El problema *Dial–a–Ride* y sus variantes

Erick Cervantes–Mendieta[1], M. Angélica Salazar–Aguilar[1]*
[1]Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, México.
**erick.cervantesmnd@uanl.edu.mx*

***Área de participación**: Ingeniería Industrial*

Resumen

El problema Dial–a–Ride (DARP) consiste en diseñar rutas de vehículos y programar el traslado de usuarios que demandan servicio desde un punto de origen a un destino. Su principal aplicación se encuentra en trasladar personas de la tercera edad o personas con alguna discapacidad. En el problema clásico, un conjunto de clientes realiza una solicitud de servicio, por lo que estos deben ser recogidos en algún punto llamado origen y entregados en algún punto denominado destino. Por lo general los clientes establecen algunos horarios en los que desean ser transportados, por lo que el DARP puede ser definido como una combinación de un problema de ruteo de vehículos (VRP) y un problema de planificación de tareas. En este trabajo se presenta una clasificación actualizada de las variantes del DARP y algunas de las referencias más relevantes que han sido estudiadas en la literatura.

***Palabras clave**: optimización, ruteo de vehículos, DARP.*

Abstract

Dial-a-Ride problem (DARP) consists of designing vehicle routes and schedules for users who demand service from a point of origin to a destination. The principal application is transferring the elderly or people with disabilities. In the classic problem, a set of customers makes a request for service, so these must be collected at some point called the origin and delivered at a different point called the destination. Customers usually set some schedules in which they want to be transported, so DARP can be defined as a combination of a vehicle routing problem (VRP) and a scheduling problem. This paper presents an updated classification of DARP variants and some of the most relevant references that have been studied in the literature.

***Key words**: optimization, vehicle routing problem, dial-a-ride problem.*

Introducción

Dial–a–Ride (DAR) es un servicio de transportación utilizado en diferentes países (principalmente en Estados Unidos) con la característica de que las personas deben hacer una reservación adelantada por teléfono. Típicamente es utilizado para trasladar personas de la tercera edad y/o personas con alguna discapacidad. Si bien, este tipo de servicio no es exclusivo, la idea se basa en tener viajes compartidos, los cuales se proporcionan durante las mismas horas de operación que el servicio de autobuses existente en cualquier área. Este servicio se asemeja al servicio de paratránsito (transporte público para personas con discapacidades) o taxi en su ejecución.

Así, las empresas que ofrecen este tipo de servicio se enfrentan al problema de diseñar rutas y horarios de sus vehículos para satisfacer la demanda de un número finito de usuarios, cuyas solicitudes de puntos de recogida y entrega han sido especificados, a este tipo de problema se le conoce como el Problema de *Dial–a–Ride* (DARP). Para una definición formal del problema, modelación matemática, enfoques de investigación y otros problemas relacionados con la generación de rutas de vehículos para el transporte de personas, se recomienda el trabajo de Doerner y Salazar [3]. Dichos autores empatan la idea del DARP a un problema de ruteo de vehículos con recogida y entrega y ventanas de tiempo (VRPPDTW) (ver Dumas et al. [6]), sin embargo, este tipo de problema es comúnmente asociado al transporte de mercancías y no al transporte de personas, en donde un servicio de alta calidad es obligatorio.

La primera revisión a este tipo de problemas se debe a Oxley [2], en su trabajo demuestra la viabilidad de un servicio de transporte público bajo demanda, partiendo del análisis de la primera existencia de este servicio ofrecido en Mansfield, Ohio, en los Estados Unidos en 1970, además, se plantea el surgimiento de nuevos esquemas similares en otros lugares.

Para una reseña de los modelos y algoritmos de solución desarrollados hasta 2007, se recomienda al lector a Cordeau y Laporte [5], quienes clasifican a los DARPs en variantes i) *estáticas* o *dinámicas* y ii) si se utiliza *un* o *múltiples vehículos*.

Por otra parte, Molenbruch et al. [4] además de presentar una tipología de los DARPs, presentan en su trabajo una amplia gama de métodos de solución propuestos en la literatura, así como detalles completos de las características del problema en cada documento analizado, sin embargo, su clasificación limita a tres características que distingue múltiples categorías de características de la vida real: i) *diseño de servicio avanzado* (heterogeneidad, propiedades de enrutamiento, especificaciones de calidad), ii) *objetivos alternativos* (un solo objetivo, múltiples objetivos), y iii) *estocástico o dinámico* (tiempos de viaje, solicitudes, comportamiento del usuario).

Otra clasificación de las diversas variantes del problema, metodologías de solución y referencias a instancias disponibles en línea, lo presentan Ho et al. [1]. Estos autores categoriza los DARPs en i) *estáticos y deterministas*, ii) *estáticos y estocásticos*, iii) *dinámicos y deterministas*, *y* iv) *dinámicos y estocásticos*, también muestran si las variantes consideran ventanas de tiempo, capacidad del vehículo, el tiempo de viaje, la duración de la ruta y si utiliza visitas selectivas, el grado de heterogeneidad de la flota (homogénea o heterogénea), el número de vehículos utilizados, la cantidad de funciones objetivo a considerar (objetivos únicos o múltiples), la cantidad de depósitos considerados y la cantidad de viajes permitidos en un solo día.

Una interesante y vasta taxonomía de los DARPs es presentada por Gökay et al. [7], en esta revisión, se consideran las restricciones del problema de estudio para categorizar diversas variantes de los DARPs: i) *estático o dinámico*, ii) *determinista o estocástico*, iii) *único o múltiple vehículo*, iv) *único o múltiples depósitos*, v) *con o sin restricciones de tiempo*, vi) *vehículos homogéneos o heterogéneos*, vii) *con o sin backhauls*, $viii$) *con o sin transferencias*, ix) *con o sin vehículos eléctricos*, x) *con o sin puntos de encuentro*, xi) *con o sin preferencias de usuario*.

Como pasa comúnmente en el área de la Optimización, los DARPs están motivados por aplicaciones de la vida real, cada una de las diferentes variantes presentadas en la literatura aborda diferentes características que conducen a ciertas limitaciones u objetivos específicos. Conforme el tiempo avanza más variantes del DARP son propuestas, es por esto que el objetivo de este trabajo es presentar la mayor cantidad de variantes de los DARPs abordadas en la literatura desde 1980 hasta 2021, aunado a referencias de trabajos que aporten el entendimiento de dichas variantes.

Con esto se pretende abrir aún más el panorama a este tipo de problemas, para que investigadores interesados en el área analicen la pertinencia de nuevas variantes y/o combinaciones de estas.

El resto de este trabajo está organizado de la siguiente manera: se presenta una *descripción del problema* base, seguido de una *clasificación* de las diferentes variantes encontradas en la literatura, finalmente se presentan las *conclusiones* generales.

Descripción del problema

Según Doerner y Salazar [3], el DARP es una combinación de un problema de ruteo de vehículos y un problema de planificación de tareas. El primero consiste en diseñar las rutas de los vehículos, asignar la solicitud de cada cliente a un vehículo y determinar la secuencia de las visitas. El segundo consiste en decidir la hora a la que cada vehículo inicia el servicio en cada ubicación. Ambos problemas deben integrarse en uno sólo cuando se busca dar solución a un DARP.

Lo ideal en este tipo de problemas es que un *vehículo* traslade una gran cantidad de pasajeros con un servicio personalizado. En algunas aplicaciones algunos clientes pueden ser transportados por dos o más vehículos, uno tras otro unidos por un punto de transferencia, aunque en la mayoría de los casos solo se asigna un vehículo para atender la solicitud de cada cliente.

Es importante mencionar que el problema empieza cuando un conjunto de *clientes* realiza una solicitud de servicio, por lo que, como puede verse en la Figura **1**, cada uno de ellos requiere ser *recogido* en alguna ubicación determinada llamada *origen*, para luego ser *entregado* en otra ubicación diferente, denominada *destino*, por lo general los clientes imponen algunos *tiempos* en los que desean ser transportados por los vehículos que salen de un depósito.



Figura 1. Elementos de un DARP: un depósito, los orígenes $(+)$ y los destinos $(-)$ de los clientes (cinco en este caso) que requieren un servicio.

Luego, el problema puede verse como un *problema de optimización*, en dónde se desea asignar un vehículo o un conjunto de vehículos a cada una de las solicitudes de cada cliente, por lo que es necesario diseñar las rutas de los vehículos para que se satisfaga la demanda de los clientes en los límites de tiempo establecidos a un costo mínimo. Por lo general, este costo refleja la distancia total del viaje realizado por los vehículos utilizados y la satisfacción del cliente.

En el DARP, al ser una variante del VRP, se deben satisfacer algunas restricciones cuando se determinan las rutas que debe(n) seguir el(los) vehículo(s), como lo es que cada solicitud debe ser atendida una sola vez, los vehículos deben regresar al depósito de donde salió, por lo general el servicio de recogida y entrega a una solicitud es atendida por un mismo vehículo, una solicitud debe ser recogida antes de ser entregada, no se puede exceder la capacidad del vehículo, existen intervalos de tiempo para recoger y entregar a cada clientes, el tiempo que un usuario pasa en un vehículo, es decir, la diferencia entre las horas programadas de recogida y entrega.

Ho et al. [1] indican que el objetivo del problema depende mucho de la aplicación. Algunos objetivos típicos adoptan la perspectiva del operador y/o la perspectiva de los clientes. Sin embargo, los objetivos desde las dos perspectivas pueden estar en conflicto entre sí: es posible que sea necesario mejorar la experiencia de los clientes (por ejemplo, reducir el tiempo total de viaje y el tiempo de espera) o aumentar el costo operativo (por ejemplo, contratar más vehículos).

Se recomienda al lector revisar el trabajo de Cordeau [10] para el análisis del modelo matemático básico del DARP, el cual ha sido estudiado extensamente por otros autores y ha formado la base para otras extensiones de problemas hasta la fecha.

Clasificación del DARP

Se utilizó Google Scholar (https://scholar.google.es/) para la búsqueda de trabajos en inglés con las palabras clave: *dial-a-ride*, DARP variants. Luego, se realizó una búsqueda exhaustiva para encontrar en los resúmenes de los documentos las diferentes variantes que incluían la palabra DARP. Aunque existen bastantes trabajos para una sola variante, se trató de incluir a los autores que la propusieron originalmente, y para los demás, se incluyeron los trabajos más relevantes que describen en general las características de dicha variante.

DARP dinámico (D-DARP)

Los servicios *Dial–a–Ride* pueden operar de acuerdo con un modo estático o dinámico (Cordeau y Laporte [5]). En el caso estático, todas las solicitudes de transporte se conocen de antemano antes planificar todas las rutas, mientras que, en el caso dinámico, las solicitudes se revelan gradualmente a lo largo del día y las rutas de los vehículos se ajustan en tiempo real para satisfacer la demanda.

Una definición más precisa del **DARP *estático*** lo hace Psaraftis [9], en su trabajo describe que cada cliente solicita un servicio vía telefónica, con lo que se puede ir formando una lista cronológica de solicitudes a cubrir, suponiendo que en un tiempo $t = 0$, un solo vehículo está disponible, y su tarea, conforme avanza el tiempo, es cubrir la demanda de los clientes que aparecen únicamente en la lista de solicitudes. También el autor analiza el caso del DDARP, para el cual cada nueva solicitud que hace un cliente es automáticamente elegible para su consideración en el momento en que se genera, por lo que cada que aparece una solicitud de este tipo, la entrada del problema se modifica, al igual que la solución al problema. Aunque debe resaltarse que esta nueva modificación no puede afectar la primera parte de la ruta, pero por obvias razones, si afectará la parte restante. Así, el procedimiento de solución en el caso dinámico debe estar activo siempre, ya que nuevas entradas pueden ir anexándose al problema.

DARP estocástico (S-DARP)

Si bien la mayoría de los DARPs presentados en la literatura son ***deterministas*** (es decir, se asume que toda la información necesaria para resolver el problema se conoce con certeza), en la práctica, algunos de los parámetros están sujetos a incertidumbre, como, por ejemplo, los tiempos de transporte, la disponibilidad de los vehículos, etc., uno de estos casos lo analizan Chassaing et al. [11]. Los autores proponen al SDARP como una variante similar al DARP estático, con la diferencia que los tiempos de transporte no son constantes y se modelan como una variable aleatoria positiva, esto debido a que existen problemas como el atasco, el mantenimiento de las carreteras o las condiciones meteorológicas que pudieran presentarse. Para más información y trabajos relacionados con estas variantes ver Ho et al. [1].

DARP con un único vehículo (1-DARP)

Psaraftis [12] indica que en la práctica es difícil tener un problema DARP con un solo vehículo, sin embargo, los algoritmos utilizados para solucionar este tipo de problemas pueden ser utilizados como subrutinas para los problemas en los que se tenga una flota de vehículos. Tal es el caso del trabajo presentado por Psaraftis [9], en el cual la versión del problema a resolver involucra un conjunto de clientes que solicitan un *servicio inmediato* (lo más pronto posible) desde orígenes y destinos distintos, cuyo servicio será cubierto por un único vehículo, cuya ubicación inicial es conocida (por ejemplo, un depósito). Algunas limitantes de este tipo de problemas son la capacidad del vehículo y que los tiempos de servicio algunas veces podrían despreciarse, ya que no importa a qué cliente se le dará servicio primero.

DARP con múltiples vehículos (m-DARP)

De la variante anterior, tenemos la noción de que un cliente llama a los servicios *Dial–a–Ride* para solicitar transporte desde y hacia una ubicación, y la compañía que brinda ese servicio le dice al cliente cuándo irá una camioneta o un automóvil a recogerlo. El objetivo entonces para la empresa es diseñar un conjunto de rutas vehiculares de costo mínimo capaces de atender todas las solicitudes. Según Maalouf et al. [13], puede haber la posibilidad de que un solo vehículo no sea suficiente para satisfacer la demanda de sus clientes, por lo que la compañía debe contar una *flota de vehículos* disponible, que serán asignados a todos los clientes de tal forma que se cumplan los tiempos de recogida y entrega estipulados para cada cliente. Para una explicación más extensa de los trabajos que han abordado esta variante, se recomienda al lector el trabajo de Cordeau y Laporte [5].

DARP con vehículos heterogéneos (H-DARP)

La mayoría de los estudios sobre el DARP asumen la disponibilidad de una flota ***vehículos homogéneos*** basados en un solo depósito. Sin embargo, una propuesta de introducción de vehículos heterogéneos la hace Parragh [14], su trabajo está motivado por las observaciones realizadas en la Cruz Roja Austriaca (ARC) para el transporte de pacientes. La ARC dispone de dos tipos *diferentes* de vehículos, cada tipo ofrece diferentes

capacidades para cuatro modos de transporte (asiento del personal, asiento del paciente, camilla y lugar para silla de ruedas).

Otra interesante propuesta la presentan Tellez et al. [15], en dicha investigación se propone que la capacidad del vehículo dependa de una configuración elegida, esta configuración se caracteriza por un vector de capacidad multidimensional que indica el número máximo de usuarios de cada tipo permitidos en el vehículo. La reconfiguración del vehículo es tan sencilla como plegar o desplegar un asiento plegable o varios, lo que hace que la capacidad del vehículo se modifique, según las necesidades de los clientes, ya que se supone este tipo de servicio es especialmente para personas mayores o con alguna discapacidad.

DARP con ventanas de tiempo (DARP-TW)

En el trabajo de Psaraftis [12], se indica que cada que un cliente requiere un servicio de transporte, se deben especificar los tiempos de recogida y entrega, lo que en los VRPs se les conoce como ventanas de tiempo, consideradas generalmente como intervalos. Se hace notar dos notas importantes en dicho trabajo: la primera es que si el vehículo llega a cualquier punto (origen o destino) *después* que el límite superior o la restricción de tiempo en ese punto, entonces la ruta y la calendarización del vehículo son no factibles, la segunda es que si el vehículo llega a cualquier punto (origen o destino) *antes* del límite inferior de la restricción de tiempo en ese punto, el vehículo permanecerá inactivo en ese punto y partirá inmediatamente se alcance el valor establecido para el tiempo.

Por otra parte, Doerner [3] implica que las restricciones de tiempo típicas dadas por los clientes son las llamadas restricciones de ventanas de tiempo, las cuales consisten en imponer un tiempo de recogida deseado dentro de un intervalo y un tiempo de entrega deseado dentro de otro intervalo para cada cliente, el autor enfatiza que estos intervalos pueden crear instancias infactibles (no cumplen con todas las restricciones del problema), especialmente en los casos para los cuales un cliente especifica un tiempo máximo de entrega deseado y un tiempo mínimo de recolección deseado.

DARP con múltiples depósitos (MD-DARP)

Por lo general, las empresas que ofrecen un servicio de transportación utilizan un ***solo depósito*** en donde su(s) vehículo(s) esperan para poder dar servicio, pero en algunos problemas los vehículos pueden estar estacionados en diferentes depósitos, esto depende mucho del área geográfica en donde se esté dando el servicio de transportación. En el MD-DARP, como lo menciona Braekers et al. [16], cada vehículo debe regresar a su depósito original al final de su ruta, lo que indica que su jornada de trabajo ha concluido o simplemente que está disponible para servir de nuevo.

DARP con transferencias (DARP-T)

Esta variante fue propuesta por Masson et al. [17], en su investigación, el DARP-T consiste en definir un conjunto de rutas que satisfacen las solicitudes de transporte de los clientes entre un punto de recogida y un conjunto de puntos de entrega, en presencia del tiempo de viaje, como sucede en el DARP típico, sin embargo, en este caso los usuarios pueden *cambiar* de vehículo durante el viaje. Este cambio de vehículo, denominado transferencia, se realiza en ubicaciones específicas denominadas puntos de transferencia. En ese trabajo, se muestra que el uso de puntos de transferencia en la mayoría de los casos puede generar ahorros significativos tanto para aplicaciones de la vida real como para instancias del DARP.

Otra propuesta más reciente es la de Pierotti y Theresia [18], en su documento las transferencias se utilizan para cambiar diferentes modos de transporte dentro de un aeropuerto o entre el transporte público y privado. Los autores definen que permitir transferencias significa que cada pasajero puede ser recogido por un vehículo, llevado a un lugar determinado, dejado y recogido por otro vehículo, esto puede suceder en cualquier punto (según su modelación propuesta), por lo que este procedimiento puede repetirse varias veces.

DARP con solicitudes divididas y ganancias (DARP-SRP)

Parragh et al. [19] proponen una variante del DARP en donde se consideran los ingresos, se tiene un número determinado de vehículos, cada uno de una capacidad determinada, además, para cada uno de estos vehículos se especifica un límite de duración de la ruta que corresponde a la duración máxima del período de servicio del

conductor, además se asume que el número de personas en una solicitud puede ser como máximo igual a la capacidad de los vehículos a utilizar. Lo más importante de esta propuesta es que las solicitudes de grupo pueden *dividirse*; es decir, una solicitud de transporte determinada puede ser atendida por más de un vehículo o por varios viajes del mismo vehículo, lo que indica que un nodo origen pueda ser visitado varias veces hasta que se satisfaga la demanda de recogida en ese punto. Se supone que los tiempos de servicio proporcionados son constantes, es decir, son independientes del número de personas que se recogen o se dejan (si la solicitud se divide).

DARP realista (R-DARP)

Una tendencia cuando se proponen variantes del DARP es tomar en consideración restricciones más realistas para hacer que el problema sea más práctico, Liu et al. [20] estudian un problema realista del DARP, el cual consiste en considerar simultáneamente múltiples viajes, vehículos heterogéneos, múltiples tipos de solicitudes, capacidad configurable del vehículo y planificación de mano de obra, esta propuesta asemeja bastante a muchos problemas de la vida cotidiana, ya que trata de incluir muchos aspectos a considerar simultáneamente.

DARP con vehículos eléctricos y estaciones de cambio de batería (DARP-EV)

Otra variante del DARP que utiliza vehículos eléctricos es analizada por Masmoudi et al. [21], dicho DARP es considerado DARP-EV y se refiere al problema de programar de una flota de vehículos eléctricos para atender un conjunto de solicitudes de transporte preestablecidas durante un determinado horizonte de planificación. Además, los vehículos eléctricos se pueden recargar intercambiando sus baterías por baterías cargadas de cualquier estación de intercambio de baterías.

DARP con vehículos eléctricos autónomos (e-ADARP)

En comparación con el DARP clásico y el propuesto por Masmoudi et al. [21], el e-ADARP estudiado por Bongiovanni et al. [22] considera el uso de vehículos eléctricos autónomos, por lo que este tipo de problema tiene la característica de que se debe gestionar el uso de la batería, existen paradas intermedias para recargar el vehículo, los vehículos pueden ser heterogéneos en términos de capacidad e inventarios iniciales de baterías, los vehículos pueden estar ubicados inicialmente en diferentes depósitos, los vehículos pueden regresar a un conjunto de depósitos opcionales, y no se aplican restricciones sobre la duración máxima de la ruta.

DARP con dinero como incentivo (DARP-M)

Trasladar personas en un viaje compartido (como lo es en un taxi) es una aplicación muy utilizada en diferentes localidades, y más si las distancias de traslado son grandes, por lo que Santos y Xavier [23] abordan esta variante del DARP como sigue: hay un conjunto de pasajeros que necesitan viajar desde un origen a un punto diferente llamado destino, por lo que existe una flota de vehículos disponible, cada uno con un origen y un destino establecidos. Los pasajeros tienen limitaciones que deben tenerse en cuenta, por ejemplo, una primera hora de salida, una última hora de llegada, además la cantidad de pasajeros que viajarán juntos determina el valor máximo que están dispuestos a pagar por el viaje. Los vehículos tienen una capacidad máxima y un precio por kilómetro, el costo del viaje para cada pasajero debe calcularse de manera justa, así, el costo de cada parte de la ruta se divide en partes iguales entre todos los pasajeros a bordo.

El problema es calcular rutas para cada vehículo, donde cada ruta es una secuencia de puntos de origen y destino, que satisface todas las restricciones y maximiza una función objetivo de criterios múltiples. La función objetivo consiste en maximizar el número de solicitudes atendidas y minimizar el valor total pagado por todos los pasajeros.

DARP multicriterio (MC-DARP)

El DARP tiene varias variantes que involucran diferentes restricciones y funciones objetivos. Es común observar que en la vida cotidiana varios objetivos pueden estar en conflicto entre sí, por lo que varios trabajos pueden incluir *más de un objetivo* que deben optimizarse al mismo tiempo en su análisis, Atahran et al. [24] proponen una variante con tres objetivos: el costo para el operador de transporte, la calidad del servicio para los usuarios y el impacto en el medio ambiente.

DARP integrado (I-DARP)

Esta variante propuesta por Häll et al. [25], trata en diseñar rutas y establecer los horarios de los vehículos como sucede en el DARP clásico, con la diferencia de que cada solicitud en alguna parte de su viaje puede ser realizada por algún servicio de ruta fija, por lo que el diseño de las rutas fijas se conoce, y lo que se desea es tratar de utilizar lo mejor posible esos servicios.

DARP consistente en el tiempo (TC-DARP)

Una variante que integra consideraciones de la vida real, como lo son los tiempos máximos de viaje y la consistencia del tiempo de servicio es propuesta por Tellez et al. [26], en dicha investigación, se encontró que un bajo porcentaje de pasajeros tienen un horario completo y regular durante toda la semana, y que el mayor porcentaje de pasajeros tiene una demanda regular, ya que llega a presentar variaciones en su planificación debido a que cambian los puntos de recogida o destino debido a factores personales, como lo es asistir a una cita médica. Por lo que no se puede suponer una planificación de transporte coherente con el tiempo debido a las numerosas variaciones en las demandas de transporte durante toda la semana. La formulación DARP se extiende a lo largo de *varios períodos* y cada período tiene un conjunto conocido de solicitudes de transporte de los pasajeros.

DARP con viajes múltiples (MT-DARP)

Zhang et al. [8] proponen una variante al problema para servicios de transporte en ambulancia para personas discapacitadas llamada MTDARP, la idea planteada es que cada ambulancia disponible debe completar *varias rutas cortas* en un período de trabajo. Se considera un tiempo en el cual las ambulancias deben ser desinfectadas para prevenir la propagación de alguna enfermedad. De igual forma, se deben considerar en la planificación los tiempos para el almuerzo de los conductores y de los asistentes, por lo que la programación de múltiples viajes y todas estas pausas hacen que el problema sea complejo.

Conclusiones

En este trabajo se presentaron algunas referencias a documentos que abordan al DARP, se proporciona una taxonomía de las diferentes variantes, incluyendo algunas que no se habían mencionado en las reseñas encontradas en la literatura.

El problema sigue llamando la atención a investigadores que, con la creciente diversidad de requisitos, limitaciones y características de situaciones reales, permiten visualizar nuevas tendencias para proponer nuevos esquemas que se derivan del problema clásico.

Agradecimientos

Al Programa de Posgrado en Ingeniería de Sistemas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Referencias

[1] S. C. Ho, W. Y. Szeto, Y.-H. Kuo, J. M. Y. Leung, M. Petering, and T. W. H. Tou, “A survey of dial-a-ride problems: Literature review and recent developments,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 111, pp. 395–421, May. 2018.

[2] P. Oxley, “Dial/a/ride: a review,” Transportation Planning and Technology, vol. 6, no. 3, pp. 141–148, Jan. 1980.

[3] K. F. Doerner and J.-J. Salazar-González, “Chapter 7: Pickup-and-Delivery Problems for People Transportation,” Vehicle Routing, pp. 193–212, Nov. 2014.

[4] Y. Molenbruch, K. Braekers, and A. Caris, “Typology and literature review for dial-a-ride problems,” Annals of Operations Research, vol. 259, no. 1–2, pp. 295–325, May. 2017.

[5] J.-F. Cordeau and G. Laporte, “The dial-a-ride problem: models and algorithms,” Annals of Operations Research, vol. 153, no. 1, pp. 29–46, May. 2007.

[6] Y. Dumas, J. Desrosiers, and F. Soumis, “The pickup and delivery problem with time windows,” European Journal of Operational Research, vol. 54, no. 1, pp. 7–22, Sep. 1991.

[7] S. Gökay, A. Heuvels, and K.-H. Krempels, “A High-level Category Survey of Dial-a-Ride Problems,” Proceedings of the 5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems, 2019.
[8] Z. Zhang, M. Liu, and A. Lim, “A memetic algorithm for the patient transportation problem,” Omega, vol. 54, pp. 60–71, Jul. 2015.
[9] H. N. Psaraftis, “A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-a-Ride Problem,” Transportation Science, vol. 14, no. 2, pp. 130–154, May 1980.
[10] J.-F. Cordeau, “A Branch-and-Cut Algorithm for the Dial-a-Ride Problem,” Operations Research, vol. 54, no. 3, pp. 573–586, Jun. 2006.
[11] M. Chassaing, G. Fleury, C. Duhamel, and P. Lacomme, “Determination of robust solutions for the DARP with variations in transportation time,” IFAC-PapersOnLine, vol. 49, no. 12, pp. 943–948, 2016.
[12] H. N. Psaraftis, “An Exact Algorithm for the Single Vehicle Many-to-Many Dial-A-Ride Problem with Time Windows,” Transportation Science, vol. 17, no. 3, pp. 351–357, Aug. 1983.
[13] M. Maalouf, C. A. MacKenzie, S. Radakrishnan, and M. Court, “A new fuzzy logic approach to capacitated dynamic Dial-a-Ride problem,” Fuzzy Sets and Systems, vol. 255, pp. 30–40, Nov. 2014.
[14] S. N. Parragh, “Introducing heterogeneous users and vehicles into models and algorithms for the dial-a-ride problem,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 19, no. 5, pp. 912–930, Aug. 2011.
[15] O. Tellez, S. Vercraene, F. Lehuédé, O. Péton, and T. Monteiro, “The fleet size and mix dial-a-ride problem with reconfigurable vehicle capacity,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 91, pp. 99–123, Jun. 2018.
[16] K. Braekers, A. Caris, and G. K. Janssens, “Exact and meta-heuristic approach for a general heterogeneous dial-a-ride problem with multiple depots,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 67, pp. 166–186, Sep. 2014.
[17] R. Masson, F. Lehuédé, and O. Péton, “The Dial-A-Ride Problem with Transfers,” Computers & Operations Research, vol. 41, pp. 12–23, Jan. 2014.
[18] J. Pierotti and J. Theresia van Essen, “MILP models for the Dial-a-ride problem with transfers,” EURO Journal on Transportation and Logistics, vol. 10, p. 100037, 2021.
[19] S. N. Parragh, J. Pinho de Sousa, and B. Almada-Lobo, “The Dial-a-Ride Problem with Split Requests and Profits,” Transportation Science, vol. 49, no. 2, pp. 311–334, May 2015.
[20] M. Liu, Z. Luo, and A. Lim, “A branch-and-cut algorithm for a realistic dial-a-ride problem,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 81, pp. 267–288, Nov. 2015.
[21] M. A. Masmoudi, M. Hosny, E. Demir, K. N. Genikomsakis, and N. Cheikhrouhou, “The dial-a-ride problem with electric vehicles and battery swapping stations,” Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 118, pp. 392–420, Oct. 2018.
[22] C. Bongiovanni, M. Kaspi, and N. Geroliminis, “The electric autonomous dial-a-ride problem,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 122, pp. 436–456, Apr. 2019.
[23] D. O. Santos and E. C. Xavier, “Taxi and Ride Sharing: A Dynamic Dial-a-Ride Problem with Money as an Incentive,” Expert Systems with Applications, vol. 42, no. 19, pp. 6728–6737, Nov. 2015.
[24] A. Atahran, C. Lenté, and V. T’kindt, “A Multicriteria Dial-a-Ride Problem with an Ecological Measure and Heterogeneous Vehicles,” Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, vol. 21, no. 5–6, pp. 279–298, Mar. 2014.
[25] C. H. Häll, H. Andersson, J. T. Lundgren, and P. Värbrand, “The Integrated Dial-a-Ride Problem,” Public Transport, vol. 1, no. 1, pp. 39–54, Nov. 2008.
[26] O. Tellez, S. Vercraene, F. Lehuédé, O. Péton, and T. Monteiro, “The time-consistent dial-a-ride problem,” Networks, Jun. 2021.