

Prescriptive Analytics: Heuristics for Decision-Making

Duración: 16 semanas (15 semanas de contenido + 1 semana de receso)

Nivel: Introductorio-Intermedio

Audiencia: Estudiantes de ingeniería con poca experiencia en heurísticas y programación, interesados en optimización prescriptiva.

Evaluación:

- Tareas semanales (ejercicios conceptuales, problemas sencillos): 30 %
- Discusión de lecturas (resúmenes críticos, breves presentaciones): 20 %
- Proyecto final (aplicación de una heurística/metaheurística a un problema de ingeniería): 50 %.
 - primera entrega (25 %) correspondiente a la delimitación del problema, búsqueda de trabajos similares en la literatura científica, primeros modelos matemáticos e idealización de la metodología
 - segunda entrega (25 %): Correcciones de la primera entrega, mejora del modelo matemático, desarrollo de la metodología (Incluyendo presentación de la metaheurísticas) y resultados numéricos de los casos de estudio desarrollados.

Libros de Referencia (Generales):

- Glover, F. & Kochenberger, G. (eds.), *Handbook of Metaheuristics*, Kluwer Academic Publishers.
- Blum, C. & Roli, A. (2003). “Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison.” *ACM Computing Surveys*.
- Luke, S. (2013). *Essentials of Metaheuristics*, Lulu (versión gratuita en línea).
- Hillier, F.S. & Lieberman, G.J. *Introduction to Operations Research*, McGraw-Hill.

Semana 1: Introducción a la Analítica Prescriptiva y Rol de las Heurísticas

Contenidos: Introducción a analítica descriptiva, predictiva y prescriptiva. Necesidad de heurísticas en problemas complejos de optimización. Ejemplos iniciales.

Aplicación típica: Ubicación de instalaciones (centros de distribución).

Lecturas sugeridas:

- Hillier & Lieberman, cap. 1-2.
- Glover & Kochenberger, cap. 1 (introducción).

Actividad: Discusión conceptual de un caso sencillo de ubicación de un depósito.

Entregable: Resumen escrito (1 pág.) sobre un caso donde una heurística podría ser útil.

Semana 2: Fundamentos Matemáticos de la Optimización y Modelado

Contenidos: Formulación de problemas (lineales, enteros, combinatorios). Espacio de búsqueda, complejidad. Ejemplo: Problema de Ruteo de Vehículos (VRP).

Aplicación típica: Ruteo de vehículos (VRP).

Lecturas sugeridas:

- Hillier & Lieberman, cap. 7 y 9.
- Papadimitriou & Steiglitz, *Combinatorial Optimization*, secciones introductorias.

Actividad: Formular el VRP simplificado como un modelo entero lineal.

Entregable: Breve formulación de un problema de optimización relevante a la especialidad del estudiante.

Semana 3: Clasificación de Heurísticas y Búsqueda Local

Contenidos: Heurísticas constructivas vs. de mejora. Búsqueda local, vecindarios. Óptimos locales.

Aplicación típica: Programación de la producción (Job Shop Scheduling).

Lecturas sugeridas:

- Blum & Roli (2003).

- Luke, *Essentials of Metaheuristics*, Cap. 1-2.

Actividad: Diseñar una heurística constructiva simple para asignar tareas en una línea de ensamblaje.

Entregable: Reporte breve describiendo la heurística.

Semana 4: Búsqueda Aleatoria y Métodos Monte Carlo

Contenidos: Generación aleatoria de soluciones, evaluación estadística (esperanza, varianza), introducción a Monte Carlo.

Aplicación típica: Ubicación de antenas (problemas de localización continua).

Lecturas sugeridas:

- Metropolis et al. (1953), artículo original sobre el método Metropolis.
- Apuntes sobre métodos Monte Carlo en OR.

Actividad: Estimar el valor promedio de soluciones aleatorias en un problema de asignación.

Entregable: Breve reporte con estadísticos básicos.

Semana 5: Búsqueda Local Básica (Hill Climbing)

Contenidos: Hill Climbing: mecánica, convergencia a óptimos locales, limitaciones.

Aplicación típica: Minimizar pérdidas en una pequeña red eléctrica ajustando elementos locales.

Lecturas sugeridas:

- Russell & Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (búsqueda local).

Actividad: Aplicar Hill Climbing en un problema pequeño (4-5 nodos) minimizando un costo.

Entregable: Reporte con iteraciones y resultado final.

Semana 6: Recocido Simulado (Simulated Annealing, SA)

Contenidos: Analogía con el enfriamiento, probabilidad de aceptación de peores soluciones, convergencia.

Aplicación típica: Diseño de redes de subestaciones.

Lecturas sugeridas:

- Kirkpatrick, S. et al. (1983), “Optimization by Simulated Annealing”, *Science*.
- Luke, Cap. 4 (SA).

Actividad: Calcular probabilidades de aceptación a diferentes temperaturas.

Entregable: Breve ejercicio numérico.

Semana 7: Búsqueda Tabú (Tabu Search)

Contenidos: Uso de memoria, listas tabú, diversificación, aspiraciones.

Aplicación típica: Scheduling en sistemas productivos, ruteo de vehículos.

Lecturas sugeridas:

- Glover, F. (1989) “Tabu Search—Part I”, ORSA Journal on Computing.
- Glover, F. (1990) “Tabu Search—Part II”, ORSA Journal on Computing.

Actividad: Definir una tabu list para un problema pequeño de scheduling.

Entregable: Reporte comparando comportamiento con y sin tabu.

Semana 8: Semana de Receso (sin clase - pendiente de la salida del calendario académico)

Semana 9: Algoritmos Genéticos (GA)

Contenidos: Selección, cruce, mutación. Representación de soluciones.

Aplicación típica: Diseño óptimo de estructuras, optimización topológica.

Lecturas sugeridas:

- Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*.
- Holland, J.H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*.

Actividad: Proponer codificación binaria para dimensionar vigas.

Entregable: Reporte sobre operadores de cruce y mutación.

Semana 10: Evaluación y Comparación de Metaheurísticas

Contenidos: Métricas de desempeño, tiempo, robustez. Comparación estadística.

Aplicación típica: Comparar GA, SA y Tabu en un pequeño VRP.

Lecturas sugeridas:

- Demšar, J. (2006) “Statistical Comparisons of Classifiers over Multiple Data Sets”, *Journal of Machine Learning Research*.

Actividad: Comparar resultados promedio de dos heurísticas sencillas en el mismo problema.

Entregable: Análisis estadístico breve.

Semana 11: Metaheurísticas Basadas en Poblaciones: PSO y Beam Search

Contenidos: PSO: posición, velocidad, interacción social. Beam Search estocástica.

Aplicación típica: Ajuste de parámetros en modelos de carga eléctrica o ubicación óptima de sensores.

Lecturas sugeridas:

- Kennedy, J. & Eberhart, R.C. (1995), “Particle Swarm Optimization”, *IEEE Int. Conf. Neural Networks*.
- Luke, Cap. 8 (PSO).

Actividad: Ejemplo numérico de actualización de partículas.

Entregable: Reporte corto con ejemplo PSO simplificado.

Semana 12: Métodos Híbridos y GRASP

Contenidos: Combinación de heurísticas (híbridas). GRASP: construcción aleatoria + búsqueda local.

Aplicación típica: Ubicación de instalaciones con lista restringida de candidatos.

Lecturas sugeridas:

- Feo, T.A. & Resende, M.G.C. (1995), “Greedy Randomized Adaptive Search Procedures”, *Journal of Global Optimization*.
- Glover & Kochenberger (Handbook), capítulos sobre hibridación.

Actividad: Diseñar esquema GRASP para ubicación de instalaciones.

Entregable: Reporte explicando construcción y mejora local.

Semana 13: Ajuste de Parámetros y Sensibilidad

Contenidos: Impacto de parámetros. Diseño de experimentos y análisis de sensibilidad.

Aplicación típica: Ajuste fino de parámetros en GA para VRP.

Lecturas sugeridas:

- Bartz-Beielstein, T. (2006) *Experimental Research in Evolutionary Computation*.

Actividad: Discutir impacto de la temperatura inicial en SA.

Entregable: Breve nota sobre cambio de parámetros y resultados hipotéticos.

Semana 14: Tendencias Actuales en Metaheurísticas

Contenidos: Nuevas tendencias: algoritmos bio-inspirados, aprendizaje en optimización. Aplicaciones en smart grids, energías renovables.

Lecturas sugeridas:

- Blum et al. (2011), revisión sobre metaheurísticas híbridas en *European Journal of Operational Research*.
- Artículos recientes en optimización energética (según interés).

Actividad: Discusión de un paper reciente sobre optimización en sistemas energéticos.

Entregable: Resumen crítico (1-2 págs.) de un artículo.

Semana 15: Preparación del Proyecto Final y Casos Complejos

Contenidos: Integración de conceptos. Casos avanzados: ruteo con ventanas de tiempo, despacho en sistemas eléctricos. Lineamientos del proyecto final:

- Elegir problema de ingeniería (asignación de recursos, ubicación de paneles solares, programación de mantenimiento).
- Aplicar una heurística/metaheurística del curso.
- Analizar resultados y discutir ventajas/limitaciones.

Actividad: Discusión colectiva de ideas de proyectos.

Entregable: Propuesta escrita del proyecto final (problema, método, plan).

Semana 16: Presentaciones de Proyectos Finales y Cierre

Contenidos: Presentación de proyectos (10-15 min c/u), discusión de resultados, cierre del curso.

Entrega Final: Informe escrito (5-10 págs.) describiendo problema, heurística, experimentos y análisis.

Manejo del Proyecto Final

Durante las semanas 13-15 se ajustará la propuesta. No se requiere programación avanzada; se pueden usar pseudo-código, entornos simples (Excel, Octave, Python básico). El proyecto debe:

1. Formular claramente el problema.
2. Justificar la metaheurística elegida.
3. Presentar experimentos (incluso con datos reducidos).
4. Analizar resultados (calidad, tiempo, variabilidad).

Se enfatiza la relevancia ingenieril: problemas logísticos, energéticos, manufactura, telecomunicaciones, etc.