

# Licenciatura en Ciencias de Datos

## (Matemática+Computación+Datos)

### Intro

Los datos siempre anduvieron por ahí. Desde hace miles de años. Y desde esos tiempos vienen ayudando a comprender mejor nuestro mundo y nuestro entorno. De eso se ocuparon distintas disciplinas como matemática, física, otras ciencias naturales y luego las sociales y las de la computación. Pero hace un tiempo se produjo una revolución en el volumen de datos que producimos a los que podemos acceder y junto con eso en los métodos y herramientas que usamos para aprender de ellos.

Esta nueva carrera hace acuse de recibo de esa revolución. Es una carrera con mucha matemática, mucha estadística, mucha computación y muchos datos. Un buen resumen es que es la conjunción de todo eso.

Buscamos formar graduados/as con una sólida cultura científica en matemática y computación, capaces de afrontar desafíos tanto del sector productivo como del académico en distintas áreas que requieren del modelado y manejo de datos. Con solidez en programación, pensamiento crítico, actitud científica, capacidad de abstracción y destreza lógica.

Eso incluye desafíos con grandes volúmenes de datos pero también la resolución de todo tipo de problemas que requieran modelado matemático y computacional.

### Duración

La LCD está planificada para una duración de 5 años y medio con fuerte dedicación. La carga horaria total es de 3.872 horas reloj. El título intermedio de *Bachiller Universitario en Ciencias de Datos* se obtiene a los 3 años, la carga horaria total para este título es de 2.000 horas reloj.

### Estructura

La Carrera consta de tres ciclos de formación: el **Primer Ciclo de Grado** (Ciclo Básico Común), el **Segundo Ciclo de Grado** compuesto por materias obligatorias y una materia electiva de introducción a las Ciencias Naturales y el **Tercer Ciclo de Grado** compuesto por materias electivas y la **Tesis de Licenciatura** o Trabajo final.

**Primer Ciclo de Grado:** Ciclo Básico Común (CBC), duración teórica: 1 año. Consta de 6 asignaturas, que totalizan 608 horas de cursada.

**Segundo Ciclo de Grado:** está compuesto por 14 materias que totalizan 2304 horas de cursada, con una duración teórica de 3 años. La estructura de este ciclo es la siguiente:

a. Fundamentos: 11 materias de formación básica: Análisis I, Álgebra I, Algoritmos y Estructuras de Datos I, Análisis II, Algoritmos y Estructuras de Datos II, Laboratorio de Datos, Análisis Avanzado, Probabilidad, Álgebra Lineal Computacional, Algoritmos y Estructuras de Datos III y una materia electiva de introducción a las Ciencias Naturales .

b. Materias núcleo. Son tres materias troncales: Introducción a la Investigación Operativa y Optimización, Introducción al Modelado Continuo e Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos. Estas tres materias serán la introducción al Tercer Ciclo de Grado y ayudarán al alumno a orientar su PEI. El objetivo de estas materias es presentar un abanico de herramientas matemático-computacionales fundamentales para afrontar distintos problemas. Las tres materias tienen trabajos finales de laboratorio en alguna herramienta de programación (R, Matlab, Python, etc.) elegida y trabajada en los cursos.

**Tercer ciclo de grado:** Provee a el/la estudiante una formación más profunda, orientada hacia alguna de las áreas específicas comprendidas dentro de la carrera. Este ciclo se constituye en un bloque donde el/la estudiante debe reunir como mínimo 640 hs. de cursada en materias electivas y/u optativas, y finalizar con un trabajo de Tesis de licenciatura o Trabajo Final que equivale a 320hs reloj. El/la estudiante podrá seleccionar las materias optativas y/o electivas indicando a la Comisión de Carrera la orientación que desea para su carrera. La Comisión designará tutor/a de estudios que elaborará en conjunto con el/la estudiante un plan individual de estudios. De esta forma el/la estudiante adquirirá una formación especializada y guiada en el área de su interés. Más abajo se da una lista de materias entre las cuales el alumno puede optar pero la elección no está limitada a dichas materias. El alumno podrá proponer otras materias con el aval de su tutor. La comisión de carrera será la encargada de aprobar el plan en su conjunto. El tercer ciclo de grado tiene una duración teórica de un año y medio, y 960 horas.

## Título intermedio.

Para acceder al título intermedio deben aprobarse todas las materias del Ciclo Básico Común más las asignaturas de la siguiente lista:

Análisis I

Álgebra I

Algoritmos y Estructuras de Datos I

Una materia electiva de introducción a las Ciencias Naturales

Análisis II

Algoritmos y Estructuras de Datos II

Laboratorio de Datos

Álgebra Lineal Computacional

## Materias

Primer Ciclo de Grado: Ciclo Básico Común							
Nº	CUAT	Asignatura	C	CHS	CHT	Correlatividad de Asignaturas	Modalidad
1	1-2	Introducción al Conocimiento de la Sociedad y el Estado (24)	C	4	64	--	T/P
2	1-2	Introducción al Pensamiento Científico (40)	C	4	64	--	T/P
3	1-2	Análisis Matemático A (28)	C	9	144	--	T/P
4	1-2	Álgebra (27)	C	9	144	--	T/P
5	1-2	Química (05)	C	6	96	--	T/P

6	1-2	Física(03)	C	6	96	--	T/P
---	-----	------------	---	---	----	----	-----

Segundo Ciclo de Grado							
Nº	CUAT	Asignatura	C	CHS	CHT	Correlatividad de Asignaturas	Modalidad
7	3	Análisis I	C	10	160	CBC	T/P/L
8	3	Álgebra I	C	10	160	CBC	T/P/L
9	4	Algoritmos y Estructuras de Datos I	C	15	240	Álgebra I	T/P/L
10	4	Electiva de Introducción a las Ciencias Naturales	C	11	176	CBC	T/P/L
11	5	Análisis II	C	10	160	Análisis I	T/P/L
12	5	Algoritmos y Estructuras de Datos II	C	15	240	Algoritmos y Estructuras de Datos I	T/P/L
13	6	Laboratorio de Datos	C	6	96	Algoritmos y Estructuras de Datos I	P/L
14	6	Análisis Avanzado	C	8	128	Análisis II, Álgebra I	T/L
15	6	Álgebra Lineal Computacional	C	10	160	Álgebra I	T/P/L
16	7	Probabilidad	C	10	160	Análisis Avanzado	T/P/L
17	7	Algoritmos y Estructura de Datos III	C	15	240	Algoritmos y Estructuras de Datos II	T/P/L
18	8	Intr. a la Estadística y Ciencia de Datos	C	8	128	Alg y Estruct de Datos II, Probabilidad, Álgebra Lineal Computacional	T/L
19	8	Intr. a la Investigación Operativa y Optimización	C	8	128	Alg y Estruct de Datos III, Análisis II, Álgebra Lineal Computacional	T/L
20	8	Intr. al Modelado Continuo.	C	8	128	Análisis Avanzado, Álgebra Lineal Computacional, Alg y Estructura de Datos II	T/L

Listado de materias electivas de Introducción a las Ciencias Naturales

Asignatura	C	CHS	CHT	Correlatividad de Asignaturas	Modalidad
Introducción a la Biología Molecular y Celular	C	12	192	CBC	T/P/L
Química General e Inorgánica para Ciencias Biológicas	C	11	176	CBC	T/P/L
Física I para Ciencias Químicas	C	12	192	CBC	T/P/L

Listado de materias electivas del ciclo superior. Se debe elegir un subconjunto de estas materias u otras propuestas por el/la estudiante para completar los requisitos del tercer ciclo de grado.

### Tercer Ciclo de Grado

Asignatura	C	CHS	CHT	Correlatividad de Asignaturas	Modalidad
Análisis numérico	C	10	160	Introducción al modelado continuo	T/P/L
Ecuaciones diferenciales ordinarias	C	8	128	Introducción al modelado continuo	T/P
Ecuaciones diferenciales no lineales	C	6	96	Introducción al modelado continuo	T/P
Procesos estocásticos	C	6	96	Probabilidad	T/P
Análisis complejo	C	10	160	Introducción al modelado continuo	T/P
Matemática 4	C	10	160	Introducción al modelado continuo	T/P
Teoría de probabilidades	C	6	96	Probabilidad	T/P
Simulación de procesos estocásticos	C	6	96	Probabilidad	T/P/L
Ecuaciones diferenciales estocásticas	C	6	96	Probabilidad	T/P
Teoría de colas	C	6	24	Probabilidad	T/P
Sistemas de partículas interactivas	C	6	96	Probabilidad	T/P
Problemas Matemáticos de la Industria	C	6	96	Introducción al modelado continuo	T/P/L
Taller de Matemática Aplicada I	C	5	80	Introducción al modelado continuo	T/P/L
Estadística Avanzada	C	8	128	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Modelos de regresión	C	8	128	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Modelo Lineal	C	8	128	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Estimación No Paramétrica Aplicada	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Casos de estudio en estadística	C	6	96	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos. Y al menos dos materias con contenido en temas de regresión y visualización de datos.	T/P/L
Modelos Lineales Generalizados Aplicados	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Modelo Lineal Generalizado	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Series de Tiempo	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Herramientas de Visualización de datos	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Métodos de Estadística Robusta	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P
Diseño de Experimentos	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P
Estimación Bayesiana	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Técnicas de Remuestreo	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Herramientas de Estadística Computacional	C	2	32	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Herramientas de Selección de Modelos	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Series de Tiempo Avanzada	C	4	64	Series de Tiempo	T/P
Muestreo	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P
Tests No Paramétricos	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P

Análisis Multivariado	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P
Análisis Multivariado Avanzado	C	4	64	Análisis Multivariado	T/P
Bondad de ajuste	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P
Métodos robustos y no paramétricos	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P
Análisis estadístico de datos funcionales	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos.	T/P
Procesos Empíricos	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos.	T/P
Estimación semiparamétrica y datos funcionales	C	4	64	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P
Aprendizaje Automático	C	4	64	Algoritmos y Estructuras de Datos III, Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Aprendizaje profundo	C	6	96	Probabilidad	T/P/L
Análisis de Grandes Volúmenes de Datos	C	5	80	Algoritmos y Estructuras de Datos III	T/P/L
Introducción a la Robótica Móvil	C	10	160	Probabilidad, Algoritmos y Estructuras de Datos II.	T/P/L
Metaheurísticas	C	4	64	Algoritmos y Estructuras de Datos III	T/P/L
Neurociencia Computacional	C	10	160	Organización de Computadoras Algoritmos y Estructuras de Datos 3	T/P/L
Procesamiento del Habla	C	4	64	Algoritmos y Estructuras de Datos 3, Álgebra Lineal computacional	T/P/L
Procesamiento de Lenguaje Natural	C	4	32	Algoritmos y Estructuras de Datos III, Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	T/P/L
Introducción al procesamiento digital de imágenes	C	6	96	Álgebra lineal computacional, Probabilidad.	T/P/L
Reconocimiento de Patrones	C	6	96	Probabilidad.	T/P/L
Redes Neuronales	C	6	96	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos.	T/P/L
Visión por computadora	C	6	96	Álgebra lineal computacional.	T/P/L
Seminario Avanzado de Teoría de Grafos	C	6	96	Algoritmos y Estructuras de Datos III	T/P
Bases de Datos	C	10	160	Ingeniería de Software, Sistemas Operativos	T/P/L
Organización del Computador	C	6	96	Algoritmos y Estructuras de Datos I	T/P
Introducción a la dinámica de geo-fluidos	B	10	80	Introducción a las Ciencias Naturales, Análisis II	T/P/L
Introducción al modelado numérico de fluidos geofísicos	B	10	80	Introducción al modelado continuo, Introducción a la dinámica de geo-fluidos.	T/P/L
Introducción al sensoramiento remoto del sistema terrestre	B	10	80	Álgebra Lineal Computacional, Probabilidad, Introducción la dinámica de geo-fluidos.	T/P/L
Introducción a la Meteorología del Espacio	B	10	80	Introducción a la dinámica de geo-fluidos. Algoritmos y estructuras de datos I.	T/P/L
Dinámica No Lineal	C	8	128	Análisis II	T/P
Estadística en Física Experimental	C	8	128	Análisis II	T/P
Física Computacional	C	10	160	Introducción al modelado continuo	T/P

Física de polímeros	C	10	160	Introducción al modelado continuo	T/P
Instrumentación y Control	C	6	96	Introducción al modelado continuo	T/P
Laboratorio de Electrónica	C	6	96	Introducción al modelado continuo	
Propiedades Físicas y Químicas de los Materiales	C	10	160	Introducción al modelado continuo	T/P/L
Redes complejas con aplicación a sistemas biológicos	C	10	160	Introducción al modelado continuo	T/P/L
Sistemas complejos	C	8	128	Introducción al modelado continuo	T/P/L
Física Estadística de Sistemas Complejos	C	8	128	Introducción al modelado continuo	T/P/L
Introducción al modelado de Sistemas Biológicos	C	8	128	Introducción al modelado continuo	T/P/L
Introducción al modelado de Sistemas Sociales	C	8	128	Introducción al modelado continuo	T/P/L
Toma de decisiones	C	7	112	Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos	
Teoría de juegos	C	4	64	Probabilidad/Análisis avanzado	T/P

CHS: Carga Horaria Semanal    CHT: Carga Horaria Total

C: Carácter    C: Cuatrimestral/B: Bimestral

T/P: Teórico/Problemas T/P/L: Teórico/Problemas/Laboratorio

## Contenidos mínimos

### Primer Ciclo de Grado: Ciclo Básico Común

#### ASIGNATURAS OBLIGATORIAS:

##### **Introducción al Pensamiento Científico (40)**

Modos de conocimiento: conocimiento tácito y explícito. Lenguaje y metalenguaje. Conocimiento de sentido común y conocimiento científico. Conocimiento directo y conocimiento inferencial. Ciencias formales y fácticas, sociales y humanidades. Ciencia y pensamiento crítico. Tipos de enunciados y sus condiciones veritativas. El concepto de demostración. Tipos de argumentos y criterios específicos de evaluación. Historia y estructura institucional de la ciencia: el surgimiento de la ciencia contemporánea a partir de las revoluciones copernicana y darwiniana. Cambios en la visión del mundo y del método científico. Las comunidades científicas y sus cristalizaciones institucionales. Las formas de producción y reproducción del conocimiento científico. Las sociedades científicas, las publicaciones especializadas y las instancias de enseñanza. La contrastación de hipótesis: tipos de conceptos y enunciados científicos. Conceptos cuantitativos, cualitativos, comparativos. Enunciados generales y singulares. Enunciados probabilísticos. Hipótesis auxiliares, cláusulas ceteris paribus, condiciones iniciales. Asimetría de la contrastación y holismo de la contrastación. Concepciones respecto de la estructura y el cambio de las teorías científicas: teorías como conjuntos de enunciados. El papel de la observación y la experimentación en la ciencia. Cambios normales y cambios revolucionarios en la ciencia. El problema del criterio de demarcación. El problema del progreso científico. El impacto social y ambiental de la ciencia. Ciencia, tecnología, sociedad y dilemas éticos.

##### **Introducción al Conocimiento de la Sociedad y el Estado (24)**

La sociedad: conceptos básicos para su definición y análisis. Sociedad y estratificación social. Orden, cooperación y conflicto en las sociedades contemporáneas. Los actores sociopolíticos y sus organizaciones de representación e interés, como articuladores y canalizadores de demandas. Desigualdad, pobreza y exclusión social. La protesta social. Las innovaciones científicas y tecnológicas, las transformaciones en la cultura, los cambios económicos y sus consecuencias sociopolíticas. La evolución de las sociedades contemporáneas: el impacto de las tecnologías de la información y la comunicación, las variaciones demográficas y las modificaciones en el mundo del trabajo, la producción y el consumo. El Estado: definiciones y tipos de Estado.

Importancia, elementos constitutivos, origen y evolución histórica del Estado. Formación y consolidación del Estado en la Argentina. Estado, nación, representación ciudadanía y participación política. Estado y régimen político: totalitarismo, autoritarismo y democracia. Las instituciones políticas de la democracia en la Argentina. El Estado en las relaciones internacionales: globalización y procesos de integración regional. Estado y modelos de desarrollo socioeconómico: el papel de las políticas públicas. Políticas públicas en economía, infraestructura, salud, ciencia y técnica, educación, con especial referencia a la universidad.

### **Física (03)**

1. Magnitudes Físicas. Magnitudes escalares y vectoriales: definición y representación gráfica. Operaciones con vectores: suma, resta, multiplicación por un escalar, producto escalar y producto vectorial. Sistema de coordenadas cartesianas. Vectores. Expresión de un vector en componentes cartesianas. Proyecciones de un vector. Análisis dimensional. 2. Estática. Fuerzas. Momento de una fuerza. Unidades. Cuerpos puntuales: resultante y equilibrante. Cuerpos extensos: centro de gravedad, resultante y momento neto. Condiciones de equilibrio para cuerpos extensos. Cuerpos vinculados. Reacciones de vínculo. Maquinas simples. 3. Hidrostática. Densidad y peso específico. Concepto de presión. Unidades. Concepto de fluido. Fluido ideal. Presión en líquidos y gases. Principio de Pascal. Prensa hidráulica. Teorema fundamental de la hidrostática. Experiencia de Torricelli. Presión absoluta y manométrica. Teorema de Arquímedes. Flotación y empuje. Peso aparente. 4. CINEMÁTICA EN UNA DIMENSIÓN. Modelo de punto material o partícula. Sistemas de referencia y de coordenadas. Posición, desplazamiento, distancia, trayectoria. Velocidad media, instantánea y rapidez. Unidades. Aceleración media e instantánea. Ecuaciones horarias. Movimiento rectilíneo. Gráficos  $r(t)$ ,  $v(t)$  y  $a(t)$ . Interpretación gráfica de la velocidad y la aceleración. 5. CINEMÁTICA EN DOS DIMENSIONES. Movimiento vectorial en el plano: coordenadas intrínsecas, aceleración tangencial, normal y total. Tiro oblicuo. Movimiento circular: periodo y frecuencia, velocidad y aceleración angular. Movimiento relativo. 6. DINÁMICA. Interacciones: concepto de fuerza. Clasificación de las fuerzas fundamentales. Leyes de Newton. Peso y masa. Diagrama de cuerpo libre. Fuerzas de contacto (normal y rozamiento), elástica y gravitatoria. Sistemas inerciales y no inerciales. Fuerzas ficticias: de arrastre y centrífuga. Aplicaciones de la dinámica a sistemas de uno o varios cuerpos vinculados. Peralte, péndulo cónico, movimiento oscilatorio armónico, péndulo simple, masa-resorte. 7. TRABAJO Y ENERGÍA. Energía cinética. Trabajo de fuerzas. Potencia. Teorema del trabajo y la energía cinética. Fuerzas conservativas y no conservativas. Energía potencial: gravitatoria y elástica. Teorema de conservación de la energía mecánica. Aplicación.

### **Química (05)**

Sistemas Materiales: características de la materia. Cambios de estado. Clasificación de los sistemas materiales. Sustancias puras y mezclas. Estructura atómica y clasificación periódica. Composición atómica. Partículas subatómicas: protones, neutrones y electrones. Número atómico y número másico. Isótopos. Iones: cationes y aniones. Estructura electrónica los átomos. Modelo de Bohr y modelo orbital. Orbitales atómicos. Niveles y subniveles electrónicos. Configuración electrónica. Configuración electrónica externa. Tabla periódica de los elementos. Clasificación de los elementos. Periodos y grupos. Tendencias periódicas en las propiedades de los átomos: radio atómico, electronegatividad y energía de ionización. Uniones químicas y nomenclatura. Uniones químicas. Tipos de unión química; iónica, covalente, metálica. Unión covalente simple, múltiple y coordinada (dativa). Estructuras de Lewis. Características del enlace covalente: longitud, energía y polaridad. Número de oxidación y nomenclatura. Concepto de número de oxidación. Nomenclatura de compuestos inorgánicos binarios, terciarios y cuaternarios. Fuerzas de atracción entre partículas y propiedades físicas de las sustancias. Estructura tridimensional. Teoría de repulsión de pares electrónicos de valencia, (TRePEV). Geometría molecular. Polaridad de moléculas. Geometría de iones poliatómicos. Fuerzas de atracción entre partículas. Redes cristalinas. Fuerzas intermoleculares: London, dipolo-dipolo y puente de hidrógeno. Relación entre la estructura y las propiedades de las sustancias. Punto de fusión, punto de ebullición y solubilidad. Magnitudes atómicas y moleculares. Masa atómica, masa molecular, cantidad de materia (mol), masa molar, volumen molar. Constante de Avogadro. Gases ideales. Propiedades de los gases. Nociones de la teoría cinético-molecular. Hipótesis de Avogadro. Ecuación general de estado del gas ideal. Mezcla de gases. Presiones parciales. Fracción molar. Soluciones. Solute y solvente. Distintos tipos de soluciones. Formas de expresar la concentración de las soluciones: % m/m, % m/V, % V/V, molaridad, partes por millón. Soluciones acuosas de compuestos iónicos, disociación, electrolitos. Variación de la concentración por dilución. Mezcla de soluciones. Reacciones químicas. Concepto de reacción química. Ecuaciones químicas. Distintos tipos de reacciones químicas. Balance de ecuaciones químicas. Reacciones químicas que experimentan cambios en el número de oxidación: balance de ecuaciones por método de ión electrón en medio ácido y en medio básico. Cálculos estequiométricos. Reactivo limitante. Pureza de reactivos. Rendimiento de reacción. Equilibrio químico. Concepto de equilibrio químico. Constante de equilibrio y su significado. Cociente de reacción. Perturbaciones a un sistema en equilibrio. Principio de Le Chatelier. Cinética Química. Nociones de Cinética Química. Curva de concentraciones de reactivos y productos en función del tiempo. Expresión genérica de velocidad de reacción. Ácidos y bases. Concepto de ácido y de base. Teoría de Arrhenius. Teoría de Bronsted y Lowry. Autoionización del agua. Escala de pH. Ácidos y bases fuertes. Equilibrio ácido-base.

### **Álgebra (27)**

Algebra vectorial. Espacios vectoriales. Base y dimensión. Producto escalar, vectorial y mixto. Interpretación geométrica. Aplicaciones a la geometría de recta y plano. Cuerpos complejos: operaciones y propiedades. Matrices y determinantes. Propiedades. Matrices especiales. Rango. Inversa de una matriz. Sistemas lineales de ecuaciones. Teorema de Ronche-Frobenius. Sistemas homogéneos. Polinomios y ecuaciones algebraicas.

### **Análisis Matemático A (28)**

1. Funciones y números reales. Funciones: Definición. Descripción de fenómenos mediante funciones. Funciones elementales: lineales, cuadráticas, polinómicas, homográficas, raíz cuadrada. Gráficos de funciones. Composición de funciones y función inversa. Funciones exponenciales y logarítmicas. Funciones trigonométricas. Números reales. La recta real. Números irracionales. Axiomas de cuerpo. Supremo e ínfimo. Completitud de los números reales. 2. Sucesiones. Definición. Término general. Noción de límite. Cálculo de límites. Propiedades. Álgebra de límites. Indeterminaciones. Sucesiones monótonas. Teorema sobre sucesiones monótonas. El número  $e$ . Subsucesiones. Sucesiones dadas por recurrencia. 3. Límite y continuidad de funciones. Límites infinitos y en el infinito. Límite en un punto. Límites laterales. Límites especiales. Asíntotas horizontales y verticales. Continuidad. Definición y propiedades. Funciones continuas y funciones discontinuas. Teorema de Bolzano y de los Valores intermedios. 4. Derivadas. Recta tangente. Velocidad. Definición de derivada. Reglas de derivación. Regla de la cadena. Función derivada. Funciones derivables y no derivables. Derivada de la función inversa. Continuidad de funciones en intervalos cerrados. Extremos absolutos. Teorema de Fermat. Teoremas de Rolle y de Lagrange o del Valor Medio. Consecuencias del Teorema del Valor Medio. Teorema de Cauchy. Regla de L'Hopital. 5. Estudio de funciones y optimización. Crecimiento y decrecimiento de funciones. Extremos locales. Asíntotas oblicuas. Concavidad y convexidad. Construcción de curvas. Cantidad de soluciones de una ecuación. Desigualdades. Problemas de optimización. Teorema de Taylor. Polinomio de Taylor. Expresión del resto. Problemas de aproximación de funciones. 6. Integrales. Definición de integral. Propiedades de la integral. Teorema fundamental del cálculo. Regla de Barrow. Cálculo de primitivas. Métodos de sustitución y de integración por partes. Área entre curvas. Ecuaciones diferenciales. 7. Series. Término general y sumas parciales. Series geométricas y series telescópicas. Criterios de convergencia. Series de potencia.



## Segundo Ciclo de Grado

### ASIGNATURAS OBLIGATORIAS

#### Análisis I

Topología en  $\mathbb{R}$  y en  $\mathbb{R}^n$ . Límite de sucesiones. Límite de funciones de  $\mathbb{R}^n$  en  $\mathbb{R}^k$  Funciones continuas. Cálculo diferencial en varias variables: derivadas parciales, diferencial, teoremas de la función implícita y de la función inversa, aproximación polinomial. Extremos de funciones de varias variables, multiplicadores de Lagrange. Integrales dobles y triples, aplicaciones.

#### Álgebra I

Operaciones entre conjuntos. Funciones. Relaciones de equivalencia, particiones. Inducción completa. Definiciones inductivas. Análisis Combinatorio: combinaciones, permutaciones, variaciones. Números enteros: divisibilidad, máximo común divisor y mínimo común múltiplo, números primos, teorema fundamental de la aritmética. Factorización. Congruencias. Números complejos: teorema de De Moivre, raíces  $n$ -ésimas de la unidad. Polinomios: teorema del resto, divisibilidad, teorema de Gauss.

#### Análisis II

Integrales sobre curvas y superficies. Teoremas de Green, Gauss y Stokes, campos conservativos. Aplicaciones. Ecuaciones diferenciales: teorema de existencia y unicidad, soluciones maximales. Sistemas de ecuaciones diferenciales: resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes, diagramas de flujo, estabilidad lineal, sistemas conservativos.

#### Algoritmos y estructuras de datos I

Resolución de problemas simples de tratamiento de secuencias. Especificación e implementación de programas. Corrección formal de programas. Tipos básicos. Tipos abstractos de datos. Implementación de algoritmos sobre secuencias. Archivos secuenciales.

#### Algoritmos y estructuras de datos II

Recursión algorítmica. Tipos de datos abstractos recursivos. Pila, cola, diccionario, árbol, grafo, etc. Metodologías de especificación formal. Especificación formal e implementación de estos tipos sobre diversas estructuras de datos. Técnicas de análisis y de diseño de algoritmos. Prueba de la corrección de los programas construidos.

#### Laboratorio de Datos

Introducción a Python y lenguajes de programación orientados a objetos, Jupyter notebooks y Github. Librerías más usadas: pandas, numpy, scikit-learn, scipy. Obtención y organización de datos. Procesamiento de datos no estructurados. Interacción con páginas web (scraping, crawlers) y con APIs (Application programming interfaces). Formatos de datos: JSON, XML, SQL, dataframes. Introducción a herramientas para la visualización de datos: distintos tipos de figuras y lineamientos generales para comunicar información basada en datos. Visualización de datos como herramienta exploratoria antes del desarrollo de modelos estadísticos y de aprendizaje automático. Elementos básicos de probabilidad y estadística. Métricas y métodos para la evaluación de algoritmos y modelos estadísticos y de aprendizaje automático. Matriz de confusión, curva ROC, validación cruzada, bootstrapping. Regresión logística y regresión lineal presentados como modelos de aprendizaje automático. Generalización a casos multivariados. Test de hipótesis. Distinción entre modelos univariados y multivariados, y modelos paramétricos y no-paramétricos.

Otros algoritmos multivariados de regresión y clasificación basados en aprendizaje automático: KNN, árboles de decisión, discriminador lineal, máquinas de soporte vectorial (SVM). Algoritmos basados en ensembles de modelos. Técnicas para selección de features y determinación de importancia de features en distintos modelos. Reducción de la dimensionalidad (PCA). Técnicas de aprendizaje no supervisado (k-means, dbscan, clustering jerárquico). Técnicas para interpretar modelos de aprendizaje automático.

#### Álgebra lineal computacional

Espacios vectoriales y bases. Espacios vectoriales reales. Subespacios, sistemas de generadores e independencia lineal, bases, dimensión. Transformaciones lineales, representación matricial de una transformación lineal, subespacios fundamentales asociados a una matriz; núcleo, imagen, co-núcleo y coimagen. Formas bilineales, representación matricial. Aplicaciones.

Productos internos. Desigualdad de Cauchy-Schwarz, vectores ortogonales, desigualdad triangular. Normas, equivalencia de normas, normas matriciales. Matrices definidas positivas.

Sistemas lineales. Solución de sistemas lineales. Eliminación Gaussiana (caso regular), factorización LU. Factorización de matrices simétricas: Cholesky. Matrices ortogonales, factorización QR. Error y condicionamiento de matrices. Aplicaciones.

Autovalores y autovectores, propiedades básicas de los autovalores. Teorema de Gerschgorin. Bases de autovectores y diagonalización. Autovalores de matrices simétricas, el teorema espectral. El método de la

potencia, el algoritmo QR. Valores singulares, la descomposición SVD. Descomposición de Schur. Forma canónica de Jordan. Aplicaciones. Matrices positivas, cadenas de Markov y Teorema de Perron-Frobenius. Métodos iteración para sistemas lineales. Resolución iterativa de sistemas lineales, los métodos de Jacobi y Gauss-Seidel, SOR. Subespacio de Krylov. Gradiente conjugado. Aplicaciones. Aproximación e Interpolación. Problemas de cuadrados mínimos. Interpolación funcional. Aplicaciones.

### **Laboratorio de Datos**

Obtención y organización de datos. Procesamiento de datos no estructurados. Interacción con páginas web (scraping, crawlers) y con APIs (Application programming interfaces). Formatos de datos: JSON, XML, SQL, dataframes. Herramientas para la visualización de datos: distintos tipos de figuras y lineamientos generales para comunicar información basada en datos. Visualización de datos como herramienta exploratoria antes del desarrollo de modelos estadísticos y de aprendizaje automático. Elementos básicos de probabilidad y estadística. Métricas y métodos para la evaluación de algoritmos y modelos estadísticos y de aprendizaje automático. Matriz de confusión, curva ROC, validación cruzada, bootstrapping. Regresión logística y regresión lineal presentados como modelos de aprendizaje automático. Generalización a casos multivariados. Test de hipótesis. Distinción entre modelos univariados y multivariados, y modelos paramétricos y no-paramétricos. Otros algoritmos multivariados de regresión y clasificación basados en aprendizaje automático: K-NN, árboles de decisión, discriminador lineal, máquinas de soporte vectorial (SVM). Algoritmos basados en ensembles de modelos. Técnicas para selección de features y determinación de importancia de features en distintos modelos. Reducción de la dimensionalidad (PCA). Técnicas de aprendizaje no supervisado (k-means, dbscan, clustering jerárquico).

Técnicas para interpretar modelos de aprendizaje automático.

### **Análisis avanzado**

Cardinalidad. Equivalencia de conjuntos. Conjuntos finitos, numerables y no numerables. No-numerabilidad de los números reales. Espacios métricos. Noción de distancia. Propiedades topológicas. Conjuntos abiertos y cerrados en  $\mathbb{R}^n$ . Clausura, interior, frontera. Puntos de acumulación y puntos aislados. Compacidad. Teorema de Heine-Borel. Completitud. Continuidad. Teorema del punto fijo. Funciones Continuas. Límite funcional. Continuidad por sucesiones. Propiedades de las funciones continuas sobre compactos. Continuidad uniforme. Discontinuidades de las funciones monótonas. Sucesiones de funciones. Convergencia puntual y uniforme. Rudimentos de la teoría de espacios normados. Espacios de Banach. Aplicaciones lineales continuas. Sucesiones y series de funciones. Espacios de Hilbert. Introducción a la teoría de la medida. Integral de Lebesgue en la recta. Conjuntos medibles. Teorema de convergencia monótona y mayorada. Medida abstracta.

### **Algoritmos y estructuras de datos III**

Teoría de grafos. Diseño e implementación de problemas mediante grafos. Nociones de complejidad algorítmica y reducción polinomial de algoritmos. Recurrencia. Algoritmos exponenciales en tiempo. Soluciones aproximadas y técnicas heurísticas.

### **Probabilidad**

Espacio muestral. Sucesos. Espacio de probabilidad. Límite superior e inferior de conjuntos. Probabilidad condicional e independencia de sucesos. Lema de Borel-Cantelli. Variables aleatorias. Función de distribución. Distribuciones usuales. Distribución conjunta. Independencia de variables aleatorias. Cambio de variables. Esperanza, varianza y covarianza. Teoremas de convergencia monótona y mayorada. Distribución y esperanza condicional. Convergencia en probabilidad y en casi todo punto. Desigualdad de Markov y de Tchebychev. Ley débil de los grandes números. Desigualdad de Kolmogorov. Ley fuerte de los grandes números. Convergencia débil. Teorema de Helly. Funciones características. Teorema de inversión. Teorema de continuidad de Paul Levy. Teorema central del límite.

### **Introducción a la Investigación Operativa y la Optimización**

Programación lineal. Problemas de planificación de la producción, transporte, logística, portfolio, etc. Método simplex. Dualidad, holgura complementaria y análisis de sensibilidad. Método de generación de columnas. Modelos en redes: máximo flujo, camino mínimo. Programación lineal entera. Versatilidad y técnicas de modelado. Problemas clásicos: viajante de comercio, ruteo de vehículos, coloreo de grafos, mochila. Técnicas de resolución: Branch&Bound, planos de corte, Branch&Cut y Branch&Price. Conceptos básicos de problemas de optimización no lineal. Aplicaciones en finanzas, negocios e ingeniería. Optimización sin restricciones. Óptimos locales y globales. Método de descenso, Newton, Quasi-Newton y direcciones conjugadas. Análisis de convergencia. Conceptos básicos de problemas de optimización con restricciones. Aplicaciones. Métodos barrera y penalidad. Programación cuadrática y convexa.

### **Introducción al Modelado Continuo**

Módulo 1. Ecuaciones Diferenciales Ordinarias. Repaso de la teoría general. Métodos de Runge-Kutta. Aplicaciones en mecánica, biología y química. Introducción a la teoría de bifurcaciones.

Módulo 2. Análisis de Fourier. Estudio de Series de Fourier, Transformada de Fourier y Transformada de Laplace. Aplicación a la resolución de problemas de contorno y a problemas de compresión de señales.

Módulo 3. Ecuaciones en Derivadas Parciales (EDPs). Presentación de diferentes problemas que resultan ser modelados por EDPs. Estudio de los 3 ejemplos centrales de la teoría: (a) Ecuación de Laplace; (b) Ecuación de Ondas; (c) Ecuación del Calor. Métodos de diferencias finitas y espectrales para la resolución numérica.

### **Introducción a la Estadística y Ciencia de Datos**

1. Análisis exploratorio de datos: Visualización y resumen de datos. Función de distribución empírica. Estimación no paramétrica de la densidad. Árboles de decisión.
2. Estimación puntual. Estimación. Sesgo, varianza y Error Cuadrático Medio. Compromiso sesgo-varianza. Estimación plug-in utilizando el enfoque funcional. Estimación en modelos paramétricos: máxima verosimilitud, momentos, M y Z estimadores. Propiedades asintóticas: consistencia y distribución asintótica. Método delta.
3. Regiones de confianza. Intervalos de confianza para la media de una distribución normal con varianza conocida. Intervalos de confianza para la media de una distribución normal con varianza desconocida: Distribución t de Student. Intervalos de confianza de nivel asintótico basados en estadísticos asintóticamente normales. Intervalo para proporciones. Intervalos de confianza para dos muestras.
4. Técnicas de remuestreo: Métodos Bootstrap para la estimación de la varianza de un estimador asintóticamente normal. Métodos Bootstrap para la estimación de la distribución de un estimador. Intervalo de confianza Bootstrap: percentil y asintóticamente normal. Comparación con métodos clásicos. Bootstrap no paramétrico y paramétrico.
5. Tests de hipótesis: Presentación del problema de test de hipótesis. Hipótesis nula y alternativa. Tipos de errores. Nivel y potencia de un test. Valor "p". Test para la media de una población normal con varianza conocida y con varianza desconocida. Tests de Wald (basados en estadísticos asintóticamente normales). Tests e intervalos de confianza para dos muestras. Relación entre tests e intervalos de confianza. El problema de comparaciones múltiples o cubrimiento simultáneo.
6. Modelo lineal: Regresión lineal simple. Mínimos cuadrados. Supuesto. Inferencia para los parámetros del modelo: bajo normalidad y teoría asintótica. Regresión lineal múltiple. Predicción.
7. Modelos de Regresión: Función de regresión. Estimación de la función de regresión. Estimadores no paramétricos: Nadaraya, kNN. Regresión no lineal. Ajuste y sobreajuste. Métodos de regularización (Ridge, Lasso, etc). Técnicas y métricas de evaluación de modelos-métodos (validación cruzada, etc.)
8. Clasificación: La regla de Bayes. Regresión logística, estimación de parámetros por máxima verosimilitud. Modelos generativos: LDA, QDA, Bayes Naive. Modelos discriminativos: kNN, clasificación logística. Técnicas y métricas de evaluación de modelos-métodos.

---

### **Asignaturas electivas de Introducción a las Ciencias Naturales**

#### **Introducción a la Biología Molecular y Celular**

Teóricos y seminarios: Panorama general de la estructura y función celulares. Estructura y función de ácidos nucleicos. Experimentos de Griffith, Avery, McLeod y McCarty, Hershey y Chase, Meselson y Stahl. Duplicación del DNA y su enzimología. Reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Hibridación molecular. Estructura de los genes procariotas y eucariotas. Procesamiento (splicing) del RNA mensajero. Splicing alternativo. Splicing autocatalítico. Ribozimas. Proteínas. Estructura primaria, secundaria y terciaria. Estructura cuaternaria: subunidades, dominios. Interacciones (alosterismo). Modificaciones postraduccionales. Conceptos de enzimología. Regulación de la expresión genética. Transcripción. Factores de transcripción. Biosíntesis de proteínas. Ribosomas. Código genético. Antibióticos. Ingeniería genética. Enzimas de restricción. Vectores. Clonado genómico y de cDNA. Bancos de genes y de cDNA. Rastreo de bancos. Animales transgénicos. Knock out de genes. Biotecnología. Membrana plasmática. Mosaico fluido. Canales y receptores. Exocitosis y endocitosis. Tránsito vesicular interno. Compartimentalización en células eucariotas. Translocación de proteínas co- y post-traduccionales. Aparato de Golgi, lisosomas y peroxisomas. Mitocondrias y cloroplastos. Origen endosimbiótico. Metabolismo celular: glucólisis, fermentaciones, ciclo de Krebs. Respiración aerobia. Proceso quimiosmótico. Cloroplasto y fotosíntesis. Ácidos nucleicos en mitocondrias y cloroplastos. Citoesqueleto. Ultraestructura y mecanismo motil de cilias y flagelos. Microtúbulos, microfilamentos y filamentos intermedios. Uniones celulares. Matriz extracelular. Sistema inmunitario. Estructura y clasificación de inmunoglobulinas. Generación de diversidad de anticuerpos. Selección clonal. Linfocitos T y B. Citoquinas e inmunidad humoral y celular. Segundos mensajeros y transducción de señales. Oncogenes. Prácticos: Determinación de actividad enzimática. Aislamiento de DNA cromosómico y plasmídico de bacterias. Electroforesis de DNA en geles de agarosa. Transformación de bacterias con DNA plasmídico. Regulación del operón lactosa en bacterias. Fotosíntesis: aislamiento de cloroplastos y detección de transporte electrónico fotosintético. Inmunología: aislamiento de macrófagos de peritoneo de rata.

### **Química General e Inorgánica para Ciencias Biológicas.**

Fenómenos químicos bajo enfoques microscópico y macroscópico. Energía cinética, temperatura y teoría cinética de gases ideales. Energía potencial e interacciones entre átomos. Estructura atómico-molecular. Fundamentos de la mecánica cuántica y espectroscopía. Uniones químicas (orbitales moleculares y enlace de valencia). Interacciones intermoleculares y estados de agregación de la materia. Cinética química. Ley de velocidad y ley de Arrhenius. Energía de activación. Termodinámica y termoquímica. Espontaneidad y energía libre. Equilibrios de fases. Propiedades coligativas. Equilibrio químico en fase homogénea y heterogénea. Equilibrios en solución (ácido-base, óxido-reducción, precipitación y complejación).

### **Física I para Ciencias Químicas**

Mediciones y unidades. Vectores. Concepto de dirección. Escalares y vectores. Adición de vectores. Componentes de un vector. Adición de varios vectores. Producto escalar. Producto vectorial. Cinemática. Movimiento rectilíneo. Velocidad. Aceleración. Representación vectorial de la velocidad y la aceleración en el movimiento rectilíneo. Movimiento curvilíneo. Velocidad. Aceleración. Movimiento bajo aceleración constante. Componentes tangencial y normal de la aceleración. Movimiento circular. Velocidad angular. Aceleración angular. Movimiento curvilíneo general en un plano. Dinámica de una partícula. Ley de inercia. Momento lineal. Principio de conservación del momento lineal. Segunda y tercera leyes de Newton. Concepto de fuerza. Fuerzas de fricción. Movimiento curvilíneo. Momento angular. Fuerzas. Composición de fuerzas concurrentes. Fuerzas centrales. Movimiento oscilatorio. Cinemática del movimiento armónico simple. Fuerza y energía en el movimiento armónico simple. Dinámica del movimiento armónico simple. Péndulo simple. Superposición de dos movimientos armónicos simples de igual dirección e igual frecuencia. Superposición de dos movimientos armónicos simples de igual dirección y diferentes frecuencias. Superposición de dos movimientos armónicos simples: direcciones perpendiculares. Oscilaciones inarmónicas. Oscilaciones amortiguadas. Oscilaciones forzadas. Impedancia de un oscilador. Trabajo y energía. Potencia. Energía cinética. Trabajo de una fuerza de magnitud y dirección constantes. Energía Potencial. Conservación de la energía total de una partícula. Movimiento rectilíneo bajo fuerzas conservativas. Movimiento bajo fuerzas centrales conservativas. Discusión de curvas de energía potencial. Fuerzas no conservativas. Dinámica de un sistema de partículas. Movimiento del centro de masa de un sistema de partículas. Masa reducida. Momento angular de un sistema de partículas. Energía cinética de un sistema de partículas. Conservación de la energía de un sistema de partículas. Cantidad de movimiento e impulso angular. Torque de una fuerza. Centro de masa. Choques. Conservación de la cantidad de movimiento y del impulso angular. Cinemática del cuerpo rígido. Condición de rigidez y de rodadura. Dinámica de un cuerpo rígido. Momento angular de un cuerpo rígido. Cálculo del momento de inercia. Ecuación de movimiento de la rotación de un cuerpo rígido. Energía cinética de rotación. Hidrostática. Principio de Arquímedes. Fuerzas de fricción en fluidos. Coeficiente de viscosidad. Hidrodinámica. Movimiento de un fluido. Teorema de Bernoulli. Óptica geométrica. Rayos luminosos. Leyes de la reflexión y refracción. Construcción gráfica del rayo refractado. Camino óptico. Principio de Fermat. Superficies planas. Angulo límite y reflexión total. Reflexión de rayos divergentes. Refracción de rayos divergentes. Imágenes formadas por rayos paraxiales. Superficies esféricas. Focos y distancias focales. Formación de imágenes. Imágenes virtuales. Puntos y planos conjugados. Construcciones gráficas. Método del rayo paralelo. Método del rayo oblicuo. Fórmula de Gauss. Lentes delgadas. Focos y distancias focales. Aumento lateral. Combinación de lentes delgadas. Potencia de una lente delgada. Lentes delgadas en contacto. Fórmula de las lentes. Instrumentos ópticos.

---

### **Tercer Ciclo de Grado:**

#### **ASIGNATURAS ELECTIVAS**

##### **Análisis numérico**

Introducción a las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales: resolución numérica. Método de diferencias finitas: ecuaciones parabólicas en una dimensión espacial, esquema explícito, esquema implícito. Método  $\theta$ . Consistencia, convergencia y estabilidad. Teorema de equivalencia de Lax. Ecuaciones parabólicas en dos y tres dimensiones espaciales. Ecuaciones hiperbólicas en una dimensión espacial. Método upwind. Consistencia, convergencia y estabilidad. Método de elementos finitos: espacios  $L_p$ , derivadas débiles, espacios de Sobolev. Problemas de contorno elípticos. Espacios de Hilbert. Teorema de representación de Riesz. Teorema de Lax-Milgram. Problemas variacionales simétricos y no simétricos. Aproximaciones de Galerkin. Teorema de Cea. Problemas unidimensionales. Espacio de funciones polinomiales a trozos. Estimación del error.

##### **Ecuaciones diferenciales ordinarias**

Descripción de la problemática. Ejemplos: Dinámica de poblaciones, Mecánica clásica. Diagramas de fase. Ejemplos: Ecuaciones de Lotka-Volterra, Campos conservativos, Campos gradiente.

Existencia y unicidad local de soluciones. Prolongabilidad. Soluciones maximales. Continuidad respecto de datos y parámetros. Diferenciabilidad. Más regularidad.

Noción de flujo. Equilibrios. Puntos periódicos.

Sistemas lineales: El espacio de soluciones. Método de variación de constantes. Resolución de sistemas lineales autónomos. Nociones de estabilidad.

Sistemas no lineales: Conjuntos invariantes. Estabilidad de equilibrios. Funciones de Liapunov.  $\alpha$  y  $\omega$  límites. Perturbaciones de sistemas lineales: Variedades estable e inestable. Estabilidad Lineal. Soluciones periódicas: Sistemas lineales periódicos. Multiplicadores de Floquet. Estabilidad de Liapunov de soluciones periódicas. Estabilidad orbital. El mapa de Poincaré. El Teorema de Poincaré-Bendixon. Aplicaciones.

### **Ecuaciones diferenciales no lineales**

Espacios de Sobolev. Desigualdad de Gagliardo-Nirenberg-Sobolev. Teoremas de inmersión. Compacidad. Ecuaciones Lineales Elípticas: existencia y regularidad de la solución (teoría  $L^2$ ). Cálculo de variaciones. Existencia de minimizantes y de puntos críticos de funcionales. El Teorema de paso de la montaña. Métodos de monotonía. Métodos de punto fijo. Súper y sub-soluciones. Teoremas de no existencia. Blow-up y la identidad de Pohozaev. Propiedades geométricas de las soluciones. Simetría radial y el método de los planos móviles.

### **Procesos estocásticos**

Cadenas de Markov, invariancia, ergodicidad, simulación perfecta. Paseos aleatorios y martingalas. Procesos de Poisson, construcción y propiedades. Procesos de Markov a tiempo continuo, ergodicidad y construcción. Filas. Procesos de renovación. Procesos Gaussianos. Movimiento Browniano. Grafos aleatorios. Erdos Renyi. Procesos estocásticos espaciales. Poisson. Percolación.

### **Análisis complejo**

Números complejos. Funciones de variable compleja: límite y continuidad, derivabilidad y holomorffia. Sucesiones y series en el campo complejo: series numéricas, series de funciones, series de potencias, funciones analíticas. Función exponencial en el campo complejo, funciones trigonométricas, logaritmo complejo. Integración de funciones de variable compleja: teorema de Cauchy-Goursat, fórmula de Cauchy. Desarrollo de Taylor: analiticidad de las funciones holomorfas. Principio del módulo máximo. Forma general del teorema de Cauchy: simple conexión, curvas homotópicas, teorema generalizado de Cauchy. Singularidades aisladas: desarrollo en serie de Laurent, teorema de Casorati- Weierstrass. Residuos: teorema de los residuos, teorema de Rouché, cálculo de integrales por el método de los residuos. Convergencia uniforme sobre compactos. Representación conforme: el teorema fundamental de Riemann.

### **Matemática 4**

Funciones analíticas u holomorfas. Números complejos. Funciones de variable compleja. Las funciones elementales del campo complejo. Límites y continuidad. Funciones analíticas. El cálculo diferencial e integral complejo. Fórmulas integrales de Cauchy. El teorema de Morera. El teorema de Liouville. El teorema del módulo máximo. Fórmulas integrales de Poisson para el círculo y para el semiplano. Series funcionales en el campo complejo. Serie de Taylor y serie de Laurent. Singularidades. Polos y residuos. Cálculo de integrales definidas. Representación conforme. Series de Fourier. Desigualdad de Bessel. Igualdad de Parseval. El teorema de óptima aproximación en medida cuadrática. Condición suficiente para la convergencia puntual de series de Fourier. Transformadas de Fourier. Propiedades. Fórmula de inversión para la transformada de Fourier. Transformada de Laplace. Propiedades. Fórmula de inversión para la transformada de Laplace. Aplicaciones a la integración de ecuaciones diferenciales.

Soluciones de ecuaciones lineales de segundo orden por desarrollo en serie. Singularidad regular. Ecuación hipergeométrica. Ecuación de Legendre. Solución para grandes valores de  $|x|$ . Ecuación de Bessel.

### **Teoría de probabilidades**

Teorema de extensión de medidas de Kolmogorov. Construcción de procesos a partir de las distribuciones finito-dimensionales. Esperanza condicional. Martingalas a tiempo discreto. Desigualdades fundamentales. Teoremas de convergencia. Cadenas de Markov en espacio de estados discretos. Clasificación de estados. Medidas invariantes. Teoría ergódica. Transformaciones que preservan medida. Teorema ergódico.

Esperanza condicional. Construcción vía Radon-Nykodim. Construcción proyectando en  $L^2$ . Principales propiedades. Teorema de extensión de medidas de Kolmogorov. Construcción de procesos a partir de las distribuciones finito-dimensionales. Martingalas a tiempo discreto. Definición y propiedades. Desigualdad de Doob. Teoremas de convergencia en  $L^p$  y casi todo punto. Teorema de descomposición de Doob. Tiempos de parada. Teorema del muestreo opcional. Cadenas de Markov en espacio de estados discretos. Ecuaciones de Chapman Kolmogorov. Algunos ejemplos. Cadena irreductibles. Clasificación de estados: transiente, recurrente positivo y nulo. Estados periódicos. Medidas invariantes. Teorema Ergódico.

### **Simulación de procesos estocásticos**

Qué significa simular. Simulación de variables aleatorias unidimensionales. Inesgamiento de Von Neumann. Método de la inversa de la distribución. Limitaciones. Método de aceptación-rechazo para probabilidades condicionales. Limitaciones. Simulación de cadenas de Markov. MCMC: el algoritmo de Metropolis-Hastings y la dinámica de Glabuer. Tiempos de mezcla. Tiempos estacionarios fuertes. Acoplamientos. El método del acoplamiento desde el pasado. Simulación perfecta. Simulación en espacios de probabilidad finitos grandes. Limitaciones de los métodos estándar. Estimación del tamaño del conjunto. Simulación de medidas de Gibbs. El Gibbs-sampler. El método de Ferrari-Fernández-García y la simulación perfecta de medidas de Gibbs.

Simulación de probabilidades condicionadas a eventos de probabilidad baja o nula. Movimiento Browniano y Ecuaciones Diferenciales Estocásticas. Simulación de difusiones. Aplicación a la resolución numérica de Ecuaciones en Derivadas Parciales

### **Ecuaciones diferenciales estocásticas**

Introducción: Modelos gobernados por ecuaciones diferenciales estocásticas.

Breve introducción a la teoría de probabilidades: Variables aleatorias. Esperanza, varianza. Funciones de distribución. Independencia. Lema de Borel-Cantelli. Funciones características. Ley fuerte de los grandes números, Teorema Central del Límite. Esperanza condicional. Procesos estocásticos. Martingalas a parámetro discreto y continuo. Movimiento Browniano/Proceso de Wiener: Motivación y definiciones. Construcción del movimiento Browniano de Lévy-Ciesleski. Regularidad de las trayectorias del proceso de Wiener. Markovianidad. Integrales estocásticas: Integral de Paley-Wiener-Zygmund. Definición y propiedades de la integral de Ito. Integral de Ito indefinida. Integral de Stratonovich. Ecuaciones diferenciales estocásticas: Noción de solución, ejemplos. Teorema de existencia y unicidad. Dependencia en los parámetros. Ecuaciones diferenciales estocásticas lineales. Breve introducción a la resolución numérica de ecuaciones diferenciales estocásticas: Simulación del proceso de Wiener. Aproximación de integrales estocásticas. El método de Euler-Maruyama. Convergencia débil y convergencia fuerte.

### **Teoría de colas**

Conceptos básicos de teoría de probabilidades. Modelos de colas y algunas relaciones fundamentales. Colas M/M/1. Colas M/G/1 and G/G/1. Límites fluidos y otros procesos de escalas.

### **Sistemas de partículas interactivas**

Conceptos fundamentales (a) Cadenas de Markov. (b) Procesos de Poisson. Representación gráfica. (c) Generadores y semigrupos. (d) Medidas estacionarias. Reversibilidad. Algunas herramientas (a) Teoría ergódica. (b) Procesos de ramificación. (c) Teoría elemental de colas. (d) Técnica de acoplamiento. Modelos (a) Contacto – medidas invariantes, valores críticos, resultados en Z d. (b) Votante–Teoremas ergódicos, medidas invariantes. (c) Modelos de exclusión – medidas estacionarias, cantidades conservadas. Corriente. Leyes hidrodinámicas. (d) Procesos de rango nulo – medidas estacionarias, entropía relativa y equivalencia de ensambles. Condensación.

### **Problemas Matemáticos de la Industria**

1. Precipitación de cristales. Maduración de Ostwald. Ecuaciones diferenciales ordinarias. Métodos numéricos. Aplicación a cristales de un mismo tamaño. Aplicación a cristales de diferentes tamaños. 2. Modelización de dispersión de contaminantes. Ecuación de transporte y difusión. Métodos numéricos. Criterios de estabilidad. Estabilidad, consistencia, convergencia. 3. Litografía con haces de electrones. Ecuación del calor. El efecto de proximidad. Inclusión de retrodispersión. Series de Fourier. 4. Conversor catalítico. El problema de control. Cálculo de variaciones. La ecuación de Euler Lagrange. Control óptimo. 5. La fotocopiadora. La imagen eléctrica. Resolución numérica de la ecuación de Poisson, Aplicaciones. 6. Galvanizado continuo de chapa. Proceso Sendzimir para galvanizado continuo. Modelización de hornos túnel. Intercambios radiativos en cavidades. Intercambios convectivos. Combinación de modos de transmisión de calor. Enfriamiento forzado. El problema de solidificación.

### **Taller de Matemática Aplicada I**

1. Modelización matemática. Ejemplos.
2. Complementos de álgebra lineal numérica. Descomposición de valores singulares y aplicaciones.
3. Procesamiento de señales. Problemas típicos. Ejemplos.
4. Ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales. Aplicaciones.
5. Problemas de optimización. Técnicas elementales. Ejemplos.
6. Problemas de control. Ideas básicas. Ejemplos.

### **Estadística Avanzada**

Estadísticos suficientes y completos. Teorema de Basu. Teorema de Lehmann-Scheffé. Desigualdad de Rao-Cramer. Procedimientos de estimación. Método estimación. Estimadores Bayes, Cuadrados mínimos y estimadores robustos. Estimadores asintóticamente normales y eficientes. Aspectos formales de la teoría de intervalos de confianza y Tests de hipótesis. Teorema de Neymann-Pearson. Familias a cociente de verosimilitud monótono. Concepto de test insesgado. Regiones de confianza óptimas. Aspectos formales del modelo lineal. Teorema de Gauss Markov. Tests y regiones de confianza. Test del cociente de verosimilitud. Hipótesis anidadas. Intervalos y tests simultáneos. Distribuciones no centrales. Función de potencia.

### **Modelos de regresión**

Métodos de regresión en alta dimensión. Ridge, Lasso, Elastic net. Grouped Lasso. Ensamblados. Componentes principales para regresión. Selección de Variables. Modelos Aditivos. Métodos basados en Árboles. Árboles para regresión y clasificación. Datos Faltantes. Boosting.

### **Modelo Lineal**

Modelo lineal general. Estimación. Teorema de Gauss-Markov. Mínimos Cuadrados Ordinarios y Pesados. Distribución de estimadores. Tests y Regiones de Confianza. Elipsoide e intervalos de confianza para funciones estimables. Potencia. Contrastes. Regiones de predicción. Teoría asintótica. Medidas de Diagnóstico. Análisis de residuos. Outliers. Medidas de influencia. Presentación de algunos métodos robustos de estimación. Selección de variables. Métodos de Regularización. Validación del modelo.

### **Estimación No Paramétrica Aplicada**

Estimación No Paramétrica de la Densidad: Estimación por Núcleos, Error Cuadrático Medio, Error Cuadrático Medio Integrado. Selección del Núcleo. Regresión No Paramétrica: Modelos No Paramétricos, Estimación por Núcleos, Polinomios Locales, Vecinos Más Cercanos, Método de Splines. Estimación de la Derivada. Selección del Parámetro de Suavizado. Inferencia con Regresión No Paramétrica. Caso Multivariado. Validación Cruzada, Funciones de Penalización. Método Plug-in. Datos con Outliers. M-smoothing. Introducción a los Modelos Semiparamétricos y Aditivos.

### **Casos de estudio en estadística**

Estudio de casos reales provenientes de distintas disciplinas. Exploración y tratamiento de datos. Identificación del problema y traducción al lenguaje estadístico. Selección de la metodología más adecuada en diferentes casos de estudio y su resolución. Elaboración y presentación de informe.

### **Modelos Lineales Generalizados Aplicados**

Modelos Lineales Generalizados. Modelos Probit, Logístico para Proporciones, Log-lineal para variables de conteo y Lineal. Familias Exponenciales de Distribución y Generalidades del Modelo. Estimadores de Máxima Verosimilitud y algoritmos de estimación. Inferencia. Bondad del ajuste y residuos: Análisis de la deviance. Distribución muestral de la deviance. Residuos de la deviance, residuos de Anscombe y residuos de Pearson. Modelos para variables binarias. Generalización a datos multinomiales. Modelos para Datos de Conteo. Regresión de Poisson. Regresión Binomial Negativa. Sobredispersión. Modelos para Datos Continuos. Modelo Log-Gamma. Ejemplos y casos de estudio.

### **Modelo Lineal Generalizado**

Familia Exponencial y características del MLG. Propiedades. Teoría general del MLG. Funciones de enlace. Estadísticos suficientes y links canónicos. Estimador de Máxima Verosimilitud (EMV). Algoritmos para el cálculo del EMV. Bondad del ajuste y residuos de la deviance, de Anscombe y de Pearson. Tests de hipótesis. Datos Binarios y generalización a datos multinomiales. Regresión de Poisson y Binomial Negativa. Caso Gamma. Cuasi-verosimilitud. Diagnóstico para detectar outliers. MLG no paramétrico y semiparamétrico. Modelo Aditivo Generalizado. Tablas de Contingencia: de doble y triple entrada. Odd ratio. Independencia y homogeneidad. Modelo log-lineal. Modelos Jerárquicos.

### **Series de Tiempo**

Modelos autorregresivos. Estacionariedad. Modelos de promedios móviles. Invertibilidad. Modelos ARMA. Estacionariedad e Invertibilidad. Estimación de mínimos cuadrados para modelos autorregresivos. Ecuaciones de Yule-Walker. Estimadores de máxima verosimilitud, Box-Jenkins y mínimos cuadrados para modelos ARMA. Criterios FPE y AIC de Akaike. Autocorrelograma y autocorrelograma parcial. Test de Box y Pierce para bondad de ajuste. Modelos no estacionarios ARIMA. Modelos estacionales. Test de bondad de ajuste para modelos ARIMA. Predicción. Varianza de la predicción.

### **Herramientas de Visualización de datos**

Cluster análisis, k-means, mezcla de normales, medidas de disimilaridad. T-sne. Clasificación. Curvas ROC. Análisis discriminante, Discriminación lineal y cuadrática. Reducción de la dimensión. Componentes principales. Curvas y superficies principales. Reducción suficiente. Método de Projection Pursuit. Correlación Canónica. Escalamiento multidimensional métrico.

### **Métodos de Estadística Robusta**

Estimadores robustos para datos univariados. Medidas de robustez: función de influencia y punto de ruptura. Métodos robustos en regresión lineal: M, S, MM-estimadores. Algoritmos basados en submuestras. Selección robusta de variables. Métodos robustos para componentes principales.

### **Diseño de Experimentos**

Análisis de varianza con efectos fijos. Modelos con varios efectos. Datos no balanceados. Efectos aleatorios y mixtos. Bloques aleatorizados. Bloques completos. Bloques incompletos balanceados y parcialmente balanceados. Cuadrados latinos. Diseños factoriales. Superficies de respuesta.

### **Estimación Bayesiana**

Teoría de la decisión. Teoría de la utilidad y función de pérdida. Función de riesgo. Reglas de Bayes. Reglas minimax. Admisibilidad de la reglas de Bayes. Distribuciones a priori. Familias de distribuciones conjugadas. Estimación puntual bayesiana. Estimación en los modelos usuales. Aplicación al análisis de tablas de contingencia. Enfoque bayesiano para contrastes de hipótesis y regiones de confianza. El modelo lineal normal. La distribución Gamma inversa. Distribución a posteriori y factores de Bayes para el modelo lineal. Métodos Bayesianos jerárquicos. El método Bayesiano empírico.

### **Técnicas de Remuestreo**

Métodos asintóticos. El principio de reemplazo ("plug-in"). Bootstrap paramétrico y no-paramétrico. Datos i.i.d. Estimación de sesgo y de variabilidad de estimadores. Intervalos de confianza. Pivotes aproximados. Transformaciones para simetría. Métodos BC y ABC. Tests basados en el bootstrap. El bootstrap en el modelo lineal. Predictores fijos y aleatorios. El bootstrap en series temporales y procesos puntuales. Otros métodos: jackknife y validación cruzada. Cómputo eficiente del bootstrap.

### **Herramientas de Estadística Computacional**

Computación de estimadores de Máxima Verosimilitud y de tipo M. El algoritmo EM. Fundamentos y Aplicaciones. Métodos de Monte Carlo basados en cadenas de Markov. Bootstrap paramétrico y no paramétrico. Bootstrap robusto.

### **Herramientas de Selección de Modelos**

Dependencia en la media (y su medición). Relación con otras formas de dependencia. Test F y análisis de la varianza simple (deviance total, deviance residual). Principios de selección de modelos (con respecto al uso del modelo, parsimonia, eficiencia). Métodos usuales: Stepwise, Forward y Backward. Mallows Cp, AIC, BIC. Algoritmo Branch and Bound. Métodos más recientes: Cross-validation, Bootstrap, LARS, LASSO. Comparación entre métodos. Selección robusta de modelos. Ejemplos y estudio de casos.

### **Series de Tiempo Avanzada**

Identificación de observaciones atípicas y cambios de nivel. Función de transferencia. Modelos autorregresivos vectoriales. Modelos ARIMA vectoriales. Filtros de Kalman. Suavizadores. Modelos condicionalmente heterocedásticos. Modelos ARCH y GARCH.

### **Muestreo**

Lineamientos generales de la inferencia en el muestreo en poblaciones finitas. Diseños simples sin reposición, muestreo simple al azar y muestreo sistemático. Diseños muestrales con información auxiliar (I): muestreo estratificado. Construcción de Estratos. Diseños muestrales con información auxiliar (II): estrategias basadas en esquemas con probabilidad proporcional al tamaño. Diseños de Entropía Máxima. Método de Brewer. Sistemático con Probabilidades Desiguales, Métodos de Midzuno, de Sampford, de Rao-Cochran y Hartley. Diseños muestrales por conglomerados en una y dos etapas. Métodos alternativos de estimación en presencia de información auxiliar. Estimador de Hajek. Estimadores por Modelos Asistidos.

### **Tests No Paramétricos**

Distribución Binomial: Tests e Intervalos de confianza exactos y asintóticos. Tests basados en la distribución binomial. Tests para percentiles. Intervalos de confianza exactos y asintóticos para percentiles. Límites de tolerancia. Estimadores de Hodges-Lehmann. Consistencia de un test. Eficacia y Eficiencia de Pitman. Test del signo. Distribución bajo la hipótesis nula y la alternativa. Test de Cox-Stuart para tendencia. Modelo de datos apareados. Test de Wilcoxon de rangos signados. Scores generales. Estadístico de Mann-Whitney-Wilcoxon. Scores generales. Eficiencia relativa asintótica. Problema de Fisher-Behrens. Análisis de varianza de un factor. Test de Kruskal-Wallis. Comparaciones múltiples. Tests para alternativas ordenadas. Análisis de la varianza de dos factores. Diseño en bloques. Test de Friedman y de Quade. Test de igualdad de varianzas. Test de Siegel-Tukey y de Mood y de Koltz para dos muestras. Test de Savage para exponenciales.

### **Análisis Multivariado**

Distribución normal multivariada. Distribuciones condicionales. Distribución Wishart. Distribución de los estimadores de máxima verosimilitud. Distribución de Hotelling. Test de Hotelling. Aplicación al problema de



dos muestras y al análisis de la varianza. Estadístico U de Rao. Aplicaciones del test de Hotelling. Problema de Fisher-Behrens. Análisis de perfiles. Métodos de reducción de dimensión. Componentes principales. Biplot. Coordenadas discriminantes. Clasificación y análisis discriminante. Clasificación no paramétrica.

### **Análisis Multivariado Avanzado**

Modelo lineal multivariado. Análisis de la varianza multivariado. Escalamiento multidimensional. Correlación canónica. Análisis de correspondencia. Análisis factorial. Taxonomía numérica.

### **Bondad de ajuste**

Test de bondad de Ajuste. Test de bondad de Ajuste a una distribución multinomial. Tablas de contingencia. Test de McNemar para dos muestras binomiales relacionadas. Test de Irwin Fisher para dos muestras binomiales independientes. Test de la mediana o de Mood. Tests para varias muestras multinomiales. Test de independencia. Test de Cochran para observaciones relacionadas. Test de bondad de ajuste a una distribución dada. Tests no paramétricos basados en el estadístico de Kolmogorov-Smirnov.

### **Métodos robustos y no paramétricos**

Descripción de procedimientos robustos y no paramétricos. Conceptos principales de robustez cualitativa e infinitesimal. Propiedades de las propuestas robustas introducidas para los distintos modelos estadísticos paramétricos. Modelos no paramétricos y semiparamétricos de regresión y autorregresión y los estimadores clásicos y robustos para dichos modelos. Tests para estos modelos y noción de robustez en tests.

### **Análisis estadístico de datos funcionales**

Descripción de distintos procedimientos nuevos para analizar datos funcionales. Definición de diversos métodos de estimación y descripción de dificultades técnicas originadas en el hecho de trabajar en espacios de Hilbert. Nociones de Probabilidad en Espacios de Banach y de Hilbert. Estadística de datos funcionales. Predicción para datos funcionales. Correlación canónica, Clasificación y Análisis Discriminante de datos funcionales. Componentes principales funcionales. Modelos Lineales Funcionales para respuestas escalares.

### **Procesos Empíricos**

Definición de Medidas Empíricas. Funcionales sobre Procesos Estocásticos. Convergencia Uniforme de Medidas Empíricas. Introducción de Clases de Vapnik y de la noción de entropía. Desigualdades maximales y leyes de los grandes números. Convergencia en distribución en espacios Euclídeos y en espacios métricos. El espacio  $D[0,1]$ : Topología de Skorohod. Teorema central del límite funcional. Encadenamiento. Procesos Gaussianos. Desigualdades maximales. Aplicaciones a Estadística.

### **Estimación semiparamétrica y datos funcionales**

Descripción de distintos procedimientos para modelos semiparamétricos y para datos funcionales. Definición de diversos métodos de estimación y presentación de propuestas robustas en aquellos modelos para los que existen. Modelo de regresión no paramétrica. Modelos aditivos. Modelos parcialmente lineales. Modelos de índice simple. Modelos parcialmente lineales generalizados. Estadística de datos funcionales. Predicción para datos funcionales. Componentes principales funcionales. Correlación canónica y análisis discriminante de datos funcionales.

### **Aprendizaje Automático**

El Aprendizaje Automático (o Machine Learning) es una rama de la Inteligencia Artificial que se dedica al estudio de los programas que aprenden a realizar una tarea en base a la experiencia. El objetivo del proceso de aprendizaje es utilizar la evidencia conocida para crear un modelo que sirva para dar respuesta a nuevas situaciones no conocidas. Cada día existen más aplicaciones de Aprendizaje Automático: filtros de spam, reconocimiento de caras, autos que se manejan solos, reconocimiento del habla, sistemas de recomendación, detección de fraude, movimiento de robots, y muchos ejemplos más. Esta materia consiste en una introducción abarcativa de las principales técnicas y aplicaciones del área, con una mezcla balanceada de teoría y ejercitación práctica.

### **Aprendizaje profundo**

Algoritmos de Aprendizaje, Regresión Linear, Capacidad Overfitting y Underfitting, Hiperparámetros y Conjuntos de Validación, Estimadores Sesgo y Varianza, Estimación por Máxima Verosimilitud, Estadísticas Bayesianas, Algoritmos de Aprendizaje Supervisado, Algoritmos de Aprendizaje No-Supervisado, Aprendizaje Débilmente Supervisado, Maldición de la Dimensionalidad, Limitaciones Estadísticas de la Generalización. Aprendizaje basado en Energía.

Redes Multicapa: Antecedentes históricos 1943-2012. Redes bicapa. Redes con capas ocultas. Poder expresivo. Backpropagation. Descenso por gradiente estocástico (sin y con Mini-batch). Temas de discusión: mapeo no-lineal de features, aprendizaje de filtros, funciones de activación, inicialización de pesos.

Herramientas de implementación: Python, Theano, Matlab Toolbox y matConv, Caffe.

Redes Convolucionales: Redes totalmente conectadas vs. Redes localmente conectadas. Pesos compartidos, downsampling y zero-padding. Capas de pooling. Back-Propagation en redes convolucionales. Actualización de

filtros en capas convolucionales y sensibilidades en las capas de pooling. Estructuras de redes convolucionales para clasificación en imágenes: AlexNet, Clarifai, GoogleLeNet, etc. Reconocimiento de Objetos.

Autoencoders: Definición y conceptos básicos. Autoencoders profundos. Denoising autoencoder. Descomposición predictiva esparza. Aprendizaje profundo multimodal. Autoencoder profundo multimodal.: descenso por gradiente.

Modelos Generativos Profundos: Máquinas de Boltzmann, Máquinas de Boltzmann Restringidas (RBMs). Entrenamiento de Máquinas de Boltzmann Restringidas, Deep Belief Networks, Máquinas de Boltzmann Profundas (DBM).

Aplicaciones: Detección de peatones. Reconocimiento de caras. Reconocimiento de objetos, otros.

### **Análisis de grandes volúmenes de datos**

Tecnologías y algoritmos referidos al análisis de grandes volúmenes de datos. Introducción a lenguajes y técnicas avanzadas para trabajar con cantidades masivas de datos: bases de datos no relacionales, almacenamiento y procesamiento distribuido, y algoritmos aproximados. Análisis de datos utilizando estadística y Machine Learning.

### **Introducción a la Robótica Móvil**

Este curso tiene como objetivo introducir a los alumnos en los conceptos teóricos y prácticos que están involucrados en la robótica móvil. En la primera parte del curso, se brinda una visión de los elementos que componen un robot móvil, incluyendo tanto el hardware (sensores, actuadores, unidades de procesamiento) como el software de control de bajo y alto nivel. En la segunda parte, se estudian y aplican métodos de navegación autónoma para robots móviles. Para esto se abordan los problemas de localización, planificación y seguimiento de trayectorias y construcción de mapas del entorno. Para llevar a cabo los trabajos prácticos se utilizan herramientas de simulación y diversos tipos de robots móviles tanto terrestres como aéreos. Se emplean tecnologías en amplio uso en la actualidad, tales como Arduino y ROS (Robot Operating System). Se espera que los conocimientos adquiridos por el alumno al finalizar el curso sean un punto de partida para abordar problemas aún abiertos en el campo de la robótica móvil.

### **Metaheurísticas**

Se presentará la idea general de qué es una metaheurística, y cuándo es conveniente usar este tipo de enfoque para resolver un problema. Simulating annealing. Algoritmos genéticos, esquema general de un algoritmo evolutivo. Algoritmos "Random Key Genetic". Tabu Search, GRASP, Colonia de Hormigas, Enfoques híbridos.

### **Neurociencia Computacional**

Herramientas físicas y matemáticas (de análisis, de modelado y de adquisición de datos) que permitan abordar la algoritmia y propiedades informativas del cómputo humano. Funciones de cómputo del cerebro humano. Arquitectura biofísica restringida (una matriz de neuronas con conexiones bastante delimitadas). Experimentos (en el laboratorio y en grandes repositorios de datos tomados de la web) para inferir propiedades del cómputo humano a partir de datos observacionales. El problema de análisis de datos en muchas dimensiones.

### **Procesamiento del Habla**

Motivaciones para las tecnologías del habla. Elementos básicos de estadística. Elementos de procesamiento digital de señales. Representaciones de la señal de habla. Modelización acústica. Modelos Ocultos de Markov (HMM) y Redes Profundas. Modelización del lenguaje. Algoritmos básicos de búsqueda para el reconocimiento del habla. Síntesis de habla. Comprensión del lenguaje hablado.

### **Procesamiento de Lenguaje Natural**

Procesamiento básico de texto: Expresiones regulares, tokenización, segmentación, normalización, lematización y stemming. Modelado de lenguaje: N-gramas, suavizado add-one y por interpolación, back-off. Evaluación con perplexity. Aplicaciones: Generación de lenguaje y atribución de autoría. Etiquetado de secuencias: Etiquetado morfosintáctico (PoS tagging) y Reconocimiento de Entidades Nombradas (NER). Modelos Ocultos de Markov (HMMs). Modelos de Máxima Entropía (MEMMs). Algoritmo de Viterbi y beam search . Ingeniería de features, evaluación y análisis de error.

### **Introducción al procesamiento digital de imágenes**

Conceptos y metodologías para el análisis de imágenes. Fundamentos. Problemáticas específicas y soluciones de mayor complejidad en el procesamiento de imágenes.

### **Reconocimiento de Patrones**

Introducción: sistemas de reconocimiento de patrones, ciclo de diseño, aprendizaje y adaptación, conceptos necesarios de álgebra lineal y de probabilidad. Distribución Gaussiana bivariada y multivariada. Teoría de la decisión Bayesiana: regla de decisión de Bayes, riesgo Bayesiano, clasificación en dos categorías, criterios de riesgo mínimo: minimax y Neyman-Pearson, Clasificadores, Funciones Discriminantes y Superficies de Decisión, función de densidad Gaussiana: sus funciones discriminantes para casos multivariados, Probabilidades e

Integrales de Error, Cotas de error: Chernoff, Bhattacharyya, Decisión Bayesiana para features discretas, Redes Bayesianas.

Estimación de parámetros: máxima verosimilitud: principio general y casos Gaussianos, estimación Bayesiana: principio general, casos Bayesianos, teoría general: aprendizaje Bayesiano recursivo. Problemas de dimensionalidad, Análisis de componentes y discriminantes: análisis de componentes principales (PCA), discriminante lineal de Fisher, Expectación-Maximización, Hidden Markov Models. Técnicas no-paramétricas: ventanas de Parzen, estimación por el kn vecino más cercano, vecino más cercano: convergencia y cotas de error, técnica de Mean-shift. Funciones Discriminantes Lineales: casos: dos categorías y multi categorías, funciones discriminantes lineales generalizadas, Perceptrón, procedimientos de relajación, procedimientos de cuadrados mínimos, Support Vector Machines. Métodos estocásticos: recocido simulado, recocido simulado determinístico, algoritmos genéticos. Métodos no-métricos: árboles de clasificación y regresión, otros métodos basados en árboles. Aprendizaje no-supervisado y clustering: mixtura de densidades e identificabilidad, estimación por Máxima Verosimilitud, aplicaciones a mixturas normales, aprendizaje Bayesiano no-supervisado, descripción de datos y clustering: medidas de similaridad, funciones de criterio para clustering, clustering jerárquico, Análisis de Componentes Independientes (ICA).

### **Redes Neuronales**

Inspiración biológica de las redes neuronales artificiales. Neurona biológica vs. neurona artificial. El modelo de McCulloch y Pitts. El proceso de aprendizaje desde el punto de vista del conexionismo: algoritmos vs. paradigmas. El paradigma conexionista en el contexto histórico (i.e frente a otros como el matemático, el lógico-operacional, el computacional, autómatas celulares). Un poco de historia. Nuevas tendencias: big data, data mining, redes neuronales profundas. Aplicaciones de las redes neuronales artificiales. Aprendizaje supervisado. El Perceptrón simple. Clasificación según la función de transferencia (escalón, lineal, no-lineal). La regla Delta de aprendizaje. Teorema de Rosenblatt. Propiedades y limitaciones. La regla de Hebb. Perceptrones multicapa: capacidad de generalización. El gran salto en la universalidad computacional. Teoremas (Funahashi, Grossberg). El método de Backpropagation y otras estrategias de aprendizaje. Autoencoders, breve introducción. Aplicaciones del Perceptrón. Aprendizaje no supervisado Aprendizaje Hebbiano no supervisado. Breve introducción al Análisis de Componentes Principales. Características: extracción vs. selección. Modelos de Oja y Sanger: propiedades, teoremas de convergencia. Aprendizaje competitivo simple. Feature Extraction. Cuantización vectorial. Mapas topológicamente organizados. Inspiración biológica: los trabajos del Hubel y Wiesel. Mapeo de características. Modelo de Fritzsche. Consideraciones sobre la construcción de arquitecturas. Aplicaciones de los modelos de aprendizaje no supervisado. Memorias asociativas. Modelo de Hopfield. Propiedades, capacidad, limitaciones. Inspiración física: el modelo ferromagnético. Hopfield estocástico. La distribución de Boltzmann. Teoremas de equilibrio termodinámico. Otras variantes del modelo de Hopfield: continuo, pseudoinversa, BAM. Algunas aplicaciones. Radial Basis Functions (RBF). Aproximación mediante representaciones locales. Kernel smoothing: suavización mediante núcleos de regularización. Una posible taxonomía: tipos de RBF. La arquitectura.

### **Visión por computadora**

Análisis de Movimiento. Flujo óptico 2D y 3D. Segmentación de Imágenes. Mean-Shift. Segmentación de Videos y Tracking de Regiones. Cámaras, coordenadas y geometría epipolar. Reconstrucción de formas 3D. Correspondencias en Visión Estéreo. Algoritmo de Belief-Propagation. Detección de características y Tracking. Características basadas en descriptores. SIFT. Descriptores Binarios. Vectores de Fisher. Detección de objetos. HoG (Histograma de Gradientes). Adaboost. Random Decisión Forest. Deep Learning aplicado a problemas de visión. Redes Convolucionales.

### **Seminario Avanzado de Teoría de Grafos**

Grafos de intersección. Definición. Estudio de diferentes clases: cordales, de intervalos, clique, arco-circulares, circulares, de permutación. Algoritmos para problemas famosos sobre estas clases de grafos, aplicaciones y problemas abiertos. Clases de grafos definidas por subgrafos prohibidos. Familias finitas e infinitas. Ejemplos de grafos que pueden ser definidos de esta manera: línea, claw-free, split, de comparabilidad, soles. Algoritmos para problemas famosos sobre estas clases de grafos, aplicaciones y problemas abiertos.

### **Bases de datos**

Fundamentos de bases de datos. Modelos de datos. Principios de abstracción. Introducción a modelos relacional, funcional, orientado a objetos, lógico y otros. El modelo relacional: estructura, comportamiento y restricciones. Álgebra y cálculo. Complejidad y expresividad de los lenguajes de consulta. Teoría de diseño relacional: dependencias funcionales, multivaluadas y junta. Formas normales. Implicación de dependencias. Lenguajes relacionales: implementaciones, estándares, SQL. Procesamiento de consultas: aspectos prácticos de optimización, algoritmos básicos, métodos de implementación de la junta, evaluación de costos, problema de búsqueda, optimización global. Procesamiento transaccional: recuperación y concurrencia. Recuperación: métodos que usan logging. Actualización diferida e inmediata de la base de datos. Operaciones redo y undo-redo. Concurrencia: problemas típicos. Teoría de la serializabilidad. Protocolos de locking. Schedulers. Time stamping. Bases de datos orientadas a objetos y no relacionales.

### **Organización del Computador**

Sistemas de numeración: representación binaria, punto flotante, cadenas de caracteres, operaciones aritméticas de enteros. Organización de las computadoras digitales: lógica digital, arquitectura Von Neumann, características funcionales de sus componentes. Organización de un procesador: conjunto de instrucciones, unidad aritmético/lógica, unidad de control, ciclo de instrucción, microprograma. Conjuntos de instrucciones: instrucciones aritméticas y lógicas, transferencia de datos y acceso a memoria, comparación y bifurcación, control de lazos, manipulación de registros y de pila. Lenguaje ensamblador: funcionamiento de un ensamblador, traducción a lenguaje de máquina, subrutinas, pasaje de parámetros. Memoria: bit, byte, palabra; direcciones de memoria, ciclo de acceso a memoria, tipos de memoria (RAM, ROM, etc.), memorias caché, interleaving. Interconexión de componentes: buses, relación entre direcciones de memoria, palabras y tamaño de los buses. Subsistema de entrada/salida: mapeo en memoria, espacio dedicado de direccionamiento, interfaz paralela, impresoras, almacenamiento externo, otros dispositivos. Mecanismos de atención: busy waiting, polling, interrupciones, acceso directo a memoria. Nociones básicas de sistemas operativos. Nociones de programa y proceso.

### **Introducción a la dinámica de geofluidos**

Sistema de ecuaciones para fluidos geofísicos: atmósfera, geo-espacio y océanos. Escalas asociadas a la dinámica atmosférica, espacial y oceánica. Aproximaciones. Radiación en el sistema terrestre. Ecuación de transferencia radiativa.

### **Introducción al modelado numérico de fluidos geofísicos**

Métodos numéricos para el modelado de la atmósfera, el geo-espacio y el océano. Estrategias de modelado (discretización espacial, espectral, temporal y vertical). Proyecciones. Introducción al concepto de parametrización y ejemplos de aplicación. Predictibilidad de los fenómenos atmosféricos y oceánicos en diferentes escalas. Asimilación de datos. Modelos dinámico-estadísticos y su aplicación a diversas escalas. Predictibilidad e incertidumbre en diferentes escalas espacio-temporales.

### **Introducción al sensoramiento remoto del sistema terrestre**

Satélites meteorológicos. Órbitas e instrumentos. Interpretación de imágenes. Detección e identificación de nubes de agua y/o hielo, polvo, sal y cenizas volcánicas. Discriminación e identificación de tipos de cobertura de la superficie terrestre. Radar meteorológico: Potencia y reflectividad, velocidad Doppler, variables polarimétricas. Refracción, reflexión, atenuación de radiación electromagnética por objetivos atmosféricos meteorológicos y ecos no meteorológicos. Estimación de la precipitación. Ecos en aire claro.

### **Introducción a la Meteorología del Espacio**

Estructura global del entorno espacial terrestre. Forzados exógenos y endógenos. Radiación solar y variabilidad en bandas UV, radio y X. Viento solar y perturbaciones interplanetarias en entorno terrestre. Magnetósfera y tormentas geomagnéticas. Cinturones de radiación de Van-Allen. Ionósfera y contenido total de electrones. Ondas de gravedad desde la tropósfera hacia la termósfera. Efectos sobre tecnologías modernas (sistemas de posicionamiento, telecomunicaciones, radio black-out, etc). Variables observables e índices utilizados para caracterizar el sistema. Caracterización de condiciones extremas. Observatorios virtuales. Modelos numéricos para pronósticos.

### **Dinámica No Lineal**

Introducción a la dinámica no lineal. Bifurcaciones unidimensionales. Sistemas bidimensionales lineales. Ciclos límite. Oscilaciones de relajación. Variedades invariantes. Variedad central. Reducción de la dimensionalidad. Formas normales. Oscilaciones Forzadas. Mapa de Smale. Análisis de series temporales. Análisis de patrones espacio-temporales. Teoría de campo medio para osciladores no lineales acoplados.

### **Estadística en Física Experimental**

1. Repaso de Probabilidades. 2. Ejemplos prácticos de variables aleatorias. Experimentos de conteo. Multinomial, errores experimentales en histogramas. Gaussiana, el teorema central del límite. Cauchy, errores gaussianos y no gaussianos. Distribución uniforme, redondeo de mediciones. 3. Función de variables aleatorias y combinación de mediciones. La fórmula de propagación de incertezas experimentales correlacionadas. Truncamiento de distribuciones por efectos de geometría finita o presencia de eventos no observables. Modificación de distribuciones via asignación de pesos. 4. Estimadores. Propiedades generales: consistencia, sesgo, eficiencia, suficiencia y robustez. Desigualdad de Cramer-Rao e incerteza experimental mínima. Teorema de Darmois y pérdida de información en la reducción de datos. Principio de máxima verosimilitud. Invarianza ante transformación de parámetros. Combinación de experimentos. Determinación gráfica de estimadores y sus incertezas para el caso uni- y multi-dimensional, Estimación robusta de observables. 5. Método de cuadrados mínimos para el ajuste de datos experimentales. Teorema de varianza mínima de Gauss-Markov. La formulación matricial para el caso lineal. Extensión al caso de eventos con peso, a funciones no lineales y a problemas con vínculos usando multiplicadores de Lagrange. Comparación del  $\chi^2$  antes y después del ajuste: definición de grados de libertad. Cuadrados mínimos con errores en ambas variables, aproximación de Deming. 6. Errores experimentales: intervalos de confianza frecuentistas versus intervalos de credibilidad bayesianos. Cobertura y nivel confianza. Errores frecuentistas exactos y el cinturón de confianza de Neyman. Errores

bayesianos a través del posterior, distribuciones conjugadas. Incorporación de errores sistemáticos por perfilado de la verosimilitud o mediante prior bayesiano. 7. Estimación de incertezas experimentales. Errores simétricos y elipse de covarianza por inversión del Hessiano de información de Fisher. Errores asimétricos via cociente de verosimilitudes, Teorema de Wilk. Experimentos de conteo, comparación de intervalos para errores poissonianos y para binomiales. Cotas superiores e inferiores como intervalos de un solo lado. Límites de Poisson para el caso de datos con ruido. 8. Tests de hipótesis. Potencia, consistencia y sesgo. Hipótesis simple y compuesta. Estadístico, nivel de significancia y valor-P. Teorema de Neyman-Pearson, cociente de verosimilitudes como test más potente. El test  $\chi^2$  para bondad de ajuste. Tests para errores gaussianos y datos binned. Significancia de señal sobre ruido. Independencia de muestras y tablas de contingencia. Datos no binned, testeo contra teoría y consistencia entre experimentos: tests de Kolmogorov-Smirnov, Cramer-vonMises, Anderson-Darling, Wilcoxon, Kruskal-Wallis. Tests bayesianos: factor de Bayes, la navaja de Ockham, errores sistemáticos y variables de estorbo. 9. Métodos basados en el muestreo de datos: el bootstrap y el jackknife. Estimación de errores experimentales, determinación del sesgo de una medición, comparación de datos y predicciones teóricas, extracción y aplicaciones de la verosimilitud empírica. La precisión del coeficiente de correlación entre mediciones y testeo de no paramétrico de la independencia entre muestras. 10. Deconvolución de efectos experimentales: distorsiones en los datos por efectos aleatorios en el dispositivo de medida. Compensación por inversión de la matriz de respuesta. Regularización de oscilaciones mediante el algoritmo de Tikhonov, el método de la entropía cruzada, o el uso de procesos gaussianos. Formulación bayesiana del unfolding, compensación entre sesgo y varianza. Unfolding multidimensional y aplicación al caso de imágenes fuera de foco.

### **Física computacional**

1. Percolación. El número de racimos: solución exacta para 1 dimensión. Aproximaciones para  $D > 1$ . "Lattice Animals". Comportamiento crítico. Exponentes críticos. Caracterización de racimos ("bulk", perímetro, superficie). Escalado de tamaño finito. "Colapso de datos". Grupo de renormalización. Caminatas y dinámica sobre redes. Caminatas al azar que no se cortan.
2. Redes complejas. Propiedades generales (camino mínimo, grado de un nodo, "clusterización", "componente gigante", etc). La propiedad de Mundo pequeño. Racimos en redes complejas. Estructura de Comunas. SIRS.
3. Ensamblados. Cadenas de Markov. Solución de Metropolis para el Ensamble Canónico. Extensiones: el ensamble Micro-canónico, el ensamble Gran-canónico.
4. Dinámica molecular. El Teorema Ergódico. Teorema de Liouville. La formulación de Liouville de la resolución reversible de las ecuaciones de movimiento. Dinámica molecular a temperatura constante: el termostato de Andersen, de Nose-Hoover. Cadenas de Nose-Hoover.
5. Equilibrio de fases. Integración termodinámica, potenciales químicos, el método de la inserción de partículas. Coexistencia sin interfases.
6. Epidemiología y partículas auto-impulsadas. El caso de la red epidemiológica: infección y propagación. El caso de partículas auto-impulsadas: modelado, "clusters humanos", congestionamiento y cambios de comportamiento.

### **Física de Polímeros**

1. Movimientos periódicos limitados en el espacio. Pequeñas oscilaciones alrededor de la posición de equilibrio. Oscilaciones libres. Ecuación diferencial para el oscilador armónico 1D. Notación compleja. Oscilaciones amortiguadas.
2. Sistemas libres con más de un grado de libertad. Modos normales. Coordenadas normales. Superposición de movimientos armónicos de diferentes frecuencias. Búsqueda sistemática de modos para sistemas con  $N$  grados de libertad.
3. Movimientos forzados en sistemas con un grado de libertad. Fuerzas externas periódicas. Estados transitorio y estacionario. Respuesta resonante. Análisis energético. Relación entre los problemas libre y forzado. Problema de condiciones iniciales. Movimiento forzado de sistemas con  $N$  grados de libertad. Resonancias.
4. Ejemplos de sistemas libres con muchos grados de libertad. Descripciones discreta y continua. Las ondas estacionarias como modos normales de sistemas continuos. Análisis discreto y continuo de las vibraciones transversales de una cuerda con  $N$  cuentas. Ecuación de ondas clásica. Solución general para ondas planas. Evolución temporal, condiciones iniciales y análisis de Fourier espacial. Distintos tipos de condiciones de contorno.
5. Las ondas de propagación como el movimiento forzado de un sistema con un número muy grande de grados de libertad. Péndulos idénticos acoplados: descripción discreta y continua. Ecuación de ondas de Klein-Gordon. Medios dispersivos y reactivos. Discontinuidades en las propiedades del medio. Analogía entre ondas longitudinales en un resorte y las ondas acústicas.
6. Cuerpos deformables. Propagación de una perturbación en un medio elástico. Ondas longitudinales y transversales. Ecuación de ondas 1D para medios inhomogéneos. Ondas acústicas.
7. Soluciones de la ecuación de ondas clásica para movimientos unidimensionales: ondas planas, esféricas y cilíndricas.
8. Modulaciones, pulsaciones y paquetes de ondas. Superposición de dos ondas progresivas armónicas. Modulación de amplitud. Velocidad de fase y de grupo. Solución exacta para la pulsación producido por  $N$  oscilaciones con frecuencias uniformemente distribuidas en un intervalo finito. Caso continuo para un espectro de frecuencias cuadrado. Superposición continua de armónicos: análisis de Fourier continuo. Propagación de

un paquete de ondas.

9. Descripción geométrica de movimientos ondulatorios. Concepto de rayos. Reflexión y refracción en interfaces entre medios inhomogéneos. Óptica y acústica geométricas. Rango de validez. Comparación de tres descripciones alternativas para las leyes geométricas: descripción fenomenológica, principio de Huygens y principio de Fermat.

11. Relación entre leyes de Snell y condiciones de contorno para ondas planas en interfaces lisas. Reflexión total. Reversibilidad: tratamiento de Stokes.

12. Formación de imágenes. Puntos conjugados. Dioptros planas y esféricas. Dioptros esféricas. Lentes y espejos. Trazado de rayos. Instrumentos ópticos.

13. Coeficientes de Fresnel para interfaces entre medios lineales, isótropos y homogéneos. Reflexión total y polarización por reflexión.

14. Posibles estados de polarización de ondas transversales. Polarizadores y láminas retardadoras. Propagación en medios birrefringentes.

15. Interferencia de dos ondas monocromáticas. Experiencias con luz. Fuentes coherentes. Incoherencia espacial y temporal. Dispositivos para lograr fuentes secundarias coherentes a partir de una fuente incoherente. Franjas de interferencia. Aplicaciones interferométricas.

16. Difracción de una onda monocromática. Regiones de Fresnel y Fraunhofer. Realización práctica de la condición de campo lejano. Aberturas rectangulares y circulares. Resolución de sistemas formadores de imágenes. Difracción por N rendijas en una pantalla opaca. Redes de difracción. Aplicaciones espectrales.

### **Instrumentación y Control**

Comunicación con instrumentos. Tipos de Interfaces físicas. Programación con LabVIEW. Programación con Matlab/Python. Componentes electrónicos: amplificadores, filtros, etc. Digitalización de señales: aliasing, ruido de digitalización, ruido térmico. Detectores: fuentes de ruido, ganancia, rango dinámico, linealidad. Actuadores. Acondicionamiento y procesamiento de señales. Lazos de control. PID Adquisición y análisis de imágenes. Análisis de grandes datos. Otras tecnologías: FPGA, Arduino.

### **Laboratorio de Electrónica**

1. Amplificador Operacional (3 clases): El amplificador operacional ideal. Esquema inversor y no inversor. Ganancia diferencial y de modo común. Impedancia de entrada. Amplificador de transimpedancia. Ajuste de la ganancia. Amplificador de transconductancia (voltaje a corriente): control de un LED. Amplificador de Instrumentación.

2. Filtros (2 clases): Repaso del concepto de impedancia eléctrica, filtro pasa bajo y pasa alto (RC). Integrador y pasa bajos activo con Op Amps. Modelo de Amplificador Operacional de ganancia finita de lazo abierto (no inversor e inversor). Respuesta en frecuencia: Producto ganancia ancho de banda. Filtros de orden superior.

3. Transistores (2 clases): Ganancia de corriente del transistor. Tipos de amplificador; seguidor por emisor, emisor común. El transistor como amplificador: amplificadores clase A. Modos de polarización. Amplificadores clase B. El transistor como switch o llave lógica. Niveles lógicos a partir de señales analógicas (y traducción de lógicas). Cómo potenciar la salida de un Op Amp.

4. Fuentes (1 clase): Transformación, rectificación, filtrado y regulación. Respuesta a la carga. Referencias de voltaje: diodo zener; reguladores tipo 7805. Fuente conmutada?

5. Realimentación positiva (2 clases): El amplificador operacional como comparador. Schmitt-trigger. Oscilador de relajación. El LM555 (o equivalentes) como circuitos oscilador y monoestable.

6. Lógica Combinacional y Secuencial (1 clase): Indicador de niveles. Compuertas lógicas. Flip-Flop tipo D. Shift registers. Contadores.

7. Microprocesadores, comunicación y Conversión AD (2 Clases): Conversores A-D y Resistencias programables con protocolos SPI. Arduino.

### **Propiedades Físicas y Químicas de los Materiales**

1. Movimientos periódicos limitados en el espacio. Pequeñas oscilaciones alrededor de la posición de equilibrio. Oscilaciones libres. Ecuación diferencial para el oscilador armónico 1D. Notación compleja. Oscilaciones amortiguadas.

2. Sistemas libres con más de un grado de libertad. Modos normales. Coordenadas normales. Superposición de movimientos armónicos de diferentes frecuencias. Búsqueda sistemática de modos para sistemas con N grados de libertad.

3. Movimientos forzados en sistemas con un grado de libertad. Fuerzas externas periódicas. Estados transitorio y estacionario. Respuesta resonante. Análisis energético. Relación entre los problemas libre y forzado. Problema de condiciones iniciales. Movimiento forzado de sistemas con N grados de libertad. Resonancias.

4. Ejemplos de sistemas libres con muchos grados de libertad. Descripciones discreta y continua. Las ondas estacionarias como modos normales de sistemas continuos. Análisis discreto y continuo de las vibraciones transversales de una cuerda con N cuentas. Ecuación de ondas clásica. Solución general para ondas planas. Evolución temporal, condiciones iniciales y análisis de Fourier espacial. Distintos tipos de condiciones de contorno.

5. Las ondas de propagación como el movimiento forzado de un sistema con un número muy grande de grados de libertad. Péndulos idénticos acoplados: descripción discreta y continua. Ecuación de ondas de Klein-Gordon. Medios dispersivos y reactivos. Discontinuidades en las propiedades del medio. Analogía entre ondas

longitudinales en un resorte y las ondas acústicas.

6. Cuerpos deformables. Propagación de una perturbación en un medio elástico. Ondas longitudinales y transversales. Ecuación de ondas 1D para medios inhomogéneos. Ondas acústicas.

7 Soluciones de la ecuación de ondas clásica para movimientos unidimensionales: ondas planas, esféricas y cilíndricas.

8. Modulaciones, pulsaciones y paquetes de ondas. Superposición de dos ondas progresivas armónicas. Modulación de amplitud. Velocidad de fase y de grupo. Solución exacta para la pulsación producido por N oscilaciones con frecuencias uniformemente distribuidas en un intervalo finito. Caso continuo para un espectro de frecuencias cuadrado. Superposición continua de armónicos: análisis de Fourier continuo. Propagación de un paquete de ondas.

9. Descripción geométrica de movimientos ondulatorios. Concepto de rayos. Reflexión y refracción en interfases entre medios inhomogéneos. Óptica y acústica geométricas. Rango de validez. Comparación de tres descripciones alternativas para las leyes geométricas: descripción fenomenológica, principio de Huygens y principio de Fermat.

11. Relación entre leyes de Snell y condiciones de contorno para ondas planas en interfases lisas. Reflexión total. Reversibilidad: tratamiento de Stokes.

12. Formación de imágenes. Puntos conjugados. Dioptros planas y esféricas. Dioptros esféricas. Lentes y espejos. Trazado de rayos. Instrumentos ópticos.

13. Coeficientes de Fresnel para interfases entre medios lineales, isótropos y homogéneos. Reflexión total y polarización por reflexión.

14. Posibles estados de polarización de ondas transversales. Polarizadores y láminas retardadoras. Propagación en medios birrefringentes.

15. Interferencia de dos ondas monocromáticas. Experiencias con luz. Fuentes coherentes. Incoherencia espacial y temporal. Dispositivos para lograr fuentes secundarias coherentes a partir de una fuente incoherente. Franjas de interferencia. Aplicaciones interferométricas.

16. Difracción de una onda monocromática. Regiones de Fresnel y Fraunhofer. Realización práctica de la condición de campo lejano. Aberturas rectangulares y circulares. Resolución de sistemas formadores de imágenes. Difracción por N rendijas en una pantalla opaca. Redes de difracción. Aplicaciones espectrales.

### **Redes complejas con aplicación a sistemas biológicos**

Introducción Conceptos básicos de biología celular y molecular, procesos biológicos y sistemas complejos. La metáfora de redes en la era postgenómica: redes de regulación génica, de interacción de proteínas, de señalización, epistasis e interacción genética, relación fenotipo-genotipo. Conceptos del análisis de redes sociales: mundo pequeño, lazos fuertes/débiles, redes en contexto: homofilia, afiliación, selección e influencia social.

Fundamentos de Teoría de Redes Conceptos básicos: tipos de redes y representación, grado de un nodo, caminos en la red, transitividad y reciprocidad, componentes, Laplaciano de un grafo, caminatas al azar, asortatividad. Medidas de centralidad: basadas en distancias y vecindades, basadas en caminos cortos, centralidad de enlaces, índice de Katz, Pagerank, Hubs y authorities. Grafos aleatorios: Erdos-Renji, Watts-Strogatz, Modelo configuracional, modelo de Barabasi. Teoría espectral.

Redes biológicas Topología de redes reales, propiedades generales, modelos de crecimiento de redes. Redes de interacción de proteínas, hubs y esencialidad. Redes de co-expresión génica. Date/party hubs. Motivos sobrerrepresentación y rol biológico, duplicación y divergencia.

Estructura en redes. Modelos en bloques. Detección de comunidades. Roles, topología y función. Aplicación a problemas de genómica funcional: asignación de funcionalidad biológica a productos genéticos no caracterizados.

Extracción de conocimiento embebido en redes Nociones de aprendizaje semi-supervisado. Sistemas de recomendación y priorización en redes. Integración de datos y dominios de conocimiento. Aplicación al problema de reposicionamiento de fármacos y análisis redes gen-enfermedad.

### **Sistemas Complejos**

Parte I. Conceptos e ideas. ¿Qué son los sistemas complejos? ¿Qué es la complejidad? Epistemologías de la ciencia. ¿Pensar es mejor que observar? El idealismo de Platón a San Agustín. Observar e idealizar. Kepler, y Galileo. Nuevamente pensar: Descartes. Newton y el nacimiento de la ciencia moderna. Hume y Kant. Juicios analíticos y sintéticos. Aprioris del conocimiento. Hegel. Dialéctica del ser y el no-ser. El principio de identidad. Peirce. Pragmatismo y abducción. Engels y el anti dűring. Carnap: La eliminación de la metafísica. Ortega y Gasset: la especialización y el pachón de asador. Husserl: Epojé. ¿Filosofía o sociología? Popper El concepto de simple. Popper y la dialéctica. Kuhn: Entre la "historia", la sociología de la ciencia y el hábito científico. Horkheimer: Crítica de la razón instrumental. Piaget-García: Epistemología genética. García: La epistemología de los sistemas complejos. Hechos y observables. Dialéctica de la diferenciación e integración interdisciplina. Morin: Ciencia con consciencia de sí misma. Filosofía natural. Reconstrucción de los principios de Newton bajo un único axioma. Modelos y teorías. La mirada pragmática y la mirada del saber. El lenguaje matemático. El esquema teórico. El uso de la computadora. Modelos computacionales. Modelos basados en individuos.

Parte II. Estudios de casos. La naturaleza se declara inocente. Lineamientos generales del estudio de la sequía en el África subsahariana. El Iberá. Lineamientos generales del estudio del humedal. Dengue, fiebre amarilla,

*Aedes aegypti* y más. Una intervención polémica: la epidemia de fiebre aftosa en el Reino Unido, 2002. Modelos utilizados. El debate público. El debate científico. Modelos de “ganadores y perdedores” para la formación del orden social en animales.

Parte III. Herramientas. Sistemas termodinámicos. Reacciones químicas y creación de entropía. Elementos de dinámica no-lineal. Puntos fijos, estabilidad y bifurcaciones locales en 1d y 2d. Bifurcación global homoclínica en 2d. Órbitas homoclínicas a una órbita periódica (3d). Herradura de Smale. Elementos de probabilidad (Durrett). Experimentos y eventos. Probabilidades. Probabilidad condicional. Distribuciones. Esperanza matemática. Teoremas límites. Procesos estocásticos (Durrett). Cadenas de Markov. Martingalas. Procesos de Poisson. Cadenas de Markov con tiempo continuo. Ecuaciones de Kolmogorov (ecuaciones maestras). Dinámica de poblaciones (H Andersson y T Britton). Procesos epidémicos. Número reproductivo básico. Sistemas termodinámicos. Reacciones químicas como procesos estocásticos. El límite determinista (Kurtz) y las ecuaciones de Fokker-Planck (Kurtz).

### **Física Estadística de Sistemas Complejos**

1. Física Estadística de Sistemas en Equilibrio. Dinámica microscópica de un sistema físico. Descripción estadística de un sistema aislado en equilibrio. Sistemas en equilibrio en contacto con el entorno. Transiciones de fase y el modelo de Ising. 2. Dinámica no-estacionaria y formalismo estocástico. Procesos Markovianos estocásticos y ecuación maestra. Ecuación de Langevin. Ecuación de Fokker-Planck. Difusión anómala: argumentos de escala. Relajación al equilibrio. 3. Física Estadística de unidades macroscópicas interactuantes. Dinámica de movimientos residenciales. Modelo de Schelling. Movimiento colectivo de partículas activas. 4. Descripción Estadística de Sistemas Determinísticos. Repaso de nociones básica de dinámica no-lineal. Sistemas determinísticos vs sistemas estocásticos. Dinámica de sistemas globalmente acoplados. Transición de sincronización: Modelo de Kuramoto.

### **Introducción al Modelado de Sistemas Biológicos**

1. Modelos de reacciones moleculares. Ley de Acción de Masas, Cinética de Enzimas, Inhibición y Cooperación, Simulaciones estocásticas. 2. Modelos de actividad eléctrica en neuronas. Modelo de Hodgkin-Huxley, Modelo de FitzHugh-Nagumo– Neuronas con Bursting– Modelos minimales–Oscilaciones en sistemas Activador-Inhibidor - Generación de patrones - Modelos a escala de cerebro completo – Dinámica sobre conectoma. 3. Modelos de Dinámica de Poblaciones. Modelos de 1 especie: Modelos de crecimiento continuo, modelos con delay, soluciones periódicas. Modelos discretos. Modelos de poblaciones interactuantes: Lotka-Volterra, Modelos realistas Predador-Presa, Modelos competitivos, fenómenos de umbral. Modelos de oscilación de 2 especies.

### **Introducción al Modelado de Sistemas Sociales**

1. Introducción al modelado de Redes Complejas. Modelos Estáticos de Redes: Erdos-Renyi, Watts-Strogatz, Small-World. Modelos dinámicos de Redes: Modelo de Barabasi-Albert, Preferential Attachment. Mesoescala: Detección de Comunas, medidas de centralidad, ranking y asignación de importancia de nodos. 2. Modelos de dinámica de Opinión. Modelo del Votante (Campo medio, en redes regulares, en redes complejas, adaptativo). Modelo de la regla de la mayoría, Modelo de Snajd, Teoría del Impacto Social (Latané). Modelos de opinión continua, Modelo de Deffuant, Modelo de Hegselmann-Krause. 3. Modelos de difusión cultural y de umbral. Modelo de Axelrod, Variantes. Transición orden-desorden, Modelado de la Influencia de MM. Modelo de segregación de Schelling, Modelo de Granovetter. 5. Recolección de datos. Experimentos de dinámica de opinión: Mas-Flaché, Chacoma-Zanette-Girard. Técnicas de Análisis y clasificación de Texto: LatentSemanticAnalysis (LSA), Sentiment Analysis.

### **Toma de decisiones**

Teorías, bases computacionales y experimentos para la toma de decisiones. Marco analítico para el proceso de decisión. Percepción, memoria y consciencia. Principios generales de la cognición. Modelos de heurísticas y sesgos. La teoría prospectiva y el rol de las emociones en la toma de decisiones.

### **Teoría de juegos**

Concepto de estrategia. Formas normal y extensiva. Teorema de Zermelo. Nim, Hex. Teoremas de punto fijo. Teoría de juegos no cooperativa: Función de utilidad. Estrategias puras y mixtas. Equilibrio de Nash. Optimo de Pareto. Juegos de suma cero y bayesianos. Información completa e incompleta, perfecta e imperfecta. Aplicaciones económicas. Teoría de juegos cooperativa: juegos repetidos, reputación, equilibrios, negociación, subastas, coaliciones. Teorema de Arrow. Aplicaciones sociales. Modelos de agentes y/o autómatas discretos. Modelos continuos. Aprendizaje (juego de minorías). Juegos diferenciales.