Topología Algebraica, que tiene aplicaciones a la geometría y otras ramas de la matemática, además de servir como introducción y motivación para el álgebra homológica.

PROGRAMA

Unidad I: Homotopía
Equivalencia homotópica, retractos, retractos por deformación, espacios contráctiles. Homotopía de curvas. Grupo fundamental.

Unidad II: Revestimientos
Levantamiento de curvas y homotopías. Cubrimiento universal. Grupo fundamental y transformaciones de cubrimiento. Existencia. Espacios simplemente conexos. Grupo fundamental del círculo. Aplicaciones. Grupo fundamental de las esferas S^n, n>1 y de espacios de adjunción.

Unidad III: Teorema de Seifert-Van Kampen
Grupos libres. Grupos presentados por generadores y relaciones. Producto amalgamado de grupos. Teorema deSeifert-Van Kampen. Aplicación al cálculo del grupo fundamental de diversos espacios.

Unidad IV: Homología singular
Simples, Operador de borde, homología singular. Complejos, homomorfismos, sucesiones exactas largas, homomorfismo de conexión. Homología relativa.

Unidad V: Escisión
Teoremas de homotopía y escisión. Equivalencia homotópica. Operador inducido en homología. Axiomas de homología. Homología simplicial.

Unidad VI: Homologías de las esferas

Homología de la esfera S^n. Consecuencias. Sucesión de Mayer-Vietoris. Cálculo de la homología de las superficies compactas. Homología del toro y de la botella de Klein. Homología del toro n-dimensional. Grado de una función en la esfera. Propiedades. Teorema de Jordan-Brower.

Unidad VII: Complejos CW
Espacios CW-finitos. Espacios de adjunción. Homología de espacios CW. Números de Betti y característica de Euler. Espacios proyectivos, toros y sumas conexas.

Unidad VIII: Cohomología singular
Expresión de la cohomología en términos de la homología. Teorema del coeficiente universal. Cálculo en ejemplos.

PRÁCTICAS

Habrá clases prácticas y tres parciales escritos, además de algunos ejercicios escogidos para que los alumnos presenten resueltos.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

[SG] “Introducción a la Topología Algebraica”, Alicia García y Cristián Sánchez. FaMAF-UNC, 1994.

[Ha] “Algebraic Topology”, Hatcher, Cambridge University Press, 2001.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Topology and Geometry, G. Bredon, Springer Verlag, 2002.

Lectures on Algebraic Topology, L. Greenberg, W. A. Benjamin, 1977.

MODALIDAD DE EVALUACIÓN

El examen final será escrito y oral.
Para quedar regular hay que cumplir con los requisitos de tener un mínimo de 70% de asistencia a las clases teóricas y prácticas y aprobar al menos dos evaluaciones parciales o sus correspondientes recuperatorios.

REQUERIMIENTOS PARA EL CURSADO

Se requieren buenos conocimientos de topología y de estructuras algebraicas, como los que se obtienen al rendir estas dos materias de 3er año de la Lic. en Matemática de FAMAF.