

ÍNDICE

RELACIÓN DE AUTORES	11
LÉAME.....	13
1. VECTORES ÓPTIMOS EN ESPACIOS REALES (<i>Ernest Bedito</i>)	21
1.1. INTRODUCCIÓN	23
1.2. OPTIMIZACIÓN UNIDIMENSIONAL.....	27
1.2.1. <i>Condiciones necesarias y condiciones suficientes de óptimo</i>	29
1.2.2. <i>Métodos para hallar mínimos locales en programas unidimensionales</i>	29
1.3. OPTIMIZACIÓN MULTIDIMENSIONAL SIN RESTRICCIONES	34
1.3.1. <i>Condiciones necesarias y condiciones suficientes de óptimo</i>	34
1.3.2. <i>Métodos para hallar mínimos locales en programas multidimensionales sin restricciones</i>	34
1.4. OPTIMIZACIÓN MULTIDIMENSIONAL CON RESTRICCIONES DE IGUALDAD	44
1.4.1. <i>Condiciones necesarias y condiciones suficientes de óptimo</i>	44
1.4.2. <i>Métodos para hallar mínimos locales en programas multidimensionales con restricciones de igualdad</i>	47
1.5. OPTIMIZACIÓN CON RESTRICCIONES DE CUALQUIER TIPO	52
1.5.1. <i>Condiciones necesarias y condiciones suficientes de óptimo</i>	54
1.5.2. <i>Métodos para hallar el óptimo de un programa lineal</i>	55
1.5.3. <i>Métodos para hallar el óptimo de un programa cuadrático</i>	72
1.5.4. <i>Métodos para hallar el óptimo de un programa con restricciones lineales</i>	76
1.5.5. <i>Métodos para hallar el óptimo de un programa con restricciones de cualquier tipo</i>	80
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXO: DEFINICIONES Y PROPIEDADES	86
2. EXPLORACIÓN ARBORESCENTE (<i>Rafael Pastor</i>)	91
2.1. INTRODUCCIÓN	93
2.2. EXPLORACIÓN ARBORESCENTE.....	94
2.3. INTRODUCCIÓN A LA PROPAGACIÓN DE RESTRICCIONES.....	97

2.3.1. El problema de satisfacción de restricciones y las técnicas de consistencia.....	99
2.3.2. La propagación de restricciones	102
2.3.3. Resolución de problemas de optimización mediante propagación de restricciones.....	103
2.4. LOS PROCEDIMIENTOS DE RAMIFICACIÓN Y ACOTACIÓN.....	103
2.4.1. El branch and bound.....	104
2.4.2. Otros procedimientos de exploración arborescente basados en la poda de vértices mediante cotas.....	107
2.5. BRANCH AND WIN: METALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN COMBINATORIA MEDIANTE LA EXPLORACIÓN DE GRAFOS	108
2.5.1. Definiciones previas	109
2.5.2. Una formalización de branch and win	113
2.5.3. Detalle de los procedimientos utilizados en branch and win	117
2.5.4. Branch and win: un metalgoritmo general.....	121
2.6. LA EXPLORACIÓN ARBORESCENTE EN LA RESOLUCIÓN DE PROGRAMAS MATEMÁTICOS CON VARIABLES ENTERAS	123
BIBLIOGRAFÍA	124

3. MODELIZACIÓN DE PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN

(Amaia Lusa y Bruno Domenech).....	125
3.1. INTRODUCCIÓN.....	127
3.1.1. Ejemplos introductorios.....	127
3.1.2. Pasos a seguir para modelizar un problema de optimización.....	129
3.1.3. Organización del resto del capítulo.....	130
3.2. TÉCNICAS DE MODELIZACIÓN CON VARIABLES CONTINUAS.....	130
3.2.1. Minimax y maximin	130
3.2.2. Minimizar el valor absoluto de una expresión.....	131
3.2.3. Cota superior del valor absoluto de una expresión.....	132
3.2.4. Programación separable convexa.....	133
3.3. TÉCNICAS DE MODELIZACIÓN CON VARIABLES ENTERAS Y BINARIAS.....	136
3.3.1. Por qué aparecen las variables enteras y binarias.....	136
3.3.2. Ejemplos introductorios.....	136
3.3.3. Redondear al entero inferior, al entero superior o al entero más próximo	138
3.3.4. Expresiones que deben pertenecer a un conjunto de valores.....	139
3.3.5. Conjunción, disyunción y exclusión: significado y notación	139
3.3.6. Disyunción.....	140
3.3.7. Exclusión (disyunción exclusiva).....	143
3.3.8. Implicación.....	144
3.3.9. Doble implicación (variables indicadoras): caso general y casos particulares (monomios binarios).....	147
3.3.10. Relaciones lógicas entre condiciones: forma normal conjuntiva (FNC) y forma normal disyuntiva (FND).....	149
3.3.11. Funciones separables no lineales y no convexas.....	150
3.3.12. Producto de funciones lineales	153

3.4. RELACIÓN ENTRE LA MODELIZACIÓN Y LA EFICIENCIA COMPUTACIONAL	155
3.4.1. Técnicas elementales	155
3.4.2. Técnicas avanzadas: restricciones válidas (planos de corte).....	157
3.5. OPTIMIZACIÓN BAJO INCERTIDUMBRE	158
3.5.1. Causas de incertidumbre	158
3.5.2. Optimización mediante lógica difusa (fuzzy)	158
3.5.3. Optimización estocástica por escenarios	161
3.6. OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO.....	165
3.6.1. Contexto multiobjetivo.....	165
3.6.2. Conceptos básicos.....	166
3.6.3. Optimización jerárquica.....	169
3.6.4. Programación por metas (Goal Programming).....	170
BIBLIOGRAFÍA	173
4. HEURÍSTICAS (Albert Corominas).....	175
4.1. INTRODUCCIÓN.....	177
4.1.1. A qué problemas se refiere este capítulo.....	177
4.1.2. Heurísticas	178
4.1.3. Organización del resto del capítulo.....	179
4.2. ESTRUCTURA GENERAL DE LOS PROCEDIMIENTOS HEURÍSTICOS	180
4.3. EJEMPLOS DE PROBLEMAS, HEURÍSTICAS Y COTAS	182
4.3.1. El problema de la mochila (knapsack problem, KP).....	183
4.3.2. Bin packing, SALBP-1, $Pm C_{max}$	184
4.3.3. El traveling salesperson problem (TSP).....	187
4.3.4. El problema del cubrimiento de cardinalidad mínima (minimum cardinality cover problem)	191
4.3.5. Conjunto interiormente estable de peso máximo (maximum weight independent set problem).....	192
4.3.6. $Fm pmu C_{max}$	193
4.3.7. El problema de transporte	197
4.3.8. Programación de proyectos con restricciones disyuntivas y de precedencia	199
4.4. PRE-PROCESAMIENTO.....	200
4.5. HEURÍSTICAS VORACES	200
4.5.1. Introducción.....	200
4.5.2. Orientaciones para el diseño de heurísticas voraces	202
4.5.3. Familias de heurísticas voraces: EAGH.....	204
4.5.4. Cócteles de heurísticas.....	206
4.6. CÁLCULO DE COTAS.....	206
4.7. PROCEDIMIENTOS DE MEJORA: OPTIMIZACIÓN LOCAL	210
4.7.1. Conceptos generales.....	210
4.7.2. Vecindarios	211
4.7.3. Algoritmos de optimización local.....	215
4.8. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES	218
BIBLIOGRAFÍA	219

5. METAHEURÍSTICAS, HIPERHEURÍSTICAS Y MATHEURÍSTICAS	
(Alberto García-Villoria).....	221
5.1. INTRODUCCIÓN.....	223
5.1.1. Origen, motivación y concepto	223
5.1.2. Organización del resto del capítulo.....	225
5.2. METAHEURÍSTICAS	225
5.2.1. Introducción.....	225
5.2.2. <i>Búsqueda Local Iterativa</i> (Iterated Local Search, ILS)	227
5.2.3. <i>Recocido Simulado</i> (Simulated Annealing, SA).....	229
5.2.4. <i>Búsqueda Tabú</i> (Tabu Search, TS)	230
5.2.5. <i>Procedimiento de Búsqueda Voraz Adaptativo Probabilista</i> (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure, GRASP)	231
5.2.6. <i>Búsqueda de Vecindario Variable</i> (Variable Neighborhood Search, VNS)	232
5.2.7. <i>Algoritmo Genético</i> (Genetic Algorithm, GA).....	233
5.2.8. <i>Algoritmo de la Colonia de Hormigas</i> (Ant Colony Optimization, ACO).....	236
5.2.9. <i>Optimización por Nube de Partículas</i> (Particle Swarm Optimization, PSO).....	238
5.2.10. <i>Hibridación de metaheurísticas</i>	240
5.2.11. <i>Abuso de metaheurísticas nuevas</i>	242
5.3. HIPERHEURÍSTICAS.....	244
5.3.1. <i>Introducción</i>	244
5.3.2. <i>Hiperheurísticas constructivas</i>	244
5.3.3. <i>Hiperheurísticas de mejoramiento</i>	245
5.4. MATHEURÍSTICAS	246
5.4.1. <i>Introducción</i>	246
5.4.2. <i>Local Branching</i>	248
5.4.3. <i>Corridor Method</i>	249
5.4.4. <i>Relax and Fix</i>	250
5.5. EJEMPLO DE APLICACIÓN: <i>BIN PACKING</i> EN UNA DIMENSIÓN.....	251
5.5.1. <i>Problema y representación de la solución</i>	251
5.5.2. <i>Solución inicial, vecindario y procedimiento de optimización local</i>	252
5.5.3. <i>Búsqueda Local Iterativa (ILS)</i>	253
5.5.4. <i>Recocido Simulado (SA)</i>	253
5.5.5. <i>Búsqueda Tabú (TS)</i>	253
5.5.6. <i>Procedimiento de Búsqueda Voraz Adaptativo Probabilista (GRASP)</i>	253
5.5.7. <i>Búsqueda de Vecindario Variable (VNS)</i>	254
5.5.8. <i>Algoritmo Genético (GA)</i>	254
5.5.9. <i>Algoritmo de la Colonia de Hormigas (ACO)</i>	255
5.5.10. <i>Optimización por Nube de Partículas (PSO)</i>	255
5.5.11. <i>Hiperheurísticas</i>	256
5.5.12. <i>Matheurísticas</i>	256
5.6. EJEMPLO DE APLICACIÓN: <i>CARGAS</i> EN UN ANDAMIO	258
5.6.1. <i>Problema, representación de la solución y enfoque</i> <i>de resolución</i>	258
5.6.2. <i>Matheurística basada en Búsqueda Local Iterativa (ILS)</i>	259

5.6.3. <i>Matheurística basada en Algoritmo Genético (GA)</i>	260
5.6.4. <i>Matheurística basada en Optimización por Nube de Partículas (PSO)</i>	261
5.7. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES	261
BIBLIOGRAFÍA	263

6. CALIBRACIÓN Y EXPERIENCIAS COMPUTACIONALES

<i>(Alberto García-Villoria y Ernest Benedito)</i>	265
6.1. INTRODUCCIÓN	267
6.1.1. <i>Conceptos y motivación</i>	267
6.1.2. <i>Organización del resto del capítulo</i>	267
6.2. CALIBRACIÓN DE LOS PARÁMETROS	268
6.2.1. <i>Introducción</i>	268
6.2.2. <i>Ejemplares de entrenamiento</i>	268
6.2.3. <i>Cómo calibrar</i>	269
6.3. EXPERIENCIA COMPUTACIONAL	270
6.3.1. <i>Introducción</i>	270
6.3.2. <i>Ejemplares de testeo</i>	271
6.3.3. <i>Métricas y diseño de la experiencia computacional</i>	272
6.3.4. <i>Análisis de los resultados</i>	273
6.3.5. <i>Replicabilidad, duplicabilidad y números pseudoaleatorios</i>	277
6.4. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES	279
BIBLIOGRAFÍA	280

7. MODELIZACIÓN Y RESOLUCIÓN BASADAS EN LA TEORÍA DE GRAFOS

<i>(Ernest Benedito y Albert Corominas)</i>	281
7.1. INTRODUCCIÓN	283
7.2. TERMINOLOGÍA BÁSICA DE LA TEORÍA DE GRAFOS	284
7.3. CAMINOS EXTREMOS EN UN GRAFO.....	286
7.4. PROGRAMACIÓN DINÁMICA DETERMINISTA DISCRETA	290
7.5. FLUJOS ÓPTIMOS.....	291
7.5.1. <i>El problema del flujo compatible de coste mínimo en una red de transporte</i>	291
7.5.2. <i>El algoritmo de Ford-Fulkerson para el problema del flujo máximo</i>	293
7.6. ÁRBOLES DE DECISIÓN	296
7.7. PROCESOS DE DECISIÓN EN CADENAS DE MÁRKOV	298
7.7.1. <i>Conceptos básicos sobre cadenas de Márkov</i>	298
7.7.2. <i>Procesos markovianos de decisión</i>	299
7.7.3. <i>Problemas de procesos markovianos de decisión con actualización de recompensas (PPMD-A)</i>	302
7.7.4. <i>Problemas de procesos markovianos de decisión con el promedio de las recompensas (PPMD-P)</i>	317
BIBLIOGRAFÍA	326

8. CONTROL ÓPTIMO (<i>Carles Batlle y Enric Fossas</i>)	327
8.1. INTRODUCCIÓN	329
8.1.1. <i>Sistemas de control. Tiempo discreto y tiempo continuo</i>	329
8.1.2. <i>Control óptimo. Funcionales y cálculo de variaciones</i>	331
8.2. PROGRAMACIÓN DINÁMICA. PRINCIPIO DE OPTIMALIDAD	334
8.3. LA ECUACIÓN DE HAMILTON-JACOBI-BELLMAN	341
8.4. EJEMPLOS DE SOLUCIÓN DE LA ECUACIÓN DE HJB	345
8.4.1. <i>Ejemplo 1</i>	345
8.4.2. <i>Ejemplo 2</i>	347
8.4.3. <i>Ejemplo 3</i>	349
8.4.4. <i>Ejemplo 4: el regulador lineal cuadrático</i>	352
8.5. ECUACIONES DE EULER-LAGRANGE	353
8.6. EL PRINCIPIO DE PONTRYAGIN	359
8.7. EJEMPLOS DE USO DEL PRINCIPIO DE PONTRYAGIN	362
8.7.1. <i>Ejemplo 1</i>	363
8.7.2. <i>Ejemplo 2</i>	364
8.7.3. <i>El regulador lineal cuadrático</i>	365
8.7.4. <i>Estado final sobre una variedad</i>	367
8.7.5. <i>Tiempo óptimo</i>	369
8.8. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS BASADOS EN LA PROGRAMACIÓN DINÁMICA Y EN EL PRINCIPIO DE PONTRYAGIN	371
8.9. MÉTODOS NUMÉRICOS	373
8.9.1. <i>Métodos numéricos para la ecuación de HJB.</i> <i>La ecuación diferencial de Riccati</i>	373
8.9.2. <i>Metodos numéricos para la solución de problemas de frontera</i>	378
BIBLIOGRAFÍA	392