

Clasificación de los problemas de optimización de redes de transporte público

Optimization problems classification of public transport networks

Daniela Moctezuma-García ¹, *Juan Manuel Ramírez-Alcaraz ¹, Sara Sandoval-Carrillo ¹, Andrei Tchernykh

²

¹ Universidad de Colima, Av. Universidad 333, Las Víboras,
CP 28040, Colima, Colima, México.

{daniela_moctezuma, jmr Amir, sary}@ucol.mx

² CICESE-Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada,
Carr. Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas, CP 22860, Ensenada, B.C. México
{chernykh@cicese.mx}

PALABRAS CLAVE:

Ciudades inteligentes, sistemas de transporte público, clasificación, optimización multi-objetivo (MOPs), algoritmos de optimización y aproximación.

RESUMEN

Existe en la actualidad un crecimiento acelerado de las ciudades, debido principalmente a la migración de las personas buscando mejorar su calidad de vida. Esto ha provocado el surgimiento de diversas problemáticas, como por ejemplo: abastecimiento de agua y energía eléctrica, problemas de salud, alimentación, educación y contaminación, entre otros. Uno de los problemas más importantes y del cual se derivan en mayor o menor medida algunos de los antes mencionados, es el del transporte público. Desde hace varias décadas algunos investigadores han abordado esta problemática desde diferentes perspectivas y aplicando diferentes técnicas para solucionarlos y generalmente poniéndole un acrónimo particular. El presente trabajo muestra una revisión de los principales tipos de problemas de redes de transporte público abordados a lo largo de estos últimos años y busca clasificar los tipos de problemáticas abordadas. Como se puede ver, varios de los problemas planteados con diferentes nombre corresponden al mismo tipo de problema. En general, este tipo de problemas sigue teniendo un gran interés en la actualidad debido a la importancia que representa la solución de éstos.

KEYWORDS:

Smart Cities, public transport systems, clasification, multi-objective optimization (MOPs), optimization and approximation algorithms.

ABSTRACT

There is currently an accelerated growth of cities, mainly due to the migration of people seeking to improve their quality of life. This has led the emergence of various problems, such as: providing water and electricity, health problems, nutrition, education, and pollution, among others. One of the most important problems and main responsible of some aforementioned ones, is that of public transport. For several decades some researchers have approached this problem from different perspectives and applying different techniques to solve them and generally putting a particular acronym. This paper shows a review of the main types of problems of public transport networks addressed in recent years and seeks to classify the types of problems raised. As it can see, several problems with different names correspond to the same type of problem. In general, this type of problem continues to have a great interest in the present due to their solutions relevance.

1. Introducción

Hoy en día las ciudades alrededor del mundo han experimentado un incremento considerable en el número de habitantes, debido principalmente a la migración ya sea entre países, entre ciudades o de zonas rurales, buscando comúnmente una mejor calidad de vida. Los países de alto ingreso recibieron entre el 2000 y el 2015 un promedio de 4.1 millones de migrantes al año, originarios de países de un ingreso menor, se estima que entre el 2015 y el 2050 migren alrededor de 91 millones, representando el 82% del crecimiento de población en países de ingreso alto (United Nations, 2015). Regularmente, los destinos principales son las grandes ciudades, que es donde se encuentran las mejores oportunidades de trabajo y niveles económicos más altos. Debido a este incremento de población urbana, se presentan problemas de salud, alimentación, educación, contaminación, transportación, congestión vial, accidentes, entre otros, los cuales necesitan ser disminuidos para mejorar la calidad de vida de los habitantes. Para lograr esto, se ha buscado implementar soluciones basadas en TIC, las cuales han dado origen al concepto de Ciudades Inteligentes.

Una ciudad inteligente, busca aplicar las TIC a diferentes servicios como transporte, educación, seguridad, salud, etc., con el objetivo de mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Bakici define ciudad inteligente como una ciudad que conecta personas, información, objetos o elementos haciendo uso de tecnologías para crear una ciudad competitiva, innovadora y con una mayor calidad de vida (Bakici, Almirall, y Wareham, 2013). Para ser llamada alguna urbe como ciudad inteligente, además del uso de las TIC, debe tener otras características como: protección hacia la población haciendo uso de cámaras, alumbrado, patrullaje, respuesta rápida en llamadas de emergencia; que exista una planificación de tránsito para mejorar los sistemas de transporte público y evitar congestiones así como contaminación; que cuente con servicios de reciclaje, energías renovables, buena gestión de los recursos renovables; contar con infraestructura social adecuada, y una buena planificación estratégica de sus fuentes de ingresos (Inspiring Good Living, 2017).

Dentro de este conjunto de características, una muy importante y que resuelve en mayor o menor medida varios de los otros problemas que aquejan a las grandes ciudades, es la planificación de tránsito, la cual ha dado pie a un área bastante extensa denominada Sistemas

Inteligentes de Transporte (ITS, por sus siglas en inglés: Intelligent Transportation Systems).

Los ITS se definen como sistemas de control e información que hacen uso de tecnologías, con el fin de mejorar o eficientizar la movilidad de personas así como su seguridad, reducir la congestión de tráfico, y cubrir la demanda de usuarios, utilizando una gran gama de técnicas, aplicaciones tecnológicas independientes o integración de varios sistemas (Chowdhury y Sadek, 2014). La implementación de ITS tiene diferentes vertientes que dependen esencialmente del contexto o escenario en que se aplique, lo cual ha dado lugar a múltiples variantes del problema. El presente trabajo busca establecer una clasificación de tales variantes existentes actualmente.

Para optimizar la calidad del servicio de los sistemas de transporte público nos enfrentamos con diversos objetivos, como minimizar los tiempos de viaje, los costos, tamaño de la flota, así como maximizar los ingresos de los proveedores de los servicios de transporte. Frecuentemente los objetivos buscados están en conflicto, es decir, no se puede mejorar uno sin afectar el otro.

A los problemas que intentan optimizar varios objetivos al mismo tiempo se les llama Problemas de Optimización Multi-objetivo (MOP, por sus siglas en inglés: Multi-objective Optimization Problem). En la vida real, la mayoría de los problemas son de éste tipo, aunque en algunos puedan ser tratados como SOP (Single-objective Optimization Problem). En este trabajo se describe una clasificación de diferentes tipos de problemáticas multi-objetivo relacionadas con la optimización de redes de transporte público.

2. Optimización Multi-objetivo

(Coello et. al, 2007) definen MOP como la búsqueda de un vector de variables de decisión que cumpla ciertas restricciones y optimice una función vector cuyos elementos representan las funciones objetivo. Considerando en general un MOP como un problema de minimización (una función de maximización se puede reescribir como una de minimización fácilmente), éste se define formalmente como (Ramírez Santiago y Coello, 2016):

Encontrar un vector \vec{x}^* que satisfaga las m restricciones de desigualdad $g_i(\vec{x}^*) \leq 0; i=1, \dots, m$; las n restricciones de igualdad: $h_i(\vec{x}^*) = 0; i = 1, \dots, n$; y optimice el vector de funciones objetivo:

$\vec{f}(\vec{x}) = [f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})]$. Las restricciones son las que definen la región factible del problema y cualquier vector \vec{x} que se encuentre en dicha región se considera como una solución factible. Sin embargo, debido a la propia naturaleza de los MOPs, no es común que un vector x optimice simultáneamente todos los objetivos considerados, por lo que se busca encontrar un conjunto de soluciones que representen un buen trato para todos los objetivos involucrados. Estas soluciones se dice que son óptimos de Pareto siempre y cuando sean soluciones no dominadas, es decir, que no exista ningún otro punto o vector x que sea mejor en un objetivo sin ser peor en al menos algún otro. A este conjunto de soluciones, o conjunto de puntos no dominados dentro del espacio de búsqueda determinado, se le llama Frente de Pareto (Méndez y Coello, 2011). Cuando se abordan los problemas relacionados con el transporte público, es común considerar factores relacionados al costo del servicio y a los tiempos de viaje. Dentro de los primeros se pueden mencionar el costo de combustible, costo de mantenimiento de los vehículos, costo de operadores, etc., esto permitirá calcular la ganancia del prestador del servicio. Entre los segundos se encuentran los tiempos de recorrido entre paradas, el tiempo de abordaje, el tiempo para transbordar, y el tiempo de espera. Esto genera funciones de ingreso y tiempo que se buscan maximizar y minimizar respectivamente, lo cual implica favorecer a uno u otro objetivo a fin de obtener un punto de equilibrio que mantenga el más alto beneficio en promedio. En general, este tipo de problemas se clasifican como MOPs y las propuestas de solución se diferencian en el tipo y número de factores considerados, las funciones objetivo y los algoritmos utilizados para resolverlos.

3. Clasificación de problemas de Redes de Transporte

3.1 Tipos de problemas de tránsito

Los problemas de optimización asociados con los sistemas de transporte no son problemas nuevos, estos han sido abordados considerando diferentes variables y restricciones, y con diferentes técnicas o algoritmos desde ya hace algunas décadas, algunos de estos son Patz (1925) con el problema TNDP (Transit Network Design Problem) minimizando cantidad de asientos vacíos resuelto a través de heurísticas, Rainville (1947) con Bus Scheduling Manual, Goeddel (1975) con el sistema RUCUS (Run Cutting and Scheduling), y Baaj y Mahmassani (1990) con heurísticas y continuaron

realizando estudios relacionados en los años 91 y 95. En la actualidad, existen una cantidad importante de investigaciones en esta área y, según el escenario abordado y el objetivo buscado, casi cada autor le ha asignado un nombre diferente a cada uno de ellos, dando lugar a una rica variedad de acrónimos. Este trabajo pretende documentar y clasificar las diferentes variantes de los problemas relacionados con transporte, que han sido abordados por diversos investigadores en los últimos años. La clasificación está basada principalmente en el objetivo de optimización buscado.

3.2 Transit Network Planning (TNP)

Uno de los problemas principales abordados es la planeación de la red de tránsito. Este problema es inherentemente complejo debido a los múltiples factores que se deben considerar. Inicialmente los objetivos buscados son la satisfacción de la demanda de los usuarios y la rentabilidad del sistema para los operadores. El proceso de planeación debe ser cuidadosamente llevado a cabo, considerando todas o la mayor cantidad de factores posibles involucrados, antes de la operación del sistema. Una de las investigaciones que aborda este problema es Song et al. (2012), por medio de técnicas analíticas convencionales. Ibarra Rojas et al. (2015) divide el problema TNP en los siguientes sub-problemas:

- Diseño de Red de Tránsito (Transit Network Design, TND)
- Ajuste de Frecuencia (Frequency Setting, FS)
- Horario de la Red de Tránsito (Transit Network Timetabling, TNT)
- Problema de Calendarización de vehículos (Vehicle Scheduling Problem, VSP)
- Problema de Calendarización de Conductores (Driver Scheduling Problem, DSP)
- Problema de Lista de Actividades para Conductores (Driver Rostering Problem, DRP)

3.2.1 Transit Network Design (TND)

El diseño de la red de tránsito tiene 2 enfoques, el proporcionar un análisis de los resultados de la red a través de un modelo o procedimientos de optimización para la solución del problema definiendo rutas y frecuencias (Fusco, 2002). Ibarra Rojas et al. (2015) lo definen como el diseño de rutas y características operativas (espacio entre paradas, entre otros), a fin de optimizar funciones objetivo específicas. Este tipo de problema ha sido abordado por diferentes investigadores, entre ellos se puede mencionar a: Langerudi (2014) lo define como problema de diseño de red de transporte (TNDP), el

cual diseña las rutas (origen - destino) del sistema de transporte, seleccionando el conjunto de alternativas óptimas. Este tipo de problemas no toma demasiado tiempo, pero se hace lenta conforme aumenta las n alternativas. Langerudi resuelve este problema a través de heurísticas, utilizando la técnica de optimización de enjambre de partículas (PSO). El problema de diseño de red de tránsito de autobuses (BTNDP) y el problema de diseño de red de tránsito urbano (UTNDP), se enfocan en lo mismo que TNDP solo que consideran además el tipo de vehículos, que en este caso son los autobuses y los camiones urbanos respectivamente. El problema BTNDP fue abordado por Ouyang et al. (2014) con el fin de minimizar costos tanto de usuario como de operador, a través de la definición de paradas, tamaño de flota y rediseño de rutas, a través de técnicas analíticas convencionales (Aproximación Continua). Mandl (1980) fue uno de los primeros que definió este tipo de problema (TNDP), enfocándose en tiempos de viaje, costo de transporte para el usuario, distancias de las rutas y capacidad del vehículo, por medio de heurísticas. Otros investigadores que se basan en este tipo de problema son Baaj y Mahmassani (1995) utilizando heurísticas (Route Generation Algorithm - RGA), Steven Chien et al. (2001) haciendo uso de heurísticas/metaheurísticas (Algoritmos Genéticos y Búsqueda exhaustiva), entre otros. El caso UTNDP fue utilizado por Sun et al. (2013) quienes tuvieron como objetivo minimizar el tiempo total de viaje y maximizar el número de pasajeros, definiendo paradas, rutas y capacidad, a través de heurísticas/metaheurísticas (Algoritmos Genéticos). Mientras que Buba y Lee (2016) realizaron un review de UTNDP. Otras investigaciones que se enfocan en el diseño de rutas son Toro Ocampo et al. (2013) resolviendo por medio del algoritmo de transporte, la heurística del vecino más cercano y la técnica Colonia de Hormigas, Ríos y Alonso (2015) a través de algoritmos metaheurísticos, Zhen y Jing (2016) aplicando la heurística de algoritmos genéticos, entre otros.

3.2.1.1 Transit Route Network Design problem (TRNDP)

También es un problema que cae dentro de la categoría TND y es uno de los más difíciles de resolver por su alto nivel de complejidad, definiéndolo como el diseño de un conjunto de rutas y administración de la operación del servicio, en otras palabras, determina un conjunto de rutas para satisfacer la demanda de viajes (Moussa y Owais, 2014). El problema de diseño de red de ruta de tránsito de autobuses (BTRNDP) al igual

que TRNDP y el problema de diseño de red de ruta de autobuses (BRNDP) sigue siendo el mismo problema solo que realizan la especificación del tipo de vehículos que en este caso es el de autobús. El problema BTRNDP fue abordado por Wang y Qu (2015), quienes tuvieron como objetivo obtener el camino más corto entre paradas, realizando un nuevo diseño de rutas y paradas, solucionándolo de manera matemática (programación dinámica). Mientras que Newell (1979) había definido un problema semejante que llamó BRNDP, enfocándose en el diseño de rutas con respecto a costos tanto de operador como de usuario, haciendo uso de heurísticas. Fan (2004) se enfocó al diseño de rutas, tamaño de flota y longitud de ruta, con el objetivo de minimizar tiempos de viaje, de espera y de caminata, así como el tamaño de flota, aplicando la Búsqueda de Vecindario y algoritmos evolutivos, llamando este tipo de problema TRNDP.

3.2.2 Frequency Setting (FS)

El ajuste de frecuencia se enfoca en períodos de operación (horas pico) y determinación del número de viajes para un conjunto de rutas, o para satisfacer la demanda de pasajeros, en otras palabras, como su nombre lo dice con qué frecuencia debe pasar un vehículo para dar servicio a todos los pasajeros. Cabe mencionar que es posible estimar por medio de la frecuencia, los tiempos de espera y de transferencia, así como el tamaño de la flota Ibarra Rojas et al. (2015). Farahani et al. (2013) define éste como el problema de configuración de frecuencia de la red de tránsito (TNFSP), el cual ajusta la frecuencia adecuada en que debe pasar un vehículo sobre una ruta dependiendo la estructura de la misma en cada periodo de tiempo. Este tipo de problema fue abordado por Gao (2004) teniendo como objetivo el equilibrio entre el operador y el usuario en cuestión de costos, a través del ajuste de frecuencias, utilizando heurísticas (análisis de sensibilidad). Guancha et al. (2017) también se enfocaron en obtener frecuencias de salida de la flota de camiones, a través de algoritmos genéticos.

3.2.3 Transit Network Timetabling (TNT)

Éste se basa en el horario, estableciendo hora de salida y de llegada para cada parada de una red de tránsito (determina el horario de las rutas), con el fin de satisfacer una frecuencia dada, demandas específicas, minimización de tiempos de espera y maximización del número de transferencias de pasajeros (Ibarra Rojas et al., 2015). Farahani et al. (2013) lo define como problema del horario de la red de tránsito (TNTP), y como su nombre

lo indica se ocupa de ajustar el horario de cada ruta con tiempos de salida dadas las frecuencias. Quienes tomaron este problema (TNTP) fueron Klemt y Stemme (1988), teniendo como objetivo la sincronización óptima de los horarios, minimizando el tiempo de espera, aplicando heurísticas.

3.2.4 Vehicle Scheduling Problem (VSP)

El problema de programación de vehículos se refiere a minimizar costos de operación cubriendo los viajes con la mínima cantidad de vehículos, definiéndolo como la "asignación de viajes-vehículos para cubrir todos los viajes planeados" (Ibarra Rojas et al., 2015). Bunte y Kliewer (2009) mencionan que éste surgió del proceso de planificación operativa del transporte público, definiéndolo como la asignación de camiones para cubrir un conjunto de viajes con el tamaño mínimo de flota y de costos, teniendo en cuenta ciertas características por ejemplo el tipo de vehículo. Uno de los autores que abordan este problema son Situ y Jin (2009), analizando los modelos de optimización aplicados a éste, a través de métodos heurísticos con el fin de optimizar el tiempo de salida y de intervalo. Dentro de esta clasificación se han abordado los modelos siguientes (Bunte y Kliewer, 2009):

- Single Depot (VSP-SD)
- Multiple Depot (VSP-MD)
- Multiple Vehicle Types with Vehicle Scheduling Problem (VSP-MVT)
- Time Windows (VSP-TW)
- Route Constraints (VSP-RC)

Recientemente también se ha abordado esta otra variante.

- Vehicle-Type and Size Schedule Problem (VTSP)

3.2.4.1 Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem (VSP-MD)

El problema de programación de vehículos con múltiples depósitos aborda el problema de la elección de cuántos y donde estarán los lugares donde se guardarán los vehículos (Batselier y Maenhout, 2012). La elección de los lugares de los depósitos impactan en el costo del servicio debido al traslado de los vehículos al final o inicio de la jornada. Este problema se puede abordar como múltiples problemas de un solo depósito. Uno de los investigadores que aborda este problema es Löbel (1999), teniendo como resultados una reducción de costos de aproximadamente 10% y ahorro de vehículos, haciendo uso de la técnica denominada "Lagrangean pricing".

3.2.4.2 Single Depot Vehicle Scheduling Problem (VSP-SD)

Batselier y Maenhout (2012) definen el problema de programación de vehículos de un solo depósito como: encontrar una asignación de viajes a vehículos en el que cada viaje se asigna una sola vez, un vehículo puede realizar varios viajes pero al final regresar al mismo depósito donde inició, el objetivo es minimizar los costos generados por los vehículos. Xu et al. (2010) abordan este problema haciendo uso de algoritmos genéticos con el fin de diseñar un modelo bi-objetivo, minimizando los costos de operación y el número de vehículos.

3.2.4.3 Vehicle Scheduling Problem With Multiple Vehicle Types (VSP-MVT)

Este problema hace alusión al uso de diferentes tipos de vehículos y que estos a su vez pueden tener diferentes costos (fijos u operacionales) o velocidades, por ejemplo en los taxis, dependiendo la necesidad del usuario será el tamaño del vehículo, denominándose esto como un problema de programación de vehículos con múltiples tipos de vehículos (MVT-VSP, por sus siglas en inglés) (Bunte y Kliewer, 2009). Costa, Branco, y Paixão (1995) abordaron VSP-MVT presentando 3 formulaciones diferentes para este problema, con el fin de obtener límites más bajos en el valor óptimo del problema, a través de heurísticas.

3.2.4.4 Vehicle Scheduling Problem With Time Windows (VSP-TW)

Es importante considerar los tiempos de llegada y de salida de los vehículos, y a este tipo de calendarización se le denomina problema de programación de vehículos con ventanas de tiempo (VSP-TW, por sus siglas en inglés) (Bunte y Kliewer, 2009). Desaulniers et al. (1998) abordaron el problema de programación de vehículos de depósito múltiple con ventanas de tiempo (MDVSPTW), considerando los costos en tiempos de espera exactos entre dos tareas consecutivas. Este problema se resolvió haciendo uso de un enfoque de generación de columnas incrustado en un marco de ramificación, a través de heurísticas.

3.2.4.5 Vehicle Scheduling Problem with Route Constraints (VSP-RC)

Se le llama problema de programación de vehículos con restricciones de ruta (VSP-RC, por sus siglas en inglés) a las restricciones que pueden asignarse a una ruta, por ejemplo el tiempo de recorrido, combustible, mantenimiento, un número máximo de cambios de ruta,

entre otras (Bunte y Kliewer, 2009). Kliewer et al. (2008) abordaron VSP-RC con el fin de encontrar horarios con un número aceptable de cambios de línea, haciendo uso del enfoque de red espacio-tiempo, a través de heurísticas.

3.2.4.6 Vehicle-Type and Size Schedule Problem (VTSP)

El problema de calendarización de tamaño y tipo de vehículo (VTSP, por sus siglas en inglés) hace alusión a un conjunto de vehículos de distintos tipos (velocidad, consumo de gasolina, contaminación, etc.) y tamaños (capacidad), que cubren una ruta buscando encontrar una distribución adecuada para minimizar la demanda insatisfecha y el costo operacional (Peña et al., 2016, Peña et al., 2017). Peña et al. (2016, 2017) aplican una heurística basada en MOCeCell un algoritmo Evolutivo Celular Multi-Objetivo, como solución a este problema.

3.2.5 Driver Scheduling Problem (DSP)

El problema de programación del conductor también es llamado como programación de tareas, ya que se enfoca en definir las actividades para cubrir los viajes calendarizados, minimizando el costo de los salarios de los conductores. Como solución a este problema se propone determinar el tiempo de trabajo (hora de inicio y fin), duración mínima y máxima de trabajo con descansos y sin ellos, así como el día que se les asignaría para descanso (Ibarra Rojas et al., 2015). En otras palabras, DSP se encarga de calendarizar las actividades que deben realizar los conductores sin personalizar. Portugal et al. (2009) mencionan que los deberes o actividades hacen referencia a:

- Los períodos de conducción del autobús.
- Los periodos de pausas y comidas.
- Viaje del conductor, que implica hasta el punto donde comienza el deber o el tramo.

Portugal et al. (2006) abordan el problema DSP presentando nuevos modelos matemáticos para la solución de éste y que pueden implementarse en situaciones reales, con el fin de obtener un modelo que produzca la calendarización del conductor de manera automática.

3.2.7 Driver Rostering Problem (DRP)

El problema de la lista de conductores se refiere como dice su nombre al listado de la asignación de tareas creadas en la solución DSP a los conductores. Dicha lista deberá apegarse a las normas laborales y reglamentos, y debe tomarse en cuenta el horario disponible de los

conductores para la asignación de actividades (Ibarra Rojas et al., 2015). Es decir que DRP asigna las tareas creadas en DSP a cada conductor de manera personalizada. Una lista óptima se caracteriza por (Xie et al., 2012):

- La satisfacción máxima de los conductores.
- La diferencia mínima de horas extras entre todos los conductores.
- El número mínimo de tareas no asignadas.

Xie et al. (2012) proponen un nuevo enfoque de modelización para DRP, desarrollando una red de bloque de deberes que solucione situaciones reales, con el fin de resolver el problema de asignación de turnos. Éste superó al enfoque secuencial en términos de calidad de la solución y puede resolver de manera eficiente instancias medianas con 256 conductores y alrededor de 1013/899 deberes. Adicionalmente tenemos estos otros tipos de problemas que abordan el conjunto de dos o más tipos de problemas en uno solo, como es el caso de los siguientes:

3.3 Transit Network Design and Scheduling Problem (TNDSP)

(Olivera, 2015) menciona que el problema de diseño y planificación de la red de tránsito (TNDSP) consiste en crear un conjunto de rutas, frecuencias y horarios, desde cero o desde una red existente, en pocas palabras engloba el conjunto de TNDP, TNFSP y TNTP. Uno de los trabajos que abordan este problema es Dhingra y Shrivastava (1999) con el objetivo de minimizar tiempo de viaje, tamaño de flota y tiempo de espera, así como satisfacer la demanda, realizando un rediseño de rutas, frecuencias y horarios, aplicando algoritmos evolutivos.

3.4 Transit Network Design and Frequency Setting Problem (TNDFSP)

El problema de diseño de la red de tránsito y de configuración de frecuencia (TNDFSP) determina la frecuencia con la que pasa un vehículo en una ruta, y su respectivo diseño (Farahani et al., 2013). En otras palabras se divide en 2 etapas: en TNDP y TNFSP, estos no se abordan simultáneamente, pero la interacción entre ellos resulta beneficioso en el resultado final (Olivera, 2015). Lampkin y Saalmans (1967) fueron de los primeros que definieron su investigación con este tipo de problema, con el objetivo de reorganizar una empresa de autobuses minimizando tamaño de flota, con qué frecuencia deben pasar, capacidad del vehículo, reestructurando diseño de rutas y horarios, a través de heurísticas. Mientras que Garzón Santodomingo (2016) pretende optimizar costos

de operador y de usuario, tomando en cuenta demanda y definiendo recorridos y frecuencias, haciendo uso de la metaheurística Búsqueda en Vecindades Variables (VNS). Otras de las investigaciones que se enfocan en diseño de rutas y frecuencias es Arbex y da Cunha (2015) aplicando heurísticas (Algoritmo Genético Objetivo Alternativo AOGA), Mauttone y Urquhart (2007) utilizando la metaheurística GRASP, entre otros.

3.5 Transit Network Scheduling Problem (TNSP)

El problema de programación de la red de tránsito (TNSP, por sus siglas en inglés) consiste en obtener la frecuencia y la tabla de horarios dependiendo la estructura de la ruta (Farahani et al., 2013). Es decir, el conjunto de 2 etapas: TNFSP y TNTP. Uno de los primeros investigadores que hizo uso de este tipo de problema fue Ceder et al. (2001) con el objetivo mejorar la sincronización de la red, intentado maximizar el número de llegadas de autobús simultáneas, aplicando heurísticas.

4. Resumen

En la tabla 1 se muestra de manera resumida la clasificación de los distintos tipos de problemas, así como sus parámetros de entrada y de salida. Cabe aclarar que para cada tipo de problema mostrado en la tabla se consideró el conjunto de los parámetros de entrada utilizados en las diversas variantes del problema, por lo que, un problema específico podría considerar solo algunos parámetros de entrada. Esto aplica igualmente para los parámetros de salida.

Tabla 1: Clasificación de los tipos de problemas de redes de transporte público.

Tipo de Problema	Parámetros de entrada	Parámetros de salida
Diseño de la ruta	<ul style="list-style-type: none"> Topología y características de la red. Datos de demanda. Estructura de tarifas. Limitaciones presupuestarias. Tiempos de recorrido de la ruta. 	<ul style="list-style-type: none"> Conjunto de rutas y paradas. Estrategias operativas. Cambios de rutas.
Encontrar Frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> Conjunto de rutas y Paradas. Datos de demanda. Capacidad de Autobuses. Tamaño de flota. Políticas de Servicio. Tiempos de recorrido de la ruta. 	<ul style="list-style-type: none"> Frecuencia para cada período. Tamaño de la flota.
Definir Horarios de Ruta	<ul style="list-style-type: none"> Conjunto de rutas y Paradas. Datos de demanda por hora. Autobuses disponibles. Rangos de horario laborable. Tiempos de recorrido de la ruta. 	<ul style="list-style-type: none"> Frecuencia para cada período. Tamaño de la flota. Horas de salida y llegada de los autobuses en cada ruta.
Asignación de Tipo de Vehículos	<ul style="list-style-type: none"> Conjunto de rutas. Condiciones de Operación. Deadheading. 	<ul style="list-style-type: none"> Horario del vehículo. Tamaño de la flota por tipo de vehículo.
Un Depósito	<ul style="list-style-type: none"> Deadhead (Traslado de vehículos al depósito). Restricciones del depósito. Costos operacionales Tipos de vehículos Restricciones de viajes 	<ul style="list-style-type: none"> Ubicación de depósito Lista de asignación de viajes a vehículos Secuencia de viajes
Múltiples Depósitos	<ul style="list-style-type: none"> Deadhead (Traslado de vehículos al depósito). Conjunto de depósitos Restricciones de los depósitos. Costos operacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> Ubicación de depósitos Lista de asignación de viajes a vehículos Secuencia de viajes

	<ul style="list-style-type: none"> Tipos de vehículos Restricciones de viajes 	
Tipo de vehículo y horarios	<ul style="list-style-type: none"> Conjunto de Rutas. Horarios de llegada y de salida. Demanda Tipo de Vehículos 	<ul style="list-style-type: none"> Lista de asignación de tamaños de vehículos a rutas y horarios
Tamaño de camión con restricciones	<ul style="list-style-type: none"> Conjunto de Rutas. Restricciones. Tipo de Camión. 	<ul style="list-style-type: none"> Lista de asignación de tamaños de camión a rutas.
Horario y lista de Conductores	<ul style="list-style-type: none"> Reglas de trabajo y sindicatos. Estructura de pago. Preferencias de los conductores. 	<ul style="list-style-type: none"> Horarios del conductor Lista de Conductores
Definir Diseño de la ruta y Frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> Topología y características de la red. Conjunto de rutas y Paradas. Datos de demanda. Autobuses disponibles. Estructura de tarifas. Limitaciones presupuestarias. Tiempos de recorrido de la ruta. 	<ul style="list-style-type: none"> Conjunto de rutas y paradas. Estrategias operativas. Cambios de rutas. Frecuencia para cada período. Tamaño de la flota.
Definir frecuencia y horarios	<ul style="list-style-type: none"> Conjunto de rutas y Paradas. Datos de demanda por hora. Autobuses disponibles. Rangos de horario laborable. Políticas de Servicio. Tiempos de recorrido de la ruta 	<ul style="list-style-type: none"> Frecuencia para cada período. Tamaño de la flota. Horas de salida y llegada de los autobuses en cada ruta.
Definir Diseño de la ruta, Frecuencia y Horario	<ul style="list-style-type: none"> Topología y características de la red. Conjunto de rutas y Paradas. Datos de demanda por hora. Autobuses disponibles. Estructura de tarifas. Limitaciones presupuestarias Horarios de inicio y fin del servicio. Políticas de Servicio Tiempos de recorrido de la ruta. 	<ul style="list-style-type: none"> Conjunto de rutas y paradas. Estrategias operativas. Cambios de rutas. Frecuencia para cada período. Tamaño de la flota. Horas de salida y llegada de los autobuses en cada ruta.

La Tabla 2 muestra la clasificación de los distintos tipos de problemas de redes de transporte público por su acrónimo, así como sus acrónimos sinónimos, utiliza los mismos colores utilizados en la Tabla 1 para indicar que tipo de problema es cada acrónimo presentado.

Tipo de Problema	Se dividen en	Subdivisión	Acrónimos Sinónimo	Autores	Año	Metodología				
TNP	TND	TRNDP	TND	Song et al.	2012	Técnicas Analíticas Convencionales				
				Fusco	2002	Heurísticas				
				Patz	1925	Heurísticas				
				Ouyang et al.	2014	Técnicas Analíticas Convencionales (Aproximación Continua)				
				Sun et al.	2013	Algoritmos Genéticos				
				Fan	2004	Busqueda de				
				Wang y Qu	2015	Vecindario y algoritmos evolutivos Matemática (programación dinámica)				
				Newell	1979	Heurísticas				
				Guancha et al.	2016	Algoritmos Genéticos				
				Gao et al.	2004	Heurísticas (análisis de sensibilidad)				
TNP	TNT	-	TNTP	Ibarra	2015	Heurísticas				
				Klemm y Stemme	1988	Heurísticas				
				Situ y Jin	2009	Heurísticas				
				Xu et al.	2010	Algoritmos Genéticos				
				Löbel	1999	Lograngean pricing				
				Costa et al.	1995	Heurísticas				
				Desaulniers et al.	1998	Heurísticas				
				Khewer et al.	2008	Heurísticas				
				Peña et al.	2017	Heurísticas (MOCeLL)				
				Portugal et al.	2006	Metaheurísticas				
TNSP	-	-	-	Xie et al.	2012	Matemática				
				Lampkin y Saalmans	1967	Heurísticas				
				Ceder et al.	2001	Heurísticas				
				Dhingra y Shrivastava	1999	Algoritmos Evolutivos				
				TNSP	-	-	-	VSP-SD	-	-
								VSP-MD	-	-
								VSP-MVT	-	-
								VSP-TW	-	-
								VSP-RC	-	-
								VTSP	-	-
DSP	-	CSP	Portugal et al.	2006	Metaheurísticas					
DRP	-	CRP	Xie et al.	2012	Matemática					

5. Conclusiones

Como se pudo apreciar, el área de optimización de redes de transporte público es muy extensa, existen múltiples factores que se pueden considerar y esto deriva en múltiples variantes del problema.

Con el pasar de los años se han definido distintos acrónimos para describir cada variante del problema, pero como se pudo observar, muchos de ellos hacen referencia al mismo tipo de problema, teniendo alrededor de 3 a 7 diferentes acrónimos con el objetivo semejante. El este trabajo se presentó una clasificación principalmente basada en factores y acrónimos involucrados, la cual no pretende ser una lista completa sino una propuesta de organización de las diferentes variantes encontradas en la literatura.

Este tipo de problema sigue teniendo un gran interés en la actualidad debido a la importancia y complejidad que representa la solución de éstos, por lo que seguir investigando y desarrollando nuevos algoritmos ayudaría a aproximarse a resultados óptimos, lo cual por ende generaría nuevas variantes que tendrían que ser clasificadas.

REFERENCIAS

1. Arbex, R. O., & da Cunha, C. B. (2015). Efficient transit network design and frequencies setting multi-objective optimization by alternating objective genetic algorithm. *Transportation Research Part B: Methodological*, 81, 355–376. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.06.014>
2. Baaj, M. H., & Mahmassani, H. S. (1990). Trust: A LISP Program for the Analysis of Transport Route Configurations. *Transportation Research Record*, (1283). Recuperado a partir de <https://trid.trb.org/view.aspx?id=353975>
3. Baaj, M. H., & Mahmassani, H. S. (1995). Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3(1), 31–50. [https://doi.org/10.1016/0968-090X\(94\)00011-5](https://doi.org/10.1016/0968-090X(94)00011-5)
4. Bakıcı, T., Almirall, E., & Wareham, J. (2013). A Smart City Initiative: the Case of Barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, 4(2), 135–148. <https://doi.org/10.1007/s13132-012-0084-9>
5. Batselier, J., & Maenhout, B. (2012). Linking the Vehicle Routing Problem and the Crew Scheduling Problem: Past, Present and Future Research. Recuperado a partir de <https://pdfs.semanticscholar.org/abf9/4c422ca0de32bb4b209972b94b4f9e476a96.pdf>
6. Buba, A. T., & Lee, L. S. (2016). Urban Transit Network Design Problems: A Review of Population-based Metaheuristics. Recuperado a partir de <http://pjsrr.upm.edu.my/wp-content/uploads/2016/11/PJSRR-2016-23-86-99.pdf>
7. Bunte, S., & Kliewer, N. (2009). An overview on vehicle scheduling models. *Public Transport*, 1(4), 299–317. <https://doi.org/10.1007/s12469-010-0018-5>
8. Ceder, A., Golany, B., & Tal, O. (2001). Creating bus timetables with maximal synchronization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(10), 913–928. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(00\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(00)00032-X)
9. Chowdhury, M., & Sadek, A. (2014). RNO/ITS - Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR) | Explotación de la Red Vial & Sistemas Inteligentes de Transporte. Recuperado el 11 de julio de 2017, a partir de <https://rno-its.piacr.org/es>
10. Coello, C. A. C., Van Veldhuizen, D. A., & Lamont Gary, B. (2007). *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective* | Carlos Coello Coello | Springer. Recuperado a partir de <http://www.springer.com/in/book/9780387332543>
11. Costa, A., Branco, I., & Paixão, J. M. P. (1995). Vehicle Scheduling Problem with Multiple Type of Vehicles and a Single Depot. En *Computer-Aided Transit Scheduling* (pp. 115–129). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-57762-8_9
12. Desaulniers, G., Lavigne, J., & Soumis, F. (1998). Multi-depot vehicle scheduling problems with time windows and waiting costs. *European Journal of Operational Research*, 111(3), 479–494. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00363-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00363-9)
13. Dhingra, S. ., & Shrivastava, P. (1999). Modelling for coordinated bus train network. Presentado en *In Proceedings of the 6th International Conference on Computers for Urban Planning and Urban Management (CUPUM99)*, Venice, Italy.
14. Fan, W. (2004). Optimal transit route network design problem : algorithms, implementations, and numerical results. Recuperado a partir de <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/12769>
15. Farahani, R. Z., Miandoabchi, E., Szeto, W. Y., & Rashidi, H. (2013). A review of urban transportation network design problems. *European Journal of Operational Research*, 229(2), 281–302.
16. Fusco, G. (2002). A heuristic transit network design algorithm for medium size towns. *Proceedings of 9th Euro Working Group on ...*, 652–656.

17. Gao, Z., Sun, H., & Shan, L. L. (2004). A continuous equilibrium network design model and algorithm for transit systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(3), 235–250. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(03\)00011-0](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(03)00011-0)
18. Garzón Santodomingo, N. A. (2016). Metaheurística para la solución del transport network design problem (TNDP) multiobjetivo con demanda multiperiodo. Recuperado a partir de <http://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/439>
19. Goeddel, D.L. (1975). RUCUS: Automated Vehicle and Scheduling System. Presentado en *Automated Techniques for Scheduling of Vehicle Operators for Urban Public Transportation Services*, Chicago.
20. Guancha, D. A. G., Mejía, J. A. S., & Mejía, S. E. (2017). Asignación de Frecuencias Óptimas, a través de un Modelo Multiobjetivo, para un Sistema BRT. *Revista EIA*, 13(26). Recuperado a partir de <http://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/743>
21. Ibarra Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R., & Muñoz, J. C. (2015). Planning, operation, and control of bus transport systems: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological*, 77, 38–75. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.03.002>
22. Inspiring Good Living. (2017, marzo 23). 6 características que definen a una smart city. Recuperado el 1 de junio de 2017, a partir de <http://inspiringgoodliving.com/6-caracteristicas-que-definen-a-una-smart-city/>
23. Klempt, W.-D., & Stemme, W. (1988). Schedule Synchronization for Public Transit Networks. En *Computer-Aided Transit Scheduling* (pp. 327–335). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-85966-3_28
24. Kliewer, N., Gintner, V., & Suhl, L. (2008). Line Change Considerations Within a Time-Space Network Based Multi-Depot Bus Scheduling Model. En *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* (Vol. 600, pp. 57–70). https://doi.org/10.1007/978-3-540-73312-6_4
25. Lampkin, W., & Saalmans, P. D. (1967). The Design of Routes, Service Frequencies, and Schedules for a Municipal Bus Undertaking: A Case Study. *OR*, 18(4), 375–397. <https://doi.org/10.2307/3007688>
26. Langerudi, M. F. (2014). Parameter Selection In Particle Swarm Optimization For Transportation Network Design Problem. arXiv:1412.7185 [cs, math]. Recuperado a partir de <http://arxiv.org/abs/1412.7185>
27. Löbel, A. (1999). Solving Large-Scale Multiple-Depot Vehicle Scheduling Problems. En *Computer-Aided Transit Scheduling* (pp. 193–220). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-85970-0_10
28. Mandl, C. E. (1980). Evaluation and optimization of urban public transportation networks. *European Journal of Operational Research*, 5(6), 396–404. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(80\)90126-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(80)90126-5)
29. Mauttone, A., & Urquhart, M. E. (2007). Optimización multi-objetivo de recorridos y frecuencias en transporte público aplicado a un caso de estudio real. En *XIII Congreso chileno de ingeniería de transporte*, Santiago, Chile. Recuperado a partir de <http://www.sochitran.cl/wp-content/uploads/Acta-2007-05-02.pdf>
30. Méndez, F. G., & Coello, C. A. C. (2011). Optimización Multiobjetivo Usando Algoritmos Genéticos Culturales. Recuperado a partir de <http://delta.cs.cinvestav.mx/~ccoello/tesis/tesis-fgutierrez.pdf.gz>
31. Moussa, G., & Owais, M. (2014). A Novel Solution Methodology for Transit Route Network Design Problem. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 8(3), 283–290.
32. Newell, G. F. (1979). Some Issues Relating to the Optimal Design of Bus Routes. *Transportation Science*, 13(1), 20–35. <https://doi.org/10.1287/trsc.13.1.20>

33. Olivera, A. C. (2015). Desarrollo teórico de técnicas meta-heurísticas para resolver problemas de optimización“ TN”(Transit Networks) en entornos dinámicos. Recuperado a partir de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/1979>
34. Ouyang, Y., Nourbakhsh, S. M., & Cassidy, M. J. (2014). Continuum approximation approach to bus network design under spatially heterogeneous demand. *Transportation Research Part B: Methodological*, 68, 333–344. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.05.018>
35. Patz, A. (1925). Die richtige Auswahl von Verkehrslinien bei großen Straßenbahnnetzen (The proper choice of transport lines for large tram networks).
36. Peña, D., Tchernykh, A., Nasmachnow, S., Massobrio, R., Drozdov, A. Y., & Garichev, S. N. (2016). Multiobjective Vehicle Type and Size Scheduling Problem in Urban Public Transport Using MOCeLL. En 2016 International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT) (pp. 110–113). <https://doi.org/10.1109/EnT.2016.032>
37. Peña, D., Tchernykh, A., Nasmachnow, S., Massobrio, R., Feoktistov, A., & Bychkov, I. (2017). Multiobjective Vehicle-type Scheduling in Urban Public Transport. En 2017 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW) (pp. 482–491). <https://doi.org/10.1109/IPDPSW.2017.80>
38. Portugal, R., Lourenço, H. R., & Paixão, J. P. (2009). Driver scheduling problem modelling. *Public Transport*, 1(2), 103–120. <https://doi.org/10.1007/s12469-008-0007-0>
39. Portugal, R., Lourenço, R. D., Helena, & Paixao, J. P. (2006). Driver Scheduling Problem Modelling (SSRN Scholarly Paper No. ID 1002565). Rochester, NY: Social Science Research Network. Recuperado a partir de <https://papers.ssrn.com/abstract=1002565>
40. Rainville, W. S. (1947). *Bus Scheduling Manual: Traffic Checking and Schedule Preparation*. Department of Transportation.
41. Ramírez Santiago, N. A., & Coello, C. A. C. (2016, Diciembre). Una nueva propuesta para optimización multiobjetivo basada en búsqueda dispersa (Scatter Search). Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México D.F.
42. Ríos, B., & Alonso, W. (2015). Implementación de un algoritmo recocido simulado para el diseño de rutas de transporte público para Lima centro. Recuperado a partir de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5961>
43. Situ, B., & Jin, W. (2009). Study on the vehicle scheduling problem in transportation system. En 2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (pp. 175–178). <https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2009.5234454>
44. Song, L., Chen, F., Xian, K., & Sun, M. (2012). Research on a Scientific Approach for Bus and Metro Networks Integration. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, 740–747. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.147>
45. Steven Chien, Zhaowei Yang, & Edwin Hou. (2001). Genetic Algorithm Approach for Transit Route Planning and Design. *Journal of Transportation Engineering*, 127(3), 200–207. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2001\)127:3\(200\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2001)127:3(200))
46. Sun, Y., Sun, X., Li, B., & Gao, D. (2013). Joint Optimization of a Rail Transit Route and Bus Routes in a Transit Corridor. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 1218–1226. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.139>
47. Toro Ocampo, E. M., Santa Chávez, J. J., & Granada Echeverri, M. (2013). Solución del problema de ruteamiento de vehículos en la distribución de papa en Colombia. *Scientia et Technica*, 18(1). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/html/849/84927487021/>
48. United Nations. (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables*. Recuperado a partir de https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf

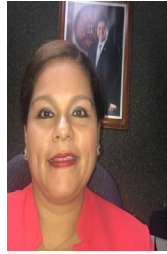
49. Wang, S., & Qu, X. (2015). Rural bus route design problem: Model development and case studies. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(6), 1892–1896. <https://doi.org/10.1007/s12205-013-0579-3>
50. Xie, L., Kliewer, N., & Suhl, L. (2012). Integrated Driver Rostering Problem in Public Bus Transit. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 656–665. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.783>
51. Xu, C. q, Xuan, H., Li, B., & Su, F. f. (2010). Vehicle Scheduling Problem for the Single-Depot Based on Genetic Algorithms. En 2010 International Conference of Information Science and Management Engineering (Vol. 1, pp. 254–256). <https://doi.org/10.1109/ISME.2010.73>
52. Zhen, Q., & Jing, S. (2016). Train rescheduling model with train delay and passenger impatience time in urban subway network: Train Rescheduling Model with Train Delay. *Journal of Advanced Transportation*. <https://doi.org/10.1002/atr.1441>

SEMBLANZA



Daniela Moctezuma-García obtuvo su grado de ingeniería en telemática por la Universidad de Colima (U de C) en Agosto del 2016. Estuvo laborando como soporte técnico y encargada del área de redes de la empresa Consultoría y Tecnología de México. Actualmente es estudiante de Maestría en Computación en la Facultad de Telemática de la U de C. El tema de tesis

que está abordando actualmente es la implementación y evaluación de algoritmos multi-objetivo para el diseño de redes eficientes de tránsito. Entre sus intereses está el área de optimización de sistemas de transporte público, los algoritmos genéticos, redes y telecomunicaciones, la programación web y el internet de las cosas.



Sara Sandoval-Carrillo es graduada del Instituto Tecnológico de Colima de la Licenciatura en Informática, recibió su grado de Maestría en Telemática de la Universidad de Colima en 1998. Desde entonces se incorporó como Profesora-Investigadora de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Es miembro del CA-55: Ingeniería de Software

y Tecnologías de Información, de la Facultad de Telemática. Su principal interés es el desarrollo de sistemas de apoyo a las tecnologías de información, así como el análisis, diseño e implementación de software.



Juan Manuel Ramírez-Alcaraz obtuvo el grado de Doctor en Ciencias de la Computación en 2011 por parte del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), en Ensenada, Baja California, México. Recibió el grado de Maestría en Telemática en la Universidad de Colima. Es miembro fundador de la Red Mexicana de Supercómputo (REDMEXSU),

miembro de la mesa directiva de la Sociedad Mexicana de Supercómputo (SOMEXSU). Ha sido miembro de TPC de diversos congresos nacionales e internacionales. Actualmente es Profesor-Investigador de tiempo completo en la Facultad de Telemática de la Universidad de Colima. Sus áreas de interés incluyen: Cluster, Grid y Cloud Computing, Optimización de recursos, Computación Paralela, Virtualización, Redes y IoT.



Andrei Tchernykh recibió el grado de Doctor del Institute of Precise Mechanics and Computer Technology de la Academia de Ciencias Rusa, en 1986. Es profesor de tiempo completo en el Departamento de Ciencias de la Computación en el Centro de Investigación CICESE en Ensenada, Baja California, México, y dirige el Laboratorio de Cómputo Paralelo. Es miembro del SNI

nivel II y miembro fundador de la Sociedad Mexicana de Supercómputo. Ha publicado más de 200 artículos en revistas y conferencias, y ha sido miembro de TPCs y co-chair general de más de 240 conferencias profesionales de revisión por pares. Ha sido invitado como investigador visitante en universidades y centros de investigación de prestigio. Dirige varios proyectos de investigación subsidiados en diferentes países. Ha sido miembro de consejos editoriales y editor invitado de diversas revistas científicas. Su principal interés incluye técnicas de optimización de recursos, aprovisionamiento adaptativo de recursos, optimización multiobjetivo, inteligencia computacional, procesamiento de información incompleta, computación y seguridad en la nube.