



Generador de Planificaciones Conjuntas para Cuadrante de Rotación de los Conductores de Autobuses

Eva M. Almansa Aránega

Dept. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Granada
Granada, España
Eva.M.Almansa@gmail.com

Samuel Lopéz Liñán

Dept. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Granada
Granada, España
samusanlzl@gmail.com

Francisco José Rodríguez Serrano

R&D Coordinator
SHS Consultores S.L.
Sevilla, España
fjrodriguez@shsconsultores.es

José Manuel Benítez Sánchez

Dept. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Granada
Granada, España
J.M.Benitez@decsai.ugr.es

Abstract—El Problema de Generación de Cuadrante de Rotación de los Conductores de Autobuses (PGCRCA) se refiere a la planificación del horario de trabajo de los conductores a lo largo de un determinado periodo de tiempo, como por ejemplo un año. Es un problema de naturaleza NP-duro donde habitualmente existen un número alto de restricciones a cumplir, dificultando las decisiones en cada paso de la construcción de una solución. Existen distintas propuestas de resolución de versiones simplificadas en la literatura. En este trabajo abordamos un problema real con amplia diversidad de restricciones y un número mucho mayor del recogido en las publicaciones: diferentes planificaciones que comparten recursos. Hemos desarrollado una heurística que resuelve eficazmente todos los casos reales planteados por empresas de distinto tamaño del sector. Eficacia y eficiencia de la heurística han sido evaluadas en un extenso conjunto de casos reales y se ha podido constatar las buenas propiedades computacionales del algoritmo.

Keywords—cuadrantes de rotación de conductores de autobuses; rotación acíclica; backtracking

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de la gestión de transporte de viajeros en transporte público (TP), un problema es la asignación del horario de trabajo para cada uno de sus conductores de autobuses. El horario de trabajo presenta un alto coste a la empresa. No sólo para obtener una correcta asignación de tareas se debe de tener en cuenta el convenio colectivo, sino además la equidad en el horario de cada conductor. De este modo, el reparto de tareas repercute directamente en el coste para la empresa y en la satisfacción de cada conductor.

La rotación se encuentra en distintos contextos laborales y es uno de los problemas que menos se ha tratado en la literatura académica en comparación con el problema *Cuadrante de Personal* (PCP). Su complejidad reside en la asignación de

turnos y descansos con condiciones similares dentro de un periodo determinado y su *rotación* en el siguiente periodo, según corresponda, hasta completar el tiempo de planificación.

El tipo de problema a resolver, a su vez presenta una versión distinta a todas las recogidas en la literatura, diferentes planificaciones de forma simultánea. Lo cual requiere de una propuesta de solución específica.

Un *turno* es una secuencia de tareas a lo largo de un día, el cual tiene características que lo distinguen del resto, como la franja horaria y la hora de inicio y fin. La *homogeneidad* (franja horaria) y la *continuidad* (hora de inicio y fin) se utilizan para valorar la similitud entre los turnos dentro de un periodo. Un *periodo* es el tiempo que determina el siguiente cambio de turno o descanso, puede ser una semana o más de una, a lo largo de una planificación. Una *planificación* se encuentra en un rango desde un fecha determinada y puede comprender hasta un año. Pueden existir varias planificaciones, lo que conlleva un reparto de los recursos, el cuadrante de los conductores. Cada planificación es independiente de las demás con respecto a las características que la definen, como por ejemplo, la fecha de inicialización y finalización; el tipo de turnos; o el tipo de conductores que usa. Los *tipos de conductores* difieren entre sí en la disponibilidad y/o en sus condiciones laborales. Lo cual describe una variante *acíclica* del problema de Generación de Cuadrante de Rotación de los Conductores de Autobuses (PGCRCA), resultando más compleja que la variante *cíclica*, donde no existen diferencias entre las condiciones de los conductores.

Por lo tanto, PGCRCA es considerado un problema de optimización *multi-objetivo* sobre las condiciones para la satisfacción del conductor y el coste de la empresa.

El resto del artículo está organizado de la siguiente forma. En la Sección II, se presenta la revisión bibliográfica sobre la

metodología del PGCRC. Sección III introduce el problema PGCRC. Sección IV presenta la propuesta, el planificador de rotación. Sección V proporciona distintos ejemplos con diferentes características para ilustrar la aplicación del método propuesto. Finalmente, las conclusiones se encuentran en la Sección VI.

II. ESTADO DEL ARTE

El problema de tener un alto número de restricciones implica un aumento del número de decisiones en la generación de una planificación. Por lo que para comprobar todas las posibilidades sería necesaria una búsqueda recursiva, con el añadido problema del tiempo de complejidad. En [1] define la complejidad del clásico *Problema de Satisfacción de Restricciones* (PSC) utilizando una búsqueda recursiva.

En el PGCRC, para conseguir un reparto equitativo en la carga de trabajo total hay que tener en cuenta demasiados factores. La normativa de los conductores implica no sólo las reglas de su contrato laboral, sino que también hay que considerar la rotación de los turnos y descansos. Por esta razón, podemos encontrar distintas formulaciones con diferentes modelos matemáticos y con diferentes objetivos. Una de las primeras definiciones que se pueden encontrar en la literatura, se encuentra en [2] que define el problema como un *Multi-level Bottleneck Assignment* (MBA) y demuestra que es NP-duro. Como propuesta, describe un algoritmo que resuelve de forma iterativa un conjunto de sub-problemas para obtener una solución “óptima asintóticamente”. De este modo, se puede encontrar en la literatura distintos enfoques para tratar de resolver este tipo de problema. Algunas propuestas, tales como en [3] con dos heurísticas evolutivas; y en [4] con una solución basada en la técnica *colonia de hormigas* comparada con dos técnicas, *búsqueda tabú* y *enfriamiento simulado*. Otros enfoques como, [5] divide el problema en dos etapas: primero resuelve el problema de modo *cíclico*, es decir, todos los conductores son de igual tipo, con iguales condiciones; y segundo aplica una mejora con un *algoritmo genético*.

El [6] contiene las definiciones, anotaciones, y propone una taxonomía del problema de Cuadrante de Rotación (PCR). De este modo, se puede conocer el alcance y diferencias entre todas las variantes posibles dentro del contexto del PCR. Al igual que se logra comprender la dificultad de la generación de una solución factible según qué variante estemos tratando.

Los [7] y [8] recogen revisiones bibliográficas de distintas especificaciones del PCR. Por un lado, el [7] propone resolver de forma conjunta el PCP y el PCR, basándose en otros artículos que integran los dos problemas en uno; y la regulación a la hora de asignar turnos para una mayor satisfacción de los conductores. El modelo consiste en resolver los dos problemas de forma relajada inicialmente y luego en aplicar unas *post-optimizaciones* para obtener soluciones alternativas que mejoren los resultados hasta llegar al óptimo o hasta los criterios de parada que se establezcan. La función objetivo que establecen para buscar la equidad entre los conductores, es la suma del valor absoluto de la distancia de cada turno (media de horas mensuales trabajadas) a un objetivo de número de horas mensuales. Por otro lado, el [8] en su propuesta trata conjuntamente las dos variantes del PCR:

rotación *cíclica* y *acíclica*. *Cíclica* se refiere cuando los conductores pertenecen a la misma clase y la rotación es exactamente igual en la línea de trabajo, variando únicamente la hora de inicio. *Acíclica* se refiere a que cada conductor tiene distintas condiciones por lo que existen distintos tipos de conductores.

III. CUADRANTE ROTACIÓN DE CONDUCTORES DE AUTOBUSES

La generación de cuadrantes de rotación es considerada un problema que forma parte de un área clásica (Sistema de planificación de transportes) en el campo de la investigación de operaciones en el ámbito de los sistemas de transportes. Tradicionalmente este problema se ha subdividido en varios sub-problemas debido a la complejidad del mismo. En la Fig. 1, aparecen descritos éstos y el flujo clásico de resolución de los mismos [9]). A continuación, describiremos de forma general cada uno de los problemas:

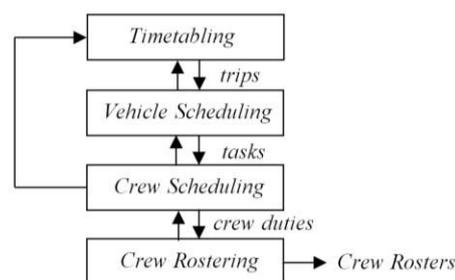


Fig. 1. Sub-problemas del sistema de planificación de transportes.

1) *Generación de horarios (Timetabling)*[10]: Partiendo de la información sobre el número de líneas y el número de servicios y/o frecuencias requeridas se generan los horarios de cada una de las líneas. Estos horarios incluyen los trayectos, cada uno de los cuales se describe con hora de salida, hora de llegada, punto de partida y punto de llegada.

2) *Planificación de vehículos (Vehicle scheduling problem)* [11]: Sobre la base de los trayectos generados en la fase anterior, el objetivo en esta etapa es optimizar el uso de los vehículos de forma que se cubran todos los trayectos definidos en la etapa anterior y se minimice el coste de operación. Este coste de operación viene definido por factores como el número de autobuses necesarios, los kilómetros recorridos, y los tiempos de espera de los vehículos entre distintos trayectos.

3) *Planificación de conductores (Crew/bus-driver scheduling Problem)* [12]: Una vez se dispone de una asignación de vehículos a los distintos trayectos es necesario asignar conductores que cubran de forma óptima las tareas diarias, esto es, la conducción desde el depósito de vehículos al comienzo de la jornada hasta la vuelta al mismo al final de la jornada. Cada una de estas tareas se puede dividir en sub-tareas que vienen definidas por estaciones o puntos en los que es posible realizar un cambio de conductor. Por tanto, el resultado final es la generación de un conjunto de sub-tareas y su asignación a un conductor. Usualmente esta planificación tiene un horizonte temporal corto, aproximadamente 24 horas.

4) *Generación de cuadrantes de rotación (Bus crew rostering problem)* [12]. En este caso se genera una planificación de los turnos de trabajo con un horizonte



temporal más amplio que para el caso anterior, por ejemplo 1 mes o 1 año, aparte de tener en cuenta ciertas restricciones como puede ser el número de horas de descanso entre dos turnos de trabajo, número de días libres, etc. El resultado final es una secuencia de asignación de tareas diarias para cada conductor que tenga en cuenta las restricciones fijadas y que consiga minimizar los costes de operación.

El PGCRCa se puede formular en los siguientes términos: los servicios a prestar están organizados en un conjunto de turnos, repartidos por días según un calendario establecido. El personal está compuesto por un conjunto de conductores, con características posiblemente distintas en cuanto a disponibilidad (ajena), y tipo de turnos que puede hacer. El objetivo es asignar cada turno a un conductor de modo que se optimicen varios criterios y se cumplan una serie de restricciones, como por ejemplo, contemplar dedicaciones en días laborables y festivos, y respetar días de descanso.

Para generar una solución se tiene una función *multi-objetivo*, con prioridad para cada criterio de optimización. Los criterios de optimización permiten generar diferentes soluciones por ser flexibles en cada aplicación. Sin embargo, las restricciones de los conductores se tienen que cumplir para considerar la solución como factible.

A. Criterios de optimización

En orden de mayor a menor preferencia:

- 1) Minimizar el número de conductores en el periodo.
- 2) Minimizar el número de conductores en la planificación.
- 3) Maximizar el número de conductores que cumplen las horas en el periodo.
- 4) Maximizar el número de conductores que cumplen las horas en las planificaciones.
- 5) Maximizar el número de descansos continuos.
- 6) Maximizar el número de asignaciones de turnos en la misma franja (mañana, tarde o noche) a lo largo del periodo, homogeneidad.
- 7) Maximizar el número de turnos con igual características en cada periodo, continuidad.
- 8) Maximizar el número de periodos que cumplan la rotación.

B. Restricciones de los conductores para ser asignables

Las restricciones que se han de cumplir son:

- Estar disponible (motivos de no estar disponible serían: vacaciones, enfermedad, baja laboral, o bien, ausencia).
- Cumplir los requisitos para ser asignable, compatibilidad con los turnos y tener un estado asignable (según indique la agenda).
- Cumplir los descansos en el periodo.
- Descanso de al menos 12 horas entre que finaliza un turno y comienza el siguiente.
- No sobrepasar las horas de trabajo indicadas en el periodo.
- Rotación de descansos en días laborables.
- Excepciones de línea.

- Mantener continuidad en los tipos de turnos durante la semana.
- Cuadrantes para una o más planificaciones.
- Se deben repartir todos los turnos durante el tiempo que dure cada planificación.

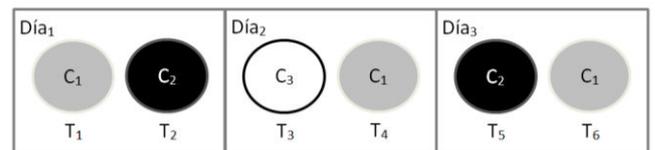
IV. PLANIFICADOR DE ROTACIÓN

Denominamos *Planificador de Rotación* (PlanRot) a la propuesta para resolver el problema PGCRCa que hemos desarrollado. PlanRot combina la aplicación de la técnica *backtracking* con distintas etapas de refinamiento (mejora) en la generación de una solución factible.

La Fig. 2 representa un ejemplo de una solución donde cada color del círculo indica una franja horaria distinta. Partimos de una lista de turnos distribuidos a lo largo de los días de la planificación. Para cada turno |T| se realiza una búsqueda de selección del conductor |C| que presente mejores condiciones.

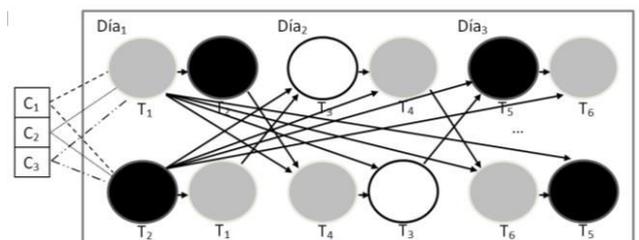
La Fig. 3 es un ejemplo de la estructura del espacio de búsqueda. Ilustra todas las posibles combinaciones que dependen del orden de los turnos y del orden de selección de los conductores. Toda decisión tomada en la asignación de un conductor a un turno repercute en la siguiente asignación. De este modo, el espacio de búsqueda se ve reducido debido a las características de cada turno cubierto, dado que restringe en las siguientes decisiones, al igual que se obtienen valoraciones diferentes en los criterios de optimización.

Fig. 2. Ejemplo de representación de la solución. Aquellos conductores (C₁, C₂ y C₃) que mejor cumplan las condiciones son asignados a cada turno (T₁, ..., T₆) de la lista que suceden a lo largo de una planificación (Día₁, Día₂ y Día₃).



Conductor	Día ₁	Día ₂	Día ₃
C ₁	T ₁	T ₄	T ₅
C ₂	T ₂	-	T ₆
C ₃	-	T ₃	-

Fig. 3. Ejemplo de estructura del espacio de búsqueda. La selección del orden los conductores y el orden en la asignación de turnos representa el espacio de búsqueda.



A. Heurística. Criterios de optimización

Empíricamente, se ha llegado a la conclusión de que la ordenación de los turnos es significativa. Por lo que, se comienza asignando los turnos por semanas completas, de lunes a domingo (o en su defecto desde el día de inicio de la planificación hasta el domingo). En cada semana se asignan primero aquellos que se encuentren en los días con mayor número de turnos y en caso de que sea igual, se comienza por los turnos del fin de semana.

Para la selección de un conductor se tienen en cuenta la valoración a partir de los criterios de optimización descritos en la Sección III. El orden de prioridad en los criterios de optimización del 1) a 5) es fijo. Los criterios 1) y 2) son los más importantes, por lo que la función objetivo se define con la función *minimizar el número de conductores*. Es decir, durante la generación de la planificación se evalúan distintas asignaciones de conductores a un turno, y se selecciona aquella que presente el mínimo número de conductores. En el caso de que existan soluciones con igual número de conductores se evalúan los criterios de siguiente orden. Se comprobarán en orden desde el 3) al 5) mientras que no resulte una asignación con mejora en algún criterio evaluado, y que por tanto, ya no será necesario evaluar con los siguientes criterios: por ejemplo, si existe una única asignación que presenta mejora con el criterio 3) ya no se evaluarán los criterios 4) y 5). Por otro lado, se permite cambiar la prioridad de los criterios de optimización 6), 7) y 8). De este modo, se pueden obtener diferentes soluciones y posteriormente seleccionar aquella que mejor se ajuste a los criterios de optimización en orden del 1) al 5).

B. Backtracking. Sistema de penalización

La técnica algorítmica *backtracking* se ha utilizado para la parte principal del problema. Se trata de una técnica exacta que localiza una solución óptima en un espacio de búsqueda cuando se representa en forma de árbol. El mecanismo de exploración que usa es una búsqueda en profundidad (post-orden). Para acelerar el proceso de búsqueda emplea una función de poda que permite descartar subárboles (soluciones parciales y todas las soluciones derivadas de esta) sin tener que explorar todo el subárbol. Así cuando un subárbol es descartado, la exploración vuelve un nivel hacia arriba en el árbol, buscando la siguiente rama a explorar. La exploración de un nodo dado termina cuando se han explorado todos sus hijos. La exploración del árbol completo termina cuando se ha explorado la raíz. Se garantiza así encontrar la solución óptima. Para que el proceso sea computacionalmente factible la definición de la función de poda es crítica. Es fundamental, encontrar una que pade cuanto más mejor. Sin embargo, considerando que el problema es de naturaleza NP-duro siempre existirán casos que obligarán a una exploración muy amplia del espacio de soluciones, con un coste computacional muy elevado.

Para formular el espacio de búsqueda (árbol de búsqueda), las n -uplas que forman el espacio de soluciones tienen tantas componentes como turnos a cubrir. Los valores que puede tomar cada componente son los posibles conductores. De esta forma, se incluyen todas las posibles asignaciones entre turnos y conductores disponibles. En cada nivel del árbol se evalúan los posibles conductores candidatos a realizarlo.

Para realizar la poda se utiliza el valor de la mejor solución encontrada que es igual al número de conductores (criterios de optimización 1) y 2)) más una pequeña penalización (criterios de optimización del 3) al 8)). Esta penalización, siempre un número racional entre 0 y 1, evalúa otros objetivos secundarios como el que la solución sea poco homogénea (una solución homogénea es cuando los conductores realizan turnos del mismo tipo, mañana o tarde durante una semana y el tiempo de trabajo de los conductores es lo más parecido posible). Estas penalizaciones están directamente relacionadas con los criterios de optimización:

- *Mayor desviación típica sobre el total de minutos de trabajo.*
- *No homogeneidad.*
- *No continuidad.*
- *Descansos no continuos.*
- *Incumplimiento de rotación.*

C. Métodos de refinamiento

Los métodos de mejora de las soluciones siguen una heurística específica basada en parte en el algoritmo *backtracking*. El recorrido en el método más complejo se basa en asignar un turno específico que no ha sido posible asignar a ningún conductor. Este método intenta asignar el turno al conductor con menos turnos, de forma que si no es posible asignarlo entonces comprueba si quitándole un turno a ese conductor sería posible asignarlo. Si así fuese, entonces se quita un turno y se asigna el turno actual. Luego se repite el mismo procedimiento con el nuevo turno sin asignar que se ha quitado. Además de éste se aplican otros 3 métodos concretos que tratan de mejorar la solución centrándose en cuestiones más específicas.

El algoritmo PlanRot realiza una búsqueda con distintos orden en los criterios de optimización en los criterios 6), 7) y 8); esto implica que resulten diversas construcciones. En muchos casos, las soluciones presentan periodos de tiempo con una incompleta continuidad, homogeneidad e incluso días sin asignar. Los *días sin asignar* aparecen en las semanas en las que no se ha completado el número máximo de turnos para asignar los días de descanso. Este fenómeno está provocado principalmente por dos motivos: uno, la rotación de los turnos y descansos; y dos, el tiempo mínimo de descanso entre que finaliza un turno y comienza el siguiente, sobre todo al rotar de domingo al lunes.

La mejora de la calidad de las soluciones se realiza mediante las siguientes etapas:

1) *Reasignación de turnos*: Los conductores que presentan mayor número días sin asignar se eliminan de la planificación. De este modo todos sus turnos quedan sin asignar. Teniendo en cuenta que, el número máximo de turnos a asignar deberá de ser igual o menor que el número de días sin asignar del resto de conductores. Mientras sea posible, se realiza el intercambio entre los turnos y los días sin asignar más compatibles.

2) *Reasignación de turnos intensiva*: A partir de la etapa previa, se determina el tipo de incompatibilidad en aquellos turnos que no hayan podido ser reasignados con el fin de



reasignarlos en algún otro conductor. Estas incompatibilidades se clasifican en los siguientes casos y se realiza el intercambio siempre que exista otro conductor con el día libre y compatible al turno a asignar:

- Un conductor tiene todos los días de trabajo asignados.
- Franja horaria.
- Rotación de descansos.

3) *Reasignación de descansos*: Recorre cada semana e identifica los conductores con descansos discontinuos. Una vez localizados, realiza un nuevo recorrido para intercambiar entre los conductores identificados los días de descanso. Para realizar el intercambio, al menos tiene que beneficiar a un conductor por conseguir los días de descanso continuos.

4) *Reasignación de turnos no homogéneos*: Recorre cada día y obtiene los turnos no homogéneos de cada conductor y realiza intercambio entre otro conductor con turno no homogéneo. Se selecciona la mejor combinación de intercambio entre turnos no homogéneos.

V. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Se ha aplicado PlanRot sobre casos reales planteados por empresas. Estos casos difieren entre sí en el tamaño, como por ejemplo, número de turnos; número de semanas; tipos de conductores; o número de planificaciones.

La TABLA I. muestra la descripción de cada caso: característica más descriptiva del caso real; el número de planificaciones a resolver; el número de semanas del cuadrante; el número de rotaciones de turnos por periodo; y las rotaciones por semanas en los descansos en días laborables. Los casos de prueba se encuentran ordenados de menor a mayor complejidad.

La TABLA II. contiene los resultados de las soluciones obtenidas comparadas con las soluciones óptimas de cada caso; y el computo de procesamiento en segundos. El número óptimo de conductores se ha obtenido analizando las posibles combinaciones. Asimismo, el algoritmo PlanRot encuentra en todos los casos una solución óptima con el mínimo número de conductores necesario. En general, los casos de prueba que necesitan menos de 10 segundos para obtener una respuesta, son aquellos los que sólo utilizan el método heurístico con los criterios de optimización. El resto presentan mayor tiempo de cómputo por ser necesario aplicar el sistema de refinamiento, con un máximo de menos de 2 minutos.

TABLA I. INFORMACIÓN DE LOS CASOS REALES

Caso	Descripción	Plan	Semanas	Rotación turnos	Rotación descansos
1	Asignación	1	2	-	-
2	2 tipos de días: laborable y no	1	1	-	-
3	2 tipos de conductores	1	1	-	-
4	Comienzo a mitad de la semana, 15 días	1	3	-	-

Caso	Descripción	Plan	Semanas	Rotación turnos	Rotación descansos
5	Rotación descansos	1	2	-	1
6	Agenda conductores	1	1	-	-
7	1 tipo de día	1	4	2	1
8	2 tipos de días	1	4	2	1
9	Comienzo a mitad de la semana, 15 días	1	3	1	-
10	2 tipos días, 2 tipos conductores	1	4	1	1
11	3 franjas horarias	1	2	1	-
12	2 planificaciones	2	1	-	-
13	Larga duración	1	18	1	2
14	Año completo	1	52	1	2
15	3 tipos de conductor	1	2	1	1
16	3 planificaciones	3	2	1	1
17	4 planificaciones	4	2	1	1
18	30 semanas	1	30	1	2
19	40 semanas	1	30	1	2
20	50 semanas	1	50	1	1
21	Distintos periodos (2, 3 y 4 semanas)	3	30	1	1

TABLA II. SOLUCIONES

Nº	Nº óptimo conductores	PlanRot	Tiempo (seg)
1	10	10	5.914
2	9	9	4.506
3	10	10	9.667
4	10	10	11.874
5	10	10	8.432
6	11	11	7.111
7	10	10	9.469
8	9	9	8.533
9	8	8	9.142
10	8	8	4.285
11	13	13	6.386
12	16	16	5.722
13	10	10	24.787
14	18	18	30.895
15	10	10	5.144

Nº	Nº óptimo conductores	PlanRot	Tiempo (seg)
16	20	20	10.054
17	30	30	7.164
18	10	10	63.492
19	10	10	83.022
21	10	10	101.888

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos abordado el problema PGCRCRCA. Se trata de una variante más compleja de un problema de naturaleza NP-duro. La versión estudiada considera distintos tipos de conductores y varias planificaciones simultáneamente. Para resolverlo de forma eficaz hemos propuesto una heurística basada en *backtracking* que combina distintos métodos de refinamiento. La evaluación experimental permite comprobar la eficacia y eficiencia de la propuesta sobre un nutrido conjunto de casos reales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos del Ministerio de Economía y Competitividad TIN2016-81113-R y de Excelencia de la Junta de Andalucía, P12-TIC-2958.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Marek, Victor W., y Jeffrey B. Rummel. "The complexity of recursive constraint satisfaction problems." *Annals of Pure and Applied Logic* 161 (2009): 447-457.
- [2] Carraresi, P., y G. Gallo. "A multi-level bottleneck assignment approach to the bus drivers rostering problem." *European Journal of Operational Research* 16 (1984): 163-173.
- [3] Xie, Lin, "Metaheuristics approach for solving multi-objective crew rostering problem in public transit," 2013.
- [4] Moz, Margarida, Ana Respcio, y Margarida Vaz Pato, "Bi-objective evolutionary heuristics for bus driver rostering," *Public Transport* (Springer Nature) 1 (aug 2009): 189-210.
- [5] Ma, Jihui, Tao Liu, y Wenyi Zhang, "A Genetic Algorithm Approach to the Balanced Bus Crew Rostering Problem," *Journal of Traffic and Logistics Engineering Vol 2* (2014).
- [6] Ernst, A. T., H. Jiang, M. Krishnamoorthy, y D. Sier, "Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models," *European Journal of Operational Research* (Elsevier BV) 153 (feb 2004): 3-27.
- [7] Valdes, Vera, y Victor Andres, "Integrating Crew Scheduling and Rostering Problems," Ph.D. dissertation, alma, 2010.
- [8] Xie, Lin, y Leena Suhl, "Cyclic and non-cyclic crew rostering problems in public bus transit.," *{OR} Spectrum* (Springer Nature) 37 (apr 2014): 99-136.
- [9] Freling, R., "Models and Techniques for Integrating Vehicle and Crew Scheduling". Ph.D. thesis, Tinbergen Institute, Erasmus University Rotterdam (1997).
- [10] Ibarra-Rojas, Omar J., y Yasmin A. Rios-Solis. "Synchronization of bus timetabling." *Transportation Research Part B: Methodological* 46 (2012): 599-614.
- [11] Park, Yang-Byung. "A hybrid genetic algorithm for the vehicle scheduling problem with due times and time deadlines." *International Journal of Production Economics* 73 (2001): 175-188.
- [12] Ma, Ji Hui, Tao Liu, y Wei Guan. "Solving Balanced Bus Crew Rostering Problem with Genetic Algorithm." *Sustainable Cities Development and Environment Protection*. Trans Tech Publications, 2013. 2070-2074.