Universidad Nacional de General San Martín

Escuela de Ciencia y Tecnología

Campus Miguelete

Martín de Irigoyen 3100

San Martín

Buenos Aires - Argentina

[www.unsam.edu.ar](http://www.unsam.edu.ar/)



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| PROYECTO DE CÁTEDRA | | |
| MATERIA | Inferencia Bayesiana Causal | |
| CARRERAS | Licenciatura en Ciencias de Datos | |
| MODALIDAD | Presencial | |
| SEDE (si es presencial) | Campus Miguelete | |
| TIPO | Teórico-práctica | |
| PERÍODO DE VIGENCIA | Segundo cuatrimestre 2024 | |
| DURACIÓN | Cuatrimestral | |
| EQUIPO DOCENTE | Profesor/a: Gustavo Landfried | |
| MATERIAS CORRELATIVAS |  | |
| CARGA HORARIA | Clases Teórico-prácticas: 96h | Total horas semanales: 6h |

# MARCO REFERENCIA

Se revisan los métodos desarrollados en las últimas décadas para:

y tomar decisiones óptimas en contextos de incertidumbre.

# OBJETIVOS O PROPÓSITOS

* Dominio de los métodos de especificación matemática de argumentos causales expresados en lenguaje natural mediante redes bayesianas y factor graphs.
* Destreza para la identificación de los flujos de inferencia en cualquier estructura causal y de las condiciones necesarias para evaluar efectos causales en ausencia de intervenciones.
* Capacidad para diseñar experimentos que permitan evaluar modelos causales alternativos y aptitud para realizar la inferencia aproximando la aplicación estricta de las reglas de la probabilidad.
* Comprensión de los cíclos de acción-percepción y habilidad para seleccionar los comportamientos óptimos en problemas de toma de decisiones temporales.

# CONTENIDOS

**Unidad 1. Introducción a la especificación y evaluación de argumentos causales**

* Descripción y explicación. La estructura matemática del discurso descritivo. Los generalizaciones empíricas y los enunciados teóricos. Aprendizaje basado en modelos. Distribuciones de creencias honestas
* Las reglas de razonamiento en contextos de incertidumbre: preservar la creencia previa que sigue siendo compatible con el dato y predecir con la contribución de todas las hipótesis. Métodos gráficos de especificación matemática de argumentos causales.
* Evaluación de modelos causales alternativios: generación de datos sintéticos y aplicación estricta de las reglas de la probabilidad. Ejemplos de modelos identificables y no identificables a partir de la observación pasiva.
* Bibliografía sugerida: Samaja (3.1-3.4), Klimovsky (4), Bishop [6] (1-4).

**Unidad 2. Emergencia del overfitting por selección y el balance natural por evaluación**

* Distribuciones conjugadas. Ejemplos varios. Caso en profundiad: regresión polinomial basada en la aplicación estricta de las reglas de la probabilidad. El problema computacional de la aplicación estricta de las reglas de la probabilidad.
* Aproximación de la inferencia mediante métodos de estimación puntal basados en funciones de costo ad-hoc: máxima verosimilitud, máximo a posteriori y validación cruzada. Efectos secundarios de la ruptura de las reglas de la probabildiad: el sobreajuste (overfitting).
* La ausencia de efectos indeseados en el sistema de razonamiento probabilístico: el balance natural mediante la evaluación completa del espacio de hipótesis. Ensambles de modelos. Procesos gaussianos.
* Bibliografía sugerida. Bishop [2] (1.1-1.3, 2.1-2.3, 3.3-3.4, 6.4.1-6.4.2)

**Unidad 3. Sorpresa: el problema de la comunicación con la realidad**

* Los niveles de la base empírica. La estructura invariante del dato científico y el lugar que ocupan los supuestos. El isomorfismo con los sistemas de información emisor-receptor de la teoría de la información.
* La natrualeza multiplicativa de la función de costo de la teoría de la probabilidad. Su rol en la construcción de sistemas de comunicación con la realidad. Analogías con las apuestas y la propiedad epistémica.
* Evaluación de sistemas de comunicación alternativos en base a su tasa de sorpresa. Ejemplos. Interpretación de entropía y entropía cruzada. Definición de “no mentir” como máxima entropía dadas las restricciones.
* Bibliografía sugerida: Klimovsky (2), Samaja (3.5, 3.6.2-5), MacKay (1.1, 2.4-6, 4.1). Kelly (paper).

**Unidad 4. Especificación de teorías causales, flujo de inferencia.**

* Método gráficos de especificación matemática de modelos causales probabilísticos mediante *factor graphs*. Análisis del flujo de inferencia mediante la descomposición de las reglas de la probabildiad como mensajes entre los nodos del grafo, *sum-product algorithm*.
* Las teorías causales como sistemas dinámicos de modelos causales que se prenden y apagan en función del contexto. Los conceptos de *potential outcome* y *do-operator*. Su especificación mediante *gates*.
* La paradoja de Yule-Simpson. Flujo de inferencia (independencia condicional) en las estructuras elementales: pipe, fork, collider. El criterio de d-separación. Los niveles de razonamiento causal: asociacional, intervencional, y contrafactual.
* Bibliografía sugerida. Winn (paper), Neal (2.1, 3, 4.1). Bishop (8.2-8.2.2, 8.4-8.4.4, 8.4.7).

**Unidad 5. Estimación de efecto causal.**

* El efecto de las intervenciones: *truncated factorization*, *inverse probability weighting*, *propensity scores*. Estimación de efectos causales en datos no-experimentales mediante *adjustment formula.* Su generalización, *g-computation algorithm formula*.
* Métodos gráficos para predicción del contrafactual: *twin networks*. Métodos gráficos general para identificar el tipo de ajuste requerido: el b*ackdoor criterion.* Estimaciones no paramétricas: *frontdoor criterior y do-calculus.*
* Ejemplo de estructuras causales y clasificación de variables como buenos, neutrales o malos para la identificación del efecto causal mediante backdoor criterion.
* Bibliografía sugerida. Pearl (3), Hernán (7), Cinelli (paper), Neal (4, 6, 7.5-7.6).

**Unidad 6. Ciclos de acción-percepción: el problema de la interacción con la realidad**

* El ciclo acción-percepción entre agente y ambiente: percepción (reward-signal), inferencia (hipótesis/modelos), predicción (objetivo) acción (política/intervención). Diferencia entre señal y reward.
* Especificación de objetivos como problemas de maximización de utilidad esperada en el tiempo. La reformulación ergódica de la teoría de utilidad esperada. *Bellman equation*. Especificación gráfica de *rewards* mediante diagramas de influencia.
* Control óptimo en *Markov Decision Process* (MDP) dinámicos. State-space models. Intervención en series temporales. El ejemplo del k-bandit dinámico. Presentación de una competencia (hackatón) de inferencia, intervención, apuestas e intercambios de recursos.
* Bibliografía sugerida: Sutton-Barto (3), Peters (paper), Koller (21).

**Unidad 7. Métodos de evaluación de teorías causales**

* La evaluación de modelos como un juego de interacción acción-percepción con la naturaleza. La función de costo asociada al objetivo de evaluación de modelos causales alternativos. La emergencia de la estrategia falsacionasita como comportamiento óptimo
* Métodos de Monte Carlo para aproximar la verosimilitud marginal (probabilidades chicas). *Bridge Sampling*, t*hermodynamical integration*, *importance sampling, importance resampling, Sequential Monte Carlo*.
* Ejemplos varios.
* Bibliografía sugerida. Kass (paper), Popper (cap ?), vousden2016, perrakis2014, gronau2017-bridgeSampling

**Unidad 8. Inferencia causal en series temporales.**

* Modelos de historia completa. Los problemas de propagar la información en una sola dirección, del pasado al futuro, mediante el uso del último posterior como prior del siguiente evento (enfoque de \emph{filtering}).
* Algoritmo \emph{loopy belief propagation} para la propagación \emph{forward} - \emph{backward} de la información por todo el sistema o historia causal (enfoque de \emph{smoothing}).
* Evaluación del efecto causal en series temporales, contrafactuales. Intervenciones en series temporales.
* Apuestas óptimas en deportes. Criterios exitosos en la práctica (fractional kelly).

**Unidad 9. isomorfismo probabilidad-evolución y Hackatón “apuestas de vida”.**

* Isomorfismo entre las ecuaciones fundamentales de la teoría de la probabilidad (teorema de Bayes) y la teoría de la evoluición (replicator dynamic). La naturaleza multiplicativa de la función de costo epistemico-evolutivo.
* Las emergencia de las variantes que reducen las fluctuaciones por diversificación individual (propiedad epistémica), cooperación (propiedad evolutiva), especialización (propiedad de especiación), y heterogeneidad (propiedad ecológica).
* Presentación de una competencia de inferencia, intervención, apuestas e intercambios de recursos.
* Bibliografía sugerida. Peters (paper). Czegel (paper). Koller (23).

# ENCUADRE METODOLÓGICO

Ejemplo: En el desarrollo de las clases se realizan presentaciones sincrónicas/asincrónicas a distancia o presenciales, donde se introducen los conceptos fundamentales de las distintas temáticas y se proponen actividades para ejercitar las habilidades presentadas. La importancia de gráficos y figuras, que clarifican los diferentes conceptos a transmitir, se obtienen de la bibliografía obligatoria. Durante estas clases se promueven las preguntas y discusión con los estudiantes.

En el coloquio se trabaja sobre temáticas complementarias de los conceptos fundamentales presentados. Se emplean diferentes herramientas didácticas —guías de lectura, de estudio, trabajos prácticos, autoevaluaciones—,elaboradas por el equipo docente.

También se brindan guías de problemas, para que se puedan aplicar los conceptos desarrollados en las presentaciones y en el coloquio, apoyados en la bibliografía obligatoria. Se resuelven en el curso problemas tipo y se responden las dudas e inquietudes de los estudiantes.

# METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Ejemplo: Se tomarán una evaluación parcial en la semana 10 aproximadamente. El mismo tendrá varias instancias: conceptual (a través de un cuestionario), práctica (dibujo, simulación, análisis de datos). Cada parte lleva una nota, deberán aprobarse todas las partes. Habrá una instancia de recuperación antes de la finalización de la cursada y otra en fecha de final, inmediatamente de terminar la cursada, una para cada parte del examen parcial. Una vez aprobadas las instancias de parcial, los alumnos deberán presentar el trabajo final integrador en una fecha de examen final.

# METODOLOGÍA DIDÁCTICA

Ejemplo: Las presentaciones tendrán una parte conceptual para abordar las diferentes unidades temáticas y donde se resolverán ejercicios y atenderán consultas.

En la clase previa a cada uno de los exámenes se hará un resumen de los temas vistos mediante ejercicios integradores.

# PROGRAMA ANALÍTICO

Por unidades temáticas, con la bibliografía obligatoria por unidad temática.

# CRONOGRAMA

Por semana de clase, refiriéndose a las unidades temáticas del programa.

# BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA