

# ÍNDICE

<b>TEMA 1. NATURALEZA Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3. APLICACIONES .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA .....</b>	<b>21</b>
1.4.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	21
1.4.2. MODELIZACIÓN.....	23
1.4.3. IMPLANTACIÓN.....	29
1.4.4. DATOS.....	32
<b>1.5. RESUMEN .....</b>	<b>33</b>
<b>1.6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>33</b>
<b>TEMA 2. FORMULACIÓN Y RESOLUCIÓN DE MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL: CONCEPTOS BÁSICOS ...</b>	<b>35</b>
<b>2.1. EL PROBLEMA: UN EJEMPLO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2. EL MODELO: VARIABLES, FUNCIÓN OBJETIVO Y RESTRICCIONES .....</b>	<b>38</b>
2.2.1. VARIABLES: HIPÓTESIS DE DIVISIBILIDAD Y NO NEGATIVIDAD .....	38
2.2.2. FUNCIÓN OBJETIVO Y RESTRICCIONES: HIPÓTESIS DE LINEALIDAD.....	40
2.2.3. FORMULACIÓN GENERAL DE UN PROGRAMA LINEAL: HIPÓTESIS DE CERTIDUMBRE .....	44
<b>2.3. REGIÓN FACTIBLE Y SOLUCIÓN GRÁFICA .....</b>	<b>45</b>
<b>2.4. VARIABLES DE HOLGURA .....</b>	<b>47</b>
<b>2.5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....</b>	<b>48</b>
2.5.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS COEFICIENTES DE LA FUNCIÓN OBJETIVO.....	48
2.5.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS SEGUNDOS MIEMBROS DE LAS RESTRICCIONES .....	50
<b>2.6. AMPLIACIÓN DEL PROBLEMA: UNA NUEVA VARIABLE .....</b>	<b>52</b>
<b>2.7. RESOLUCIÓN DE MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL CON HOJAS DE CÁLCULO .....</b>	<b>54</b>
<b>2.8. RESOLUCIÓN DE MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL CON SOFTWARE DE OPTIMIZACIÓN .....</b>	<b>56</b>
<b>2.9. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS: ALGUNOS EJEMPLOS .....</b>	<b>59</b>
2.9.1. ERRORES FRECUENTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS.....	59
2.9.2. ALGUNOS MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAL .....	60

<b>2.10. RESUMEN</b> .....	64
<b>2.11. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	64
<b>2.12. CASOS PRÁCTICOS</b> .....	65
<b>TEMA 3. MÉTODOS GENERALES DE PROGRAMACIÓN LINEAL</b> .....	73
<b>3.1. CONCEPTOS BÁSICOS: PUNTOS EXTREMOS Y SOLUCIONES BÁSICAS</b> .....	75
<b>3.2. EL MÉTODO SIMPLEX</b> .....	79
3.2.1. <i>CONCEPTOS GENERALES</i> .....	79
3.2.2. <i>EL MÉTODO SIMPLEX MEDIANTE ECUACIONES SIMULTÁNEAS</i> .....	79
3.2.3. <i>CRITERIOS DEL MÉTODO SIMPLEX: VARIABLE QUE ENTRA Y VARIABLE QUE SALE DE LA BASE</i> .....	82
3.2.4. <i>TABLEAU SIMPLEX</i> .....	85
<b>3.3. SOLUCIÓN BÁSICA FACTIBLE INICIAL Y LAS VARIABLES ARTIFICIALES: EL MÉTODO DE LAS DOS FASES</b> .....	89
<b>3.4. ALGORITMO DEL SIMPLEX CON VARIABLES ACOTADAS</b> .....	93
3.4.1. <i>TÉCNICA DE LA COTA INFERIOR</i> .....	93
3.4.2. <i>TÉCNICA DE LA COTA SUPERIOR</i> .....	97
<b>3.5. EL MÉTODO SIMPLEX REVISADO, EL ALGORITMO DEL PUNTO INTERIOR Y EL SOFTWARE DE OPTIMIZACIÓN</b> .....	103
<b>3.6. RESUMEN</b> .....	106
<b>3.7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	107
<b>3.8. CASOS PRÁCTICOS</b> .....	108
<b>TEMA 4. DUALIDAD Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD</b> .....	115
<b>4.1. EL PROBLEMA DUAL Y LAS RELACIONES DE DUALIDAD</b> .....	117
4.1.1. <i>EL PROGRAMA PRIMAL Y EL PROGRAMA DUAL</i> .....	117
4.1.2. <i>RELACIONES DE DUALIDAD</i> .....	118
<b>4.2. EL ALGORITMO DUAL DEL SIMPLEX</b> .....	120
<b>4.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS COEFICIENTES DE LA FUNCIÓN OBJETIVO</b> .....	123
4.3.1. <i>MODIFICACIÓN DE UN <math>C_j</math> CORRESPONDIENTE A UNA VARIABLE NO BÁSICA</i> .....	124
4.3.2. <i>MODIFICACIÓN DE UN <math>C_j</math> CORRESPONDIENTE A UNA VARIABLE BÁSICA</i> .....	125
4.3.3. <i>MODIFICACIONES SIMULTÁNEAS DE VARIOS COEFICIENTES</i> .....	125
<b>4.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS SEGUNDOS MIEMBROS DE LAS RESTRICCIONES</b> .....	127
<b>4.5. PROGRAMACIÓN LINEAL PARAMÉTRICA</b> .....	130
<b>4.6. RESUMEN</b> .....	132
<b>4.7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	132
<b>4.8. CASOS PRÁCTICOS</b> .....	133

<b>TEMA 5. PROGRAMACIÓN ENTERA</b> .....	141
<b>5.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	143
<b>5.2. UN PROBLEMA ENTERO SENCILLO PARA DESCONFIAR DE REDONDEOS</b> .....	144
<b>5.3. APLICACIONES DE PROGRAMACIÓN ENTERA</b> .....	146
5.3.1. <i>PROGRAMACIÓN DE INVERSIONES</i> .....	147
5.3.2. <i>PROBLEMAS CON COSTES FIJOS</i> .....	148
5.3.3. <i>PROBLEMAS DE LOCALIZACIÓN DE INDUSTRIAS Y SERVICIOS</i> .....	150
5.3.4. <i>UN PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN CON COSTES NO LINEALES</i> .....	151
5.3.5. <i>UN PROBLEMA DE RUTAS DE TRANSPORTE</i> .....	156
5.3.6. <i>OTRAS POSIBILIDADES DE FORMULACIÓN CON VARIABLES BINARIAS</i> .....	158
<b>5.4. TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN ENTERA: ALGORITMOS DE RAMIFICACIÓN Y ACOTACIÓN</b> .....	160
5.4.1. <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	160
5.4.2. <i>RESOLUCIÓN GRÁFICA</i> .....	161
5.4.3. <i>CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL NODO</i> .....	167
<b>5.5. LAS TÉCNICAS DE RAMIFICACIÓN Y ACOTACIÓN Y EL SOFTWARE DE OPTIMIZACIÓN</b> .....	170
<b>5.6. RESUMEN</b> .....	172
<b>5.7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	172
<b>5.8. CASOS PRÁCTICOS</b> .....	173
<b>TEMA 6. PROGRAMACIÓN MULTIOBJETIVO</b> .....	181
<b>6.1. CONCEPTOS BÁSICOS: OBJETIVOS, METAS Y CRITERIOS</b> .....	183
<b>6.2. PROGRAMACIÓN MULTIOBJETIVO</b> .....	184
6.2.1. <i>MÉTODO DE LAS RESTRICCIONES</i> .....	188
6.2.2. <i>MÉTODO DE LAS PONDERACIONES</i> .....	189
6.2.3. <i>OTRAS TÉCNICAS MULTIOBJETIVO</i> .....	190
<b>6.3. PROGRAMACIÓN POR METAS</b> .....	190
6.3.1. <i>ESTRUCTURA GENERAL DE UN MODELO DE P.METAS</i> .....	190
6.3.2. <i>PROGRAMACIÓN POR METAS PONDERADAS</i> .....	193
6.3.3. <i>PROGRAMACIÓN POR METAS CON PRIORIDADES</i> .....	195
<b>6.4. RESUMEN</b> .....	199
<b>6.5. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	199
<b>6.6. CASOS PRÁCTICOS</b> .....	200
<b>TEMA 7. TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO DISCRETAS</b> .....	207
<b>7.1. EL MÉTODO DE LAS JERARQUÍAS ANALÍTICAS</b> .....	209
7.1.1. <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	209
7.1.2. <i>CONSTRUCCIÓN DE JERARQUÍAS</i> .....	210

7.1.3. ESTABLECIMIENTO DE PRIORIDADES.....	211
7.1.4. CONSISTENCIA LÓGICA.....	215
7.1.5. SOFTWARE.....	218
<b>7.2. EL MÉTODO PROMETHEE .....</b>	<b>222</b>
7.2.1. INTRODUCCIÓN.....	222
7.2.2. INFORMACIÓN PARA MODELIZAR LAS PREFERENCIAS.....	225
7.2.3. PROMETHEE I Y II.....	228
<b>7.3. TOMA DE DECISIONES COLABORATIVA .....</b>	<b>236</b>
<b>7.4. RESUMEN.....</b>	<b>237</b>
<b>7.5. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>238</b>
<b>7.6. CASOS PRÁCTICOS.....</b>	<b>239</b>
<b>TEMA 8. PROGRAMACIÓN NO LINEAL.....</b>	<b>243</b>
<b>8.1. INTRODUCCIÓN: CONCEPTOS PREVIOS.....</b>	<b>245</b>
<b>8.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN NO LINEAL .....</b>	<b>248</b>
<b>8.3. ALGUNAS APLICACIONES.....</b>	<b>249</b>
8.3.1. DETERMINACIÓN DEL INTERVALO DE TIEMPO ENTRE AJUSTES DE UNA MÁQUINA.....	249
8.3.2. PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN .....	250
8.3.3. ALGUNAS IDEAS SOBRE LOS MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN NO LINEAL.....	252
<b>8.4. CARTERAS EFICIENTES DE INVERSIÓN EN VALORES.....</b>	<b>255</b>
8.4.1. MODELO DE MARKOWITZ.....	255
8.4.2. MODELO DE MERCADO DE SHARPE.....	260
<b>8.5. RESUMEN.....</b>	<b>264</b>
<b>8.6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>264</b>
<b>8.7. CASOS PRÁCTICOS.....</b>	<b>264</b>
<b>TEMA 9. TÉCNICAS METAHEURÍSTICAS: ALGORITMOS GENÉTICOS.....</b>	<b>267</b>
<b>9.1. ALGORITMOS GENÉTICOS .....</b>	<b>269</b>
9.1.1. CODIFICACIÓN DE LAS SOLUCIONES .....	272
9.1.2. FUNCIÓN DE EVALUACIÓN .....	273
9.1.3. SELECCIÓN .....	273
9.1.4. CRUCE.....	276
9.1.5. MUTACIÓN .....	281
9.1.6. APLICACIONES: EL PROBLEMA DEL VIAJANTE .....	282
<b>9.2. TABU SEARCH .....</b>	<b>291</b>
<b>9.3. SIMULATED ANNEALING.....</b>	<b>294</b>
<b>9.4. RESUMEN.....</b>	<b>297</b>
<b>9.5. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>297</b>
<b>9.6. CASOS PRÁCTICOS.....</b>	<b>298</b>

---

<b>ANEXO 1. SOLVER DE LA HOJA DE CÁLCULO EXCEL</b> .....	301
<i>A1.1. FORMULACIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN</i> .....	303
<i>A1.2. RESOLUCIÓN DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL</i> .....	306
<i>A1.3. RESOLUCIÓN DE OTROS TIPOS DE MODELOS</i> .....	312
<i>A1.4. CONSTRUIR BUENOS MODELOS EN HOJAS DE CÁLCULO</i> .....	313
<b>ANEXO 2. SOFTWARE DE MODELIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN:</b>	
<b>LINGO</b> .....	317
<i>A2.1. PRESTACIONES DE LINGO</i> .....	319
<i>A2.2. DEFINICIÓN Y RESOLUCIÓN DE MODELOS</i> .....	320
<i>A2.3. LENGUAJE DE MODELIZACIÓN</i> .....	322
<i>A2.4. TIPOS DE VARIABLES: ACOTADA, LIBRE, ENTERA Y BINARIA</i> .....	326
<i>A2.5. MENÚS: FILE, EDIT, LINGO, WINDOW Y HELP</i> .....	327
<i>A2.6. FUNCIONES</i> .....	331
<b>ANEXO 3. SOFTWARE MULTICRITERIO PARA LA TOMA DE</b>	
<b>DECISIONES COLABORATIVA</b> .....	333
<i>A3.1. MODELIZACIÓN: DISEÑO DE LA JERARQUÍA DE DECISIÓN</i> .....	335
<i>A3.2. MÉTODOS MULTICRITERIO</i> .....	336
<i>A3.3. TOMA DE DECISIONES COLABORATIVA</i> .....	338
<i>A3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</i> .....	339