

1	Introducción y objetivos del proyecto.....	9
2	La herramienta ILOG CPLEX.....	12
2.1	Introducción a la herramienta ILOG CPLEX.....	12
2.1.1	Las tecnologías ILOG CPLEX.....	14
2.1.2	Algoritmos de optimización.....	15
2.2	Formato del problema.....	16
2.2.1	Nombre de las variables.....	16
2.2.2	Límites de las variables.....	17
2.3	Resolución de problemas de programación lineal.....	17
2.4	La herramienta ILOG CPLEX para C++.....	20
2.4.1	Diseño conceptual de ILOG CPLEX.....	20
2.5	Pasos para la resolución de un problema en C++.....	21
2.5.1	Construcción del modelo.....	21
2.5.2	Resolución del modelo y obtención de resultados.....	22
2.5.3	Esquema general.....	24
2.6	Árbol de funciones de la herramienta ILOG CPL.....	25
2.7	Descripción de las funciones.....	27
2.7.1	IloEnv::end.....	27
2.7.2	IloModel::Add.....	27
2.7.3	IloCplex::extract.....	27
2.7.4	IloCplex::setParam.....	28
2.7.5	IloCplex::importModel.....	28
2.7.6	IloCplex::exportModel.....	29
2.7.7	IloCplex::solve.....	29
2.7.8	IloCplex::Exception.....	29
2.7.9	IloCplex::getParam.....	29
2.7.10	IloCplex::getNrows.....	30
2.7.11	IloCplex::getNcols.....	30
2.7.12	IloCplex::getNNZs.....	30
2.7.13	IloCplex::getObjValue.....	30
2.7.14	IloCplex::getValues.....	31
2.7.15	IloCplex::getValue.....	31
2.7.16	IloCplex::getDuals.....	31
2.7.17	IloCplex::getDual.....	32
2.7.18	IloCplex::getSlacks.....	32

2.7.19 IloCplex::getStatus.....	32
2.7.20 IloCplex::getCplexSatatus..	33
2.7.21 IloCplex::getNiterations.	35
2.7.22 IloCplex::getNphaseOneiterations.	36
2.7.23 IloCplex::getAlgorithm..	36
2.7.24 IloCplex:: getBasisStatuses.	36
2.7.25 IloCplex:: getQuality.....	37
3 Las técnicas YM: aplicación a la gestión de recursos en aparcamientos de automóviles.....	38
3.1 Introducción a las técnicas YM.....	38
3.1.1 Reseña histórica y requisitos de aplicación.....	38
3.1.2 Técnicas de resolución para empresas del sector de servicios.....	40
3.2 Formulación del problema de gestión de recursos en aparcamientos.....	42
3.2.1 Modelo determinista para conductores individuales.....	43
3.2.2 Modelo determinista para conductores individuales y abonados ..	44
3.2.3 Modelo estocástico para conductores individuales.....	45
3.2.4 Modelo estocástico para conductores individuales y abonados ..	46
3.2.5 Método para la obtención del precio mínimo.....	47
3.3 Planteamiento matemático de los modelos	48
3.3.1 Modelo determinista para conductores individuales. Planteamiento matemático.....	48
3.3.1.1 Ejemplo de aplicación.....	51
3.3.2 Modelo determinista para conductores individuales y abonados. Planteamiento matemático	52
3.3.3 Modelo estocástico para conductores individuales. Planteamiento matemático	54
3.3.4 Modelo estocástico para conductores individuales y abonados. Planteamiento matemático	56
3.4 Incertidumbre de los grupos de abonados frente a conductores individuales.....	57
3.5 Incertidumbre del planteamiento estocástico frente al planteamiento determinista	59
4 Diseño funcional de las aplicaciones.....	61
4.1 Descripción de los programas.....	63
4.1.1 Programa primero: generación aleatoria de datos de conductores individuales. Descripción.....	63
4.1.2 Programa segundo: generación aleatoria de datos de grupos de abonados. Descripción.....	65
4.1.3 Programa tercero: modelo determinista de conductores individuales. Descripción.....	69
4.1.4 Programa cuarto: modelo determinista de conductores individuales y abonados. Descripción.....	71

4.1.5 Programas quinto y sexto: modelo estocástico de conductores individuales y modelo estocástico de conductores individuales y abonados. Descripción.....	75
4.1.6 Programa séptimo: obtención del precio mínimo para un grupo de abonados. Descripción.....	75
4.2 Módulos del programa primero: generación aleatoria de datos de conductores individuales.....	79
4.2.1 Nivel 0: módulo principal.....	80
4.2.2 Nivel 1: procesos principales.....	81
4.2.2.1 Lectura del fichero de entrada.....	81
4.2.2.2 Obtención de datos de dimensión del problema.....	83
4.2.2.3 Obtención de los restantes datos del problema.....	85
4.2.2.4 Obtención del fichero de salida.....	86
4.2.3 Nivel 2: subprocesos.....	87
4.2.3.1 Generación aleatoria de datos.....	87
4.2.3.2 Generación del fichero de salida con datos aleatorios.....	88
4.2.4 Nivel 3: funciones básicas.....	91
4.2.4.1 Generación aleatoria de capacidades horarias.....	91
4.2.4.2 Generación aleatoria de demandas deterministas.....	92
4.2.4.3 Generación de demandas para el planteamiento estocástico.....	95
4.3 Módulos del programa segundo: generación aleatoria de datos de grupos de abonados.....	97
4.3.1 Nivel 0: módulo principal.....	98
4.3.2 Nivel 1: procesos principales.....	99
4.3.2.1 Lectura del primer fichero de entrada.....	99
4.3.2.2 Lectura del segundo fichero de entrada.....	101
4.3.2.3 Obtención de datos de dimensión del problema.....	102
4.3.2.4 Obtención de los restantes datos del problema.....	104
4.3.2.5 Obtención de los ficheros de salida.....	105
4.3.3 Nivel 2: subprocesos.....	106
4.3.3.1 Generación aleatoria de abonados.....	106
4.3.3.2 Fichero de salida: conductores individuales, planteamiento determinista.....	107
4.3.3.3 Fichero de salida: conductores individuales y abonados, planteamiento determinista.....	110
4.3.3.4 Fichero de salida: conductores individuales, planteamiento estocástico.....	113
4.3.3.5 Fichero de salida: conductores individuales y abonados, planteamiento estocástico.....	116
4.3.3.6 Fichero de salida: precio mínimo para un grupo de abonados.....	119

4.3.4 Nivel 3: funciones básicas.....	122
4.3.4.1 Generación aleatoria del número de grupo de abonados.....	122
4.3.4.2 Generación aleatoria de los grupos de abonados.....	123
4.4 Módulos del programa tercero: modelo determinista de conductores individuales.....	125
4.4.1 Nivel 0: módulo principal.....	126
4.4.2 Nivel 1: Procesos principales.....	128
4.4.2.1 Lectura del fichero de entrada.....	128
4.4.2.2 Obtención de datos de dimensión del problema.....	130
4.4.2.3 Validación de las dimensiones del problema.....	133
4.4.2.4 Obtención de los restantes datos del problema.....	133
4.4.2.5 Construcción del modelo.....	134
4.4.2.6 Resolución del modelo.....	135
4.4.2.7 Obtención de soluciones y ficheros de salida.....	136
4.4.3 Nivel 2: subprocesos.....	137
4.4.3.1 Obtención del precio de los recursos.....	137
4.4.3.2 Obtención de la matriz de restricciones.....	139
4.4.3.3 Obtención de la función objetivo.....	141
4.4.3.4 Obtención de las ecuaciones de las restricciones.....	142
4.4.3.5 Obtención de resultados a mostrar por pantalla.....	143
4.4.3.6 Generación del fichero de soluciones y del fichero mps.....	144
4.5 Módulos del programa cuarto: modelo determinista de conductores individuales y abonados.....	147
4.5.1 Nivel 0: módulo principal.....	148
4.5.2 Nivel 1: Procesos principales.....	150
4.5.2.1 Lectura del fichero de entrada.....	150
4.5.2.2 Obtención de datos de dimensión del problema.....	152
4.5.3 Nivel 2: subprocesos.....	154
4.5.3.1 Obtención del precio de los recursos.....	154
4.5.3.2 Obtención de la matriz de restricciones.....	156
4.5.3.3 Obtención de la función objetivo.....	157
4.5.3.4 Obtención de las ecuaciones de las restricciones.....	158
4.5.3.5 Generación del fichero de soluciones y del fichero mps.....	159
4.5.4 Nivel 3: funciones básicas.....	162
4.5.4.1 Obtención de la matriz de coeficientes de los grupos de abonados.....	162
4.6 Módulos del programa quinto y sexto: modelo estocástico de conductores individuales y modelo estocástico de conductores individuales y abonados.....	164

4.7 Módulos del programa séptimo: obtención del precio mínimo para un grupo de abonados.....	165
4.7.1 Nivel 0: módulo principal.....	165
4.7.2 Obtención del precio mínimo.....	167
5 Resultados experimentales e interpretación.....	168
5.1 Problemas de pequeñas dimensiones.....	168
5.2 Modelos a resolver.....	177
5.3 Generación de problemas. Datos de los modelos.....	178
5.4 Resultados experimentales.....	183
5.4.1 Conductores individuales, planteamiento determinista. Resultados.....	183
5.4.2 Conductores individuales y abonados, planteamiento determinista. Resultados.....	184
5.4.3 Conductores individuales, planteamiento estocástico. Resultados.....	185
5.4.4 Conductores individuales y abonados, planteamiento estocástico. Resultados.....	187
5.5 Interpretación de los resultados.....	189
5.5.1 Comparación de los valores de la función objetivo.....	189
5.5.1.1 Conductores individuales con planteamiento determinista frente a conductores individuales con planteamiento estocástico. Función objetivo.....	190
5.5.1.2 Conductores individuales con planteamiento determinista frente a conductores individuales y abonados con planteamiento determinista. Función objetivo.....	191
5.5.1.3 Conductores individuales y abonados con planteamiento determinista frente a conductores individuales y abonados con planteamiento estocástico. Función objetivo.....	192
5.5.1.4 Conductores individuales con planteamiento estocástico frente a conductores individuales y abonados con planteamiento estocástico. Función objetivo.....	194
5.5.2 Comparación de los tiempos de ejecución.....	195
5.5.2.1 Conductores individuales con planteamiento determinista frente a conductores individuales con planteamiento estocástico. Tiempos.....	196
5.5.2.2 Conductores individuales con planteamiento determinista frente a conductores individuales y abonados con planteamiento determinista. Tiempos.....	197
5.5.2.3 Conductores individuales y abonados con planteamiento determinista frente a conductores individuales y abonados con planteamiento estocástico. Tiempos.....	198
5.5.2.4 Conductores individuales con planteamiento estocástico frente a conductores individuales y abonados con planteamiento estocástico. Tiempos.....	199

5.5.3 Comparación del número de iteraciones.....	201
5.5.3.1 Conductores individuales con planteamiento determinista frente a conductores individuales con planteamiento estocástico. Número de iteraciones.....	201
5.5.3.2 Conductores individuales con planteamiento determinista frente a conductores individuales y abonados con planteamiento determinista. Número de iteraciones.....	203
5.5.3.3 Conductores individuales y abonados con planteamiento determinista frente a conductores individuales y abonados con planteamiento estocástico. Número de Iteraciones.....	204
5.5.3.4 Conductores individuales con planteamiento estocástico frente a conductores individuales y abonados con planteamiento estocástico. Número de iteraciones.....	206
5.6 Precio mínimo. Datos, resultados e interpretación.....	207
5.6.1 Precio mínimo. Datos.....	208
5.6.2 Precio mínimo. Resultados.....	210
5.6.3 Precio mínimo. Interpretación.....	212
6 Conclusiones y líneas futuras.....	216
7 Bibliografía.....	220
Anexo I: Listado de los programas.....	221
Anexo II: Ejemplos de ficheros de entrada y de salida.....	284