



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

MODELOS Y TÉCNICAS DE CONSISTENCIA EN
PROBLEMAS DE SATISFACCIÓN DE RESTRICCIONES

Autor: Marlene Alicia Arangú Lobig
Director: Dr. D. Miguel Ángel Salido Gregorio

PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE
DOCTOR EN INFORMÁTICA
POR LA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Valencia, España
DICIEMBRE 2011

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	v
Lista de Figuras	ix
Agradecimientos	xiii
Resumen	xv
Abstract	xvii
Resum	xix
1. Introducción	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Problemas de Satisfacción de Restricciones	2
1.3. Búsqueda e inferencia en CSPs	4
1.3.1. Arco-consistencia	6
1.4. Problemas de Planificación y Scheduling. Modelización vía CSP . . .	10
1.5. Motivación y Contribución	13
1.5.1. Contribuciones	17
1.5.2. Objetivos	18
1.6. Estructura del Trabajo	19
2. Problemas de Satisfacción de Restricciones: Estado del Arte	21
2.1. Generalidades	21
2.2. Definiciones	23
2.2.1. Notación	26
2.2.2. Restricciones	27
2.2.3. Grafo de Restricciones	29
2.2.4. Árbol de Búsqueda	31
2.3. Técnicas de Consistencia	33

2.3.1.	Nodo-Consistencia	34
2.3.2.	Arco-Consistencia	36
2.3.3.	Arco Consistencia Generalizada	60
2.3.4.	Arco-consistencia direccional	61
2.3.5.	Consistencia de Senda (Path-consistencia)	61
2.3.6.	Consistencias Singulares	62
2.3.7.	Consistencias Inversas	62
2.3.8.	Consistencia de borde	63
2.4.	Técnicas de Búsqueda	63
2.4.1.	Genera y Prueba	65
2.4.2.	Backtracking Cronológico	65
2.4.3.	Técnicas con enfoque Look-Back	67
2.4.4.	Técnicas con enfoque Look-Ahead	69
2.4.5.	Mantenimiento de la Arco-consistencia	71
2.5.	Heurísticas	73
2.5.1.	Heurísticas de Ordenación de Variables	73
2.5.2.	Heurísticas de Ordenación de Valores	76
2.5.3.	Heurística de Ordenación de Restricciones	77
2.6.	Normalización de un CSP no-normalizado	80
2.7.	Conclusiones	81
3.	Algoritmos de arco-consistencia	83
3.1.	AC3-OP	84
3.2.	AC3-NN	88
3.3.	AC4-OP	89
3.4.	AC4-OPNN	95
3.5.	AC2001-OP	102
3.6.	Conclusiones	104
4.	Algoritmos de 2-Consistencia	105
4.1.	2-C3	107
4.2.	2-C3OP	109
4.3.	2-C3OPL	115
4.4.	2-C4	119
4.5.	2-C6	125
4.6.	AC3NH	128
4.7.	Conclusiones	133
5.	Algoritmos de Búsqueda	135
5.1.	Introducción	135
5.2.	Algoritmo BLS: Loop-Back Last Search	137

5.3.	Algoritmo SchTrains	146
5.4.	Conclusiones	153
6.	Resultados experimentales	155
6.1.	Problemas aleatorios	156
6.1.1.	Problemas aleatorios normalizados	156
6.1.2.	Problemas aleatorios no-normalizados	166
6.2.	Problemas benchmarks	184
6.2.1.	Problema de las palomas	184
6.2.2.	Extensión de los problemas Pigeons	189
6.3.	Conclusiones	200
7.	Aplicación a Problemas Reales	201
7.1.	Problema de asignación de horarios ferroviarios	202
7.1.1.	Notación	204
7.1.2.	Formulación CSP para el problema de asignación de horarios ferroviarios	205
7.2.	Resultados experimentales	208
7.2.1.	Evaluación de técnicas de consistencia	211
7.2.2.	Evaluación de técnicas de búsqueda	219
7.3.	Conclusiones	222
8.	Modelización y resolución vía CSP a problemas de Planificación y Scheduling	223
8.1.	Introducción	223
8.2.	Planificación POCL	226
8.3.	Métodos generales de solución en la planificación temporal POCL	228
8.4.	Expresividad del lenguaje de modelado	230
8.5.	Formulación CSP en Planificación POCL para problemas $P_{P\&S}$	232
8.5.1.	Variables y Dominios	233
8.5.2.	Restricciones I: Generales	236
8.5.3.	Restricciones II: Situaciones de Bifurcación	238
8.5.4.	Heurísticas	240
8.6.	ClassP: una arquitectura para problemas $P_{P\&S}$	241
8.7.	Ejemplo de aplicación	243
8.8.	Conclusiones	253
9.	Conclusiones y Trabajos Futuros	255
9.1.	Contribuciones destacadas	255
9.2.	Líneas Futuras de Desarrollo	258
9.3.	Publicaciones Relacionadas con la Tesis Doctoral	259

A. Resultados de la evaluación del lenguaje de modelado	263
A.1. Introducción	263
A.2. Dominio ad hoc: Adaptaplan	264
A.3. Dominio DriverLogs	264
A.4. Dominio Rovers	266
A.5. Dominio Satellite	270
A.6. Dominio ad hoc: MAS-Depots	286
Bibliografía	291