

GRADO EN INGENIERÍA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

**Asignación de conductores en el transporte
interurbano de Valencia mediante un modelo de
optimización lineal**

Presentado por:

Alba Yu Beltrán Ascó

Dirigido por:

Isabel Mundo Sancho

CURSO ACADÉMICO 2024 – 2025

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a mi madre por estar siempre a mi lado, por todo el apoyo que me da cada día y por no dejar que me rinda cuando las cosas se complican. Sin ella, este Trabajo Final de Grado habría sido aún más cuesta arriba. Gracias por creer SIEMPRE en mí y por recordarme SIEMPRE todo lo que valgo. Estoy segura de que la yaya nos ve desde arriba y está muy orgullosa. ¡Esto va por ti yaya, te echamos mucho de menos!

También quiero agradecer a mi tutora Isabel el seguimiento y la disponibilidad que ha tenido durante todo el proceso. Desde el primer momento tuve claro que quería que me acompañara en este camino por ser una estupenda profesora y por la profesionalidad y cercanía que transmite en sus clases.

Y, por último, me lo agradezco a mí. Por seguir adelante y no venirme abajo, aunque las cosas no salieran como esperaba, y por llegar hasta este esperado momento.

Es cuando se llega al final que una se da cuenta de todo el esfuerzo que ha hecho.

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado presenta el diseño y el desarrollo de un modelo de programación lineal con variables binarias para optimizar la asignación de turnos de conductores en el transporte público interurbano. Se busca mejorar la eficiencia operativa del servicio, garantizando el cumplimiento de la normativa laboral y los requisitos operativos vigentes.

La planificación manual de turnos, habitual en muchas empresas del sector, presenta limitaciones como la desequilibrada distribución de la carga de trabajo, el incumplimiento de tiempos de descanso y una elevada carga administrativa. Este trabajo propone una alternativa automatizada que permite resolver estos problemas de forma óptima.

Tras definir los objetivos, el alcance y el marco conceptual, que incluye los fundamentos de la programación lineal, los modelos de asignación y la normativa sectorial, se formula el modelo matemático. Se definen los conjuntos, parámetros y variables de decisión, junto con la función objetivo y las restricciones que reflejan las condiciones reales del problema.

El modelo se implementa mediante el complemento Solver de Microsoft Excel, lo que facilita su uso en entornos profesionales. Su validación se realiza a través de un caso práctico basado en datos reales de la concesión CV-109 Monserrat-Valencia, operada por AUTOBUSES BUÑOL, S.L. A partir de un análisis de la situación actual, se detectan las principales dificultades en la planificación de turnos, así como las restricciones derivadas de la disponibilidad de personal y de la flota.

Por último, se plantean líneas de mejora orientadas a la gestión de imprevistos, la integración de datos en tiempo real y la escalabilidad del modelo a distintos contextos. Estas propuestas refuerzan el potencial del enfoque como herramienta útil para avanzar en la planificación inteligente del transporte público.

Palabras clave: Programación lineal, asignación de conductores, optimización, transporte interurbano, Solver.

ABSTRACT

This Final Degree Project presents the design and development of a linear programming model with binary variables to optimize the assignment of driver shifts in intercity public transport. The aim is to improve the operational efficiency of the service, ensuring compliance with labour regulations and current operational requirements.

The manual planning of shifts, common in many companies in the sector, has limitations such as unbalanced distribution of the workload, non-compliance with rest times and a high administrative burden. This work proposes an automated alternative that allows solving these problems in an optimal way.

After defining the objectives, scope and conceptual framework, which includes the fundamentals of linear programming, allocation models and industry regulations, the mathematical model is formulated. The decision sets, parameters and variables are defined, together with the objective function and constraints that reflect the actual conditions of the problem.

The model is implemented using the Microsoft Excel Solver add-in, which facilitates its use in professional environments. Its validation is carried out through a case study based on real data from the CV-109 Monserrat-Valencia concession, operated by AUTOBUSES BUÑOL, S.L. From an analysis of the current situation, the main difficulties in shift planning are detected, as well as the restrictions derived from the availability of personnel and fleet.

Finally, lines of improvement oriented to contingency management, real-time data integration and scalability of the model to different contexts are proposed. These proposals reinforce the potential of the approach as a useful tool to advance in the intelligent planning of public transport.

Keywords: Linear programming, driver assignment, optimization, intercity transport, Solver.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
1. Introducción	9
1.1. Motivación y objetivos	11
1.1.1. Motivación.....	11
1.1.2. Objetivo principal.....	12
1.1.3. Objetivos específicos.....	12
1.2. Relevancia y alcance	14
1.3. Contribución a los ODS.....	15
1.4. Estructura del TFG	16
2. Marco referencial	18
2.1. Marco conceptual	18
2.1.1. Definiciones clave	18
2.1.2. Proceso de planificación en el transporte público	20
2.1.2.1. Diseño de la red de transporte	21
2.1.2.2. Determinación de los horarios de viaje	22
2.1.2.3. Asignación de autobuses	22
2.1.2.4. Asignación de conductores.....	23
2.1.3. Planificadores	23
2.2. Marco teórico.....	24
2.2.1. Programación lineal.....	24
2.2.1.1. Historia	24

2.2.1.2.	Fundamentos y aplicaciones	26
2.2.1.3.	Modelo estándar	27
2.2.2.	El problema de asignación.....	29
2.2.2.1.	Modelo binario para el problema de asignación.....	30
2.3.	Marco legal	31
3.	Metodología	35
3.1.	Caso de estudio	35
3.1.1.	Empresas implicadas	35
3.1.1.1.	ATMV	36
3.1.1.2.	Grupo Transvia	40
3.1.2.	Descripción del problema	42
3.1.3.	Especificaciones de los autobuses interurbanos	43
3.2.	Solver.....	45
3.2.1.	Justificación de la elección	46
4.	Desarrollo	49
4.1.	Definición del problema	49
4.2.	Modelo.....	50
4.2.1.	Conjuntos.....	50
4.2.2.	Parámetros	50
4.2.3.	Variables de decisión.....	51
4.2.4.	Función objetivo	51
4.2.5.	Restricciones.....	52
5.	Resultados	55
6.	Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	60
7.	Bibliografía.....	62

Anexos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Limitaciones de Solver.....	15
Figura 2. Etapas del proceso de planificación en el transporte público	20
Figura 3. Red de transporte línea 2.....	21
Figura 4. Logos de marcas de movilidad de Grupo Transvia.....	41
Figura 5. Empresas de autobuses de Transvia GO	41
Figura 6. Elementos y símbolos obligatorios	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diagrama de Gantt: Planificación del proyecto.....	12
Tabla 2. Horarios durante todo el año línea 2.....	22
Tabla 3. Elementos para la formulación de un modelo de programación lineal en la asignación de recursos	28
Tabla 4. Matriz 1 de distancias entre núcleos CV-109.....	39
Tabla 5. Matriz 2 de distancias entre núcleos CV-109.....	39
Tabla 6. Turnos laborales	55
Tabla 7. Número de autobuses requeridos.....	56
Tabla 8. Matriz binaria de asignación de turnos con Solver.....	56
Tabla 9. Turnos asignados a los conductores	57
Tabla 10. Días de descanso.....	57
Tabla 11. Comparación en tiempo entre el sistema actual y el modelo propuesto.....	59

1. Introducción

Según el Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible y la marca institucional Autobuses de España, titularidad correspondiente a la Administración General del Estado, el autobús es el medio de transporte colectivo más empleado en España. En el ámbito interurbano, se posiciona como el modo más eficiente, tanto por sus bajos costes de operación como por la reducida necesidad de inversión en infraestructuras. Además de ser un motor significativo de actividad económica y creación de empleo, desempeña un papel clave en la cohesión territorial al facilitar la conexión entre comunidades autónomas. Desde una perspectiva medioambiental, contribuye de forma sustancial a la sostenibilidad, al minimizar el impacto medioambiental y favorecer un uso más eficiente de los recursos energéticos. Un solo autobús puede sustituir entre catorce y treinta vehículos particulares, lo que implica una reducción considerable en el consumo de combustible y en la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), evitando así la emisión a la atmosfera de millones de toneladas de dicho gas.

Vivimos en una época donde la transformación digital está revolucionando múltiples sectores, y el transporte público no es una excepción. La modernización de este ámbito es esencial para mejorar no solo la eficiencia operativa y la seguridad, sino también la comodidad de los conductores y la experiencia y satisfacción de los usuarios. Según Slotnisky (2016), un alto nivel de digitalización se traduce en una productividad y rentabilidad superiores para las organizaciones, permitiéndoles diferenciarse positivamente de sus competidores con un menor grado de digitalización. Un claro ejemplo son los autobuses metropolitanos de MetroBus, comúnmente conocidos como “autobuses amarillos”, que conectan la ciudad con municipios cercanos a ésta y cuya gestión requiere soluciones optimizadas para la planificación de rutas, horarios y asignación de vehículos y personal.

La creciente demanda del transporte público, junto con la necesidad de una mejor gestión de los recursos disponibles, ha impulsado a replantear los métodos tradicionales de asignación de vehículos y conductores basados en papel y procesos manuales. Esta falta de automatización puede traducirse en tiempos de espera excesivos para los usuarios y un aumento innecesario en los costos operativos, afectando directamente la calidad del servicio ofrecido. En este contexto, la aplicación de herramientas matemáticas orientadas

a la optimización surge como una solución eficaz y necesaria. Jaramillo y Lotero (2011) destacan que los modelos de optimización permiten una planificación más eficiente de rutas, frecuencias, horarios y programación de conductores, mejorando significativamente tanto la operatividad del sistema como la experiencia del usuario.

Entre las técnicas a disposición, la programación lineal se consolida como una herramienta idónea para modelar y resolver problemas complejos de asignación en el ámbito del transporte público. Mediante la formulación de una función objetivo que refleje criterios de eficiencia y seguridad, y la consideración de un conjunto de restricciones operativas y logísticas, es posible desarrollar modelos que determinen la asignación óptima de vehículos y conductores. Dependiendo de las características específicas del problema a abordar, se puede optar por una programación lineal clásica o incorporar variables binarias. El uso de complementos como Solver de Microsoft Excel ofrece ventajas notables en este tipo de aplicaciones, ya que permite una implementación accesible y una rápida validación de las soluciones propuestas. Londoño y Boada (2017) afirman que Solver es especialmente útil en entornos educativos y profesionales, al facilitar la enseñanza y aplicación de la programación lineal y modelos de transporte, potenciando la comprensión y análisis de problemas de optimización sin necesidad de profundos conocimientos matemáticos. Del mismo modo, Villamarín et al. (2019), destacan que la aplicación de modelos matemáticos de transporte mediante programación lineal, utilizando herramientas como Excel, contribuye a una planificación más eficiente, reduciendo costos y mejorando la calidad del servicio.

Además, la aplicación de esta metodología facilita la interpretación de los resultados por parte de los gestores operativos, permitiéndoles aplicar las soluciones obtenidas para mejorar la planificación y la toma de decisiones en el día a día del transporte interurbano. Blanco et al. (2020) destacan que la integración de modelos de optimización en la planificación de líneas y horarios en redes de metro automatizadas permite una mejor asignación de recursos y una mayor satisfacción del usuario.

1.1. Motivación y objetivos

En este apartado se presentan las motivaciones académicas que han impulsado el interés por la temática principal de este Trabajo Fin de Grado (en adelante TFG), destacando la influencia de asignaturas clave del plan de estudios cursado. A continuación, se muestra la planificación temporal del proyecto a través de un diagrama de Gantt, el cual ofrece una visión clara y estructurada de la organización de tareas y plazos establecidos a lo largo del desarrollo del proyecto. Por último, se enuncian tanto el objetivo principal que orienta el trabajo, como los objetivos específicos que permiten abordar de forma ordenada los distintos componentes del modelo planteado.

1.1.1. Motivación

A lo largo de estos intensos años de grado, diversas asignaturas han captado mi interés por su aplicabilidad en el mundo laboral y su enfoque práctico. Materias como Organización y Gestión de Empresas, Sistemas de Producción y Fabricación, Ingeniería Logística, Gestión de Proyectos y Gestión de Producción y Operaciones me han permitido desarrollar una visión global y estructurada de los procesos industriales y empresariales. Sin embargo, ha sido la asignatura de Investigación de Operaciones la que me ha proporcionado las bases metodológicas para la elaboración de este TFG, motivándome a adquirir los conocimientos y habilidades necesarios para modelar y resolver problemas de optimización a través de la programación lineal.

La planificación del proyecto se presenta a continuación en la Tabla 1 mediante un diagrama de Gantt, en el cual se detallan las tareas principales junto con sus respectivas secuencias temporales, desde la elección del tema y propuesta inicial del título hasta su defensa final. Este esquema permite una visualización clara de los hitos más relevantes, facilitando el seguimiento constante de los plazos establecidos y los avances. De este modo, se asegura la coordinación de las tareas y el cumplimiento de los tiempos previstos.

TAREA	FEB				MAR				ABR				MAY				JUN				JUL		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Elección del tema y propuesta inicial																							
Planificación del proyecto																							
Introducción y Objetivos																							
Metodología y Desarrollo																							
ENTREGA INICIAL																							
Reunión de seguimiento 1																							
Investigación y Cambio del tema																							
Marco teórico																							
ENTREGA INTERMEDIA																							
Reunión de seguimiento 2																							
Diseño y Desarrollo del modelo																							
Resultados y Conclusión																							
ENTREGA FINAL																							
Reunión de seguimiento 3																							
Revisión y Ajuste final																							
DEPÓSITO TFG																							
Preparación presentación de defensa																							
DEFENSA TFG																							

Tabla 1. Diagrama de Gantt: Planificación del proyecto

Fuente: Elaboración propia

1.1.2. Objetivo principal

El objetivo principal de este proyecto es diseñar y desarrollar un modelo de programación lineal orientado a optimizar la asignación de turnos de conductores en el transporte interurbano, con el propósito de reducir el tiempo dedicado al proceso de planificación.

1.1.3. Objetivos específicos

A partir del objetivo principal, se establecen los siguientes objetivos específicos, que permiten desglosar y abordar de forma detallada los diferentes aspectos del estudio. Estos objetivos contribuirán a alcanzar el objetivo principal de manera ordenada y eficiente.

- 1) Analizar el estado actual del transporte interurbano en relación con la asignación de vehículos y conductores, identificando ineficiencias y oportunidades de mejora.
- 2) Definir las variables de decisión y las principales restricciones que afectan al problema de asignación, considerando aspectos como los turnos de trabajo, las horas mínimas y máximas diarias permitidas, las horas totales semanales, los descansos obligatorios durante el servicio, los días de descanso semanal y la disponibilidad de recursos.
- 3) Formular un modelo de programación lineal, evaluando la conveniencia de emplear programación lineal clásica o programación lineal entera, con variables binarias, para modelar decisiones discretas, como la asignación de un conductor a un turno de trabajo y a un vehículo.
- 4) Implementar el modelo matemático utilizando la herramienta Solver de Excel y validar su aplicabilidad mediante la resolución de un caso práctico basado en datos reales.
- 5) Comparar los resultados obtenidos con los del método actual de asignación, analizando el impacto en el tiempo empleado para dicha asignación, con el fin de demostrar los beneficios de aplicar técnicas de optimización en la gestión del transporte interurbano.
- 6) Evaluar la viabilidad y factibilidad de aplicar el modelo propuesto en una empresa real de transporte interurbano, identificando posibles barreras, mejoras y ajustes futuros para su implementación práctica.

1.2. Relevancia y alcance

La relevancia de la propuesta surge ante la necesidad de modernizar los sistemas de asignación del personal en el transporte público, con el objetivo de obtener un servicio más ágil, seguro y alineado a las exigencias actuales. A través de un análisis de las variables involucradas y la implementación de un caso práctico utilizando el Solver de Excel, se demuestra cómo la aplicación de este método puede mejorar significativamente la operativa del transporte, promoviendo un sistema más dinámico y adaptable a las necesidades cambiantes del entorno urbano e interurbano.

El alcance de este proyecto abarca como área de estudio la provincia de Valencia. En concreto, se incluyen los municipios de Alfarp, Catadau, Dos Aguas, Llombai, Millares, Montroi, Montserrat y Real, todos ellos conectados por rutas operadas por la empresa BUÑOL, perteneciente a Transvia GO. Por tanto, el modelo propuesto se limita a este ámbito geográfico específico y no contempla otros territorios ni otros modos de transporte. En el apartado 3.1.1 se ofrece una descripción más detallada de las empresas objeto, así como de las concesiones de transporte interurbano que gestiona actualmente.

Por esta razón, se ha optado por utilizar herramientas accesibles como el complemento Solver de Microsoft Excel, lo que permite una aplicación sencilla en entornos reales con recursos técnicos limitados. Es importante señalar que la versión gratuita de esta herramienta presenta una limitación técnica de 200 variables y 100 restricciones, como se puede observar en la Figura 1, lo que condiciona la complejidad del modelo y obliga a simplificar ciertos aspectos y detalles del problema real. Para superar estas limitaciones y ampliar la capacidad de análisis, sería necesario adquirir la versión de pago del complemento. No obstante, para una empresa, este sería un gasto relativamente pequeño y asumible económicamente, lo que hace viable su implementación en escenarios reales. A pesar de dichas limitaciones, el modelo desarrollado en este proyecto resulta suficiente para demostrar la viabilidad y utilidad de aplicar técnicas de optimización a la asignación de personal en el transporte interurbano.

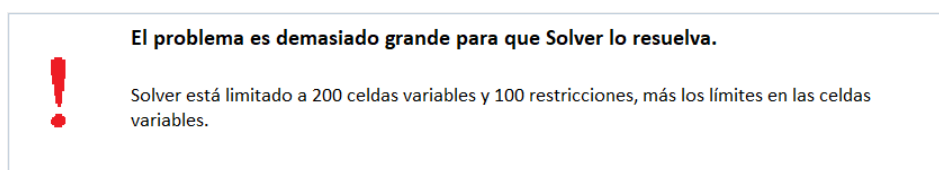


Figura 1. Limitaciones de Solver

Fuente: Solver de Microsoft Excel

1.3. Contribución a los ODS

Tal como explica la Organización de las Naciones Unidas (ONU), los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (en adelante ODS) constituyen una iniciativa global enmarcada en la Agenda 2030, cuyo propósito es hacer frente a los principales desafíos que afectan a la humanidad, desde la erradicación de la pobreza y la lucha contra el cambio climático, hasta la promoción de la igualdad de género, el trabajo decente o el acceso a infraestructuras sostenibles.

Los ODS son fundamentales porque promueven un desarrollo equilibrado, inclusivo y respetuoso con el medio ambiente, incentivando la colaboración entre gobiernos, empresas, instituciones académicas y la sociedad civil. En este contexto, la universidad desempeña un papel esencial como motor de conocimiento, innovación y transformación social, especialmente a través de la investigación aplicada y la formación de profesionales comprometidos con el desarrollo sostenible.

En la actualidad, cualquier empresa o proyecto alineado con los ODS adquiere una ventaja competitiva significativa frente a aquellos que no lo hacen, dada la creciente importancia de la sostenibilidad en todos los ámbitos. Por este motivo, el presente TFG, centrado en la optimización de la asignación de turnos de conductores de autobuses interurbanos mediante técnicas de programación lineal, contribuye de manera directa a varios de estos objetivos. En particular, se alinea con:

- **ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico)**, al permitir una distribución más equitativa de los turnos, respetando los descansos mínimos y evitando sobrecargas. Esto mejora la calidad del empleo, reduce el estrés laboral y optimiza la organización interna, favoreciendo la eficiencia y estabilidad operativa.
- **ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura)**, al aplicar tecnología e innovación para modernizar la planificación del transporte, mejorando la toma de decisiones y sustituyendo procesos manuales que resultan menos eficientes y más propensos a errores.
- **ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles)**, al favorecer un servicio público más fiable, continuo y eficiente. Esto refuerza el atractivo del transporte colectivo, reduce la dependencia del vehículo privado y mejora la conectividad entre zonas urbanas y rurales.
- **ODS 13 (Acción por el clima)**, al potenciar el uso del transporte público frente al vehículo privado, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y ayudando a mitigar los efectos del cambio climático, especialmente en entornos urbanos.

1.4. Estructura del TFG

El presente TFG se organiza en seis capítulos, más anexos y bibliografía, de la siguiente manera:

- **Capítulo 1. Introducción:** Comprende la motivación del proyecto, los objetivos, la relevancia y el alcance y cómo contribuye a los ODS.
- **Capítulo 2. Marco referencial:** Define conceptos clave, teoría de programación lineal, modelos de asignación y normativa legal aplicable.

- **Capítulo 3. Metodología:** Describe el caso práctico, empresas implicadas, características técnicas de la flota y qué complemento se utiliza para diseñar el problema.
- **Capítulo 4. Desarrollo:** Define el problema de asignación: conjuntos, parámetros, variables de decisión, función objetivo y restricciones.
- **Capítulo 5. Resultados:** Presenta la implementación y solución óptima, garantiza cumplimiento normativo, corrige la planificación de descansos y compara la asignación actual con la propuesta.
- **Capítulo 6. Conclusiones y futuras líneas de investigación:** Sintetiza hallazgos, reflexiona sobre limitaciones y propone extensiones para la práctica.

2. Marco referencial

En este apartado se recogen los elementos clave necesarios para comprender el contexto en el que se desarrolla el modelo propuesto, ofreciendo una visión integral desde tres enfoques complementarios: conceptual, teórico y legal. En primer lugar, se definen los conceptos fundamentales relacionados con la asignación de turnos y la programación lineal. Seguidamente, se exponen los enfoques teóricos que respaldan el uso de modelos de optimización en la planificación operativa. Finalmente, se enumeran las normativas laborales vigentes, ya que constituyen la base legal sobre la que se construyen las restricciones del modelo. Esta estructura permite establecer una base sólida que justifica y orienta el desarrollo de la solución planteada.

2.1. Marco conceptual

A continuación, se definen con claridad los conceptos que se utilizarán a lo largo del trabajo, por lo que resulta esencial comprender estas definiciones para interpretar correctamente el modelo propuesto y los resultados obtenidos.

2.1.1. *Definiciones clave*

Según la Universidad Europea (2023) y la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (2022):

- **Licitación pública:** Procedimiento mediante el cual una entidad pública convoca un concurso abierto donde distintas empresas privadas presentan propuestas para llevar a cabo una obra, prestar un servicio o suministrar bienes. Este proceso se basa en unas condiciones previamente definidas y finaliza con la adjudicación del contrato a la propuesta que resulte más favorable según los criterios establecidos.

- **Concesión:** Contrato administrativo donde una Administración pública otorga la explotación de unas determinadas rutas a una empresa privada de autobuses, la cual presta servicio en régimen de monopolio.

De acuerdo con el artículo 36.3 de la Ley 2/2015, de 23 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la ley del Estatuto de los Trabajadores (Real Decreto Legislativo 2/2015) y con Martín (2024):

- **Trabajo a turnos:** Implica la rotación de los trabajadores en los mismos puestos de trabajo siguiendo un ritmo continuo o discontinuo.
 - **Turno continuo:** Existen tres turnos (mañana, tarde y noche) durante todo el año. La actividad o producción no se detiene nunca.
 - **Turno discontinuo:** Existen dos turnos (mañana y tarde) de lunes a viernes. La actividad o producción se detiene por las noches y el fin de semana.

De acuerdo con el artículo 4 del Reglamento (CE) n° 561/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo de 2006, relativo a la armonización de determinadas disposiciones en materia social en el sector de los transportes por carretera y por el que se modifican los Reglamentos (CEE) n° 3821/85 y (CE) n° 2135/98 del Consejo y se deroga el Reglamento (CEE) n° 3820/85 del Consejo (Reglamento 561/2006):

- **Período de conducción:** Tiempo acumulado al volante entre pausas o descansos reglamentarios. Este tiempo puede ser continuado o interrumpido.
- **Descanso:** Tiempo continuo en el que el conductor no está obligado a realizar tareas laborales y puede gestionar libremente su tiempo.
- **Pausa:** Intervalo en el que el conductor está exento de realizar tareas de conducción u otras obligaciones laborales, dedicándose exclusivamente al reposo.

2.1.2. Proceso de planificación en el transporte público

Para garantizar un servicio eficiente y adaptado a las necesidades de los trabajadores y usuarios, el proceso común de planificación de las operaciones del transporte público abarca cuatro etapas (Ceder, 2015) distribuidas en una serie de eventos secuenciales, tal y como se puede observar en la Figura 2.

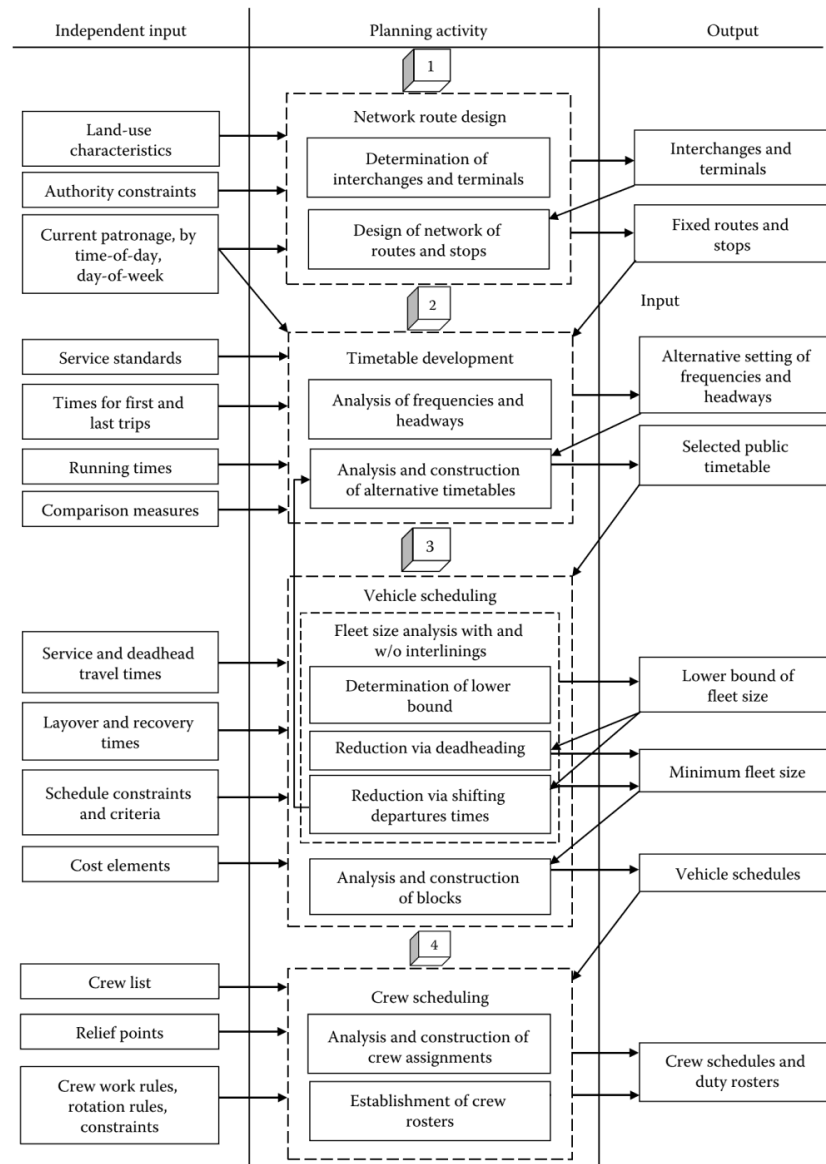


Figura 2. Etapas del proceso de planificación en el transporte público

Fuente: Ceder, 2015

A continuación, se describen las cuatro etapas, donde las dos primeras tienen el foco en asegurar que los usuarios dispongan con la cobertura y calidad de servicio que necesitan, mientras que las dos últimas determinan cómo se asignan los recursos de la flota física de autobuses y conductores para cumplir con lo establecido en las dos primeras etapas.

2.1.2.1. *Diseño de la red de transporte*

La primera etapa corresponde al diseño de la red de transporte, donde se definen las rutas por las que circulará un autobús y la ubicación de paradas, puntos donde se podrán subir o bajar los pasajeros. La red de transporte no está sujeta a cambios habituales. No obstante, podrá sufrir cambios en ocasiones especiales, como obras en algún tramo del recorrido o desviaciones por motivos ajenos (calles cortadas por manifestaciones, fiestas, incidentes temporales...). La Figura 3 muestra el recorrido y las paradas de la línea 2, Alfarp – València.

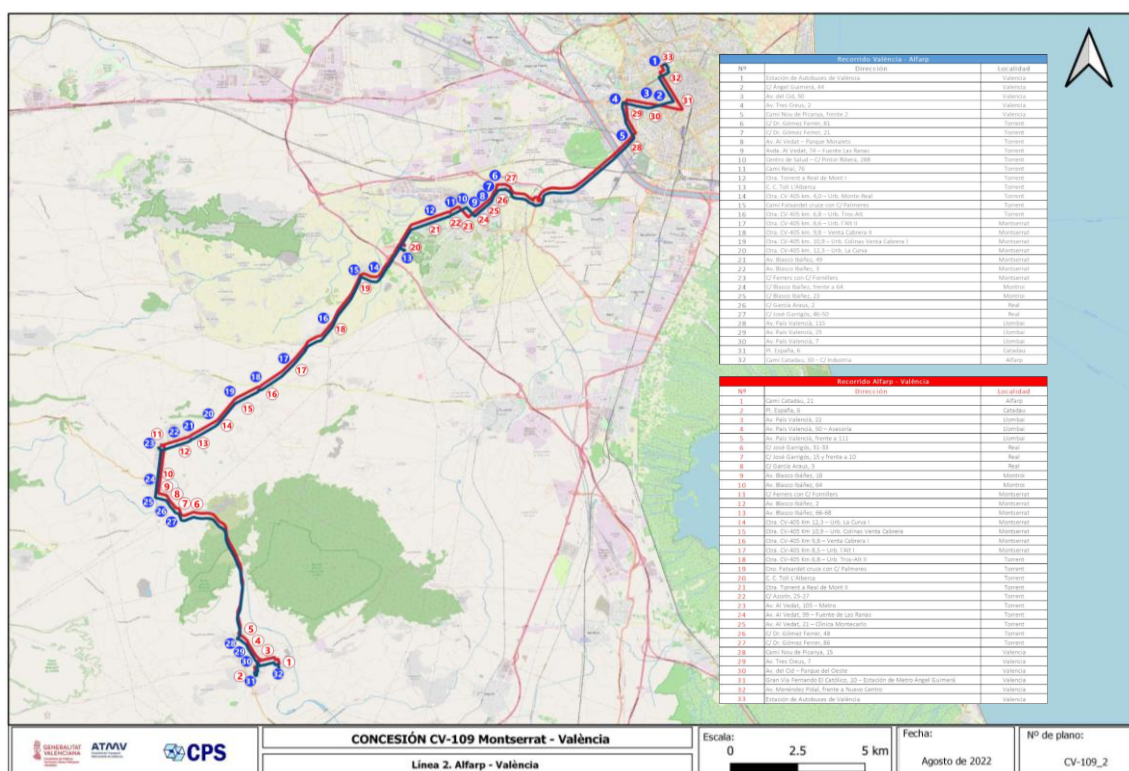


Figura 3. Red de transporte línea 2

Fuente: ATMV

2.1.2.2. *Determinación de los horarios de viaje*

La segunda etapa consiste en determinar los horarios de viaje de los servicios de cada línea de autobús, desde que se posiciona y parte en la cabecera inicial, pasando por cada una de las paradas asociadas, hasta que llega a la cabecera final. Para que esta etapa sea eficiente, la elaboración de los horarios implica minimizar los tiempos de espera y coordinar la frecuencia de los servicios, garantizando de este modo una operación adaptada a los picos de demanda. En la Tabla 2 podemos observar el horario de la línea 2, Alfarp – València para el tipo de día de lunes a viernes laborables, sábados laborables y domingos y festivos.

De Lunes a Viernes laborables		Sábados laborables		Domingos y Festivos	
Salidas de Alfarp	Salidas de València	Salidas de Alfarp	Salidas de València	Salidas de Alfarp	Salidas de València
06:30	07:45				
09:00	10:30	10:15	09:00	10:15	09:00
11:45	13:00		11:30		11:30
14:15	15:30	13:00		13:00	
16:45	18:00		18:40		18:40
19:15	21:30	19:55		19:55	

Tabla 2. Horarios durante todo el año línea 2

Fuente: ATMV

2.1.2.3. *Asignación de autobuses*

La tercera etapa radica en la asignación de la flota de autobuses a las diferentes líneas de la red de transporte y en los distintos horarios de viaje establecidos previamente. Variables como la capacidad del vehículo, el tipo de combustible, los kilómetros a recorrer y la frecuencia de la ruta son restricciones para tener en cuenta para una correcta asignación de la flota.

2.1.2.4. Asignación de conductores

La cuarta etapa se encarga de la asignación del personal de trabajo, es decir, los conductores encargados de llevar a cabo la realización de los viajes. Variables como el cumplimiento de las normativas laborales, los turnos de trabajo, las horas seguidas de conducción permitidas y los descansos son restricciones para tener en cuenta para una correcta asignación del personal.

2.1.3. Planificadores

En el sector del transporte de viajeros por carretera, un planificador es una herramienta de software utilizada por las empresas, tanto urbanas como interurbanas, para optimizar la asignación de recursos, es decir, vincular vehículos a líneas y conductores a vehículos.

El uso de un planificador no es obligatorio, por lo que cada empresa decide si implementarlo o no. Actualmente, existen diversas soluciones en el mercado, que varían en capacidad, nivel de automatización y funcionalidades disponibles. Algunos de ellos son:

- **GoalBus.** Permite la planificación de los autobuses eléctricos y más funcionalidades como crear horarios, servicios de autobús y conductores, comunicar con sistemas de gestión e información de pasajeros, simular múltiples escenarios y crear informes, indicadores y métricas.
- **Remix Public Transit Planning.** Software empleado para diseñar, evaluar y ejecutar, desde la planificación estratégica hasta la planificación del servicio, mediante algoritmos predictivos.
- **Hastus.** Software modular que emplea algoritmos poderosos para la creación de horarios eficientes y optimización de las asignaciones en el transporte público.

2.2. Marco teórico

En este apartado se presentan los conceptos esenciales que sustentan el modelo propuesto, centrados en la programación lineal como herramienta para resolver problemas de asignación de recursos y en el problema de asignación como caso particular de optimización.

2.2.1. Programación lineal

Aunque muchas personas asocian la expresión “programación lineal” con la escritura de código en un ordenador, su significado original es distinto. Tal y como explican Haeussler y Paul (2003), el término “programación” proviene de la terminología militar utilizada durante la Segunda Guerra Mundial, donde aspectos como el entrenamiento, el abastecimiento y la planificación del despliegue de unidades se denominaban “programas”, entendidos como soluciones a problemas de asignación de recursos.

Por ejemplo, imaginemos varias unidades en un frente que necesitan combustible. Cada unidad dispone de distintos vehículos (tanques, camiones, etc.) y una misión específica. Para determinar la distribución óptima de combustible, primero cuantificamos los recursos (litros de combustible disponible, capacidad de carga de cada tanque o camión, autonomía de los vehículos) y luego traducimos esas cantidades en restricciones lineales (carga máxima por viaje, distancia mínima que cada unidad debe recorrer y probabilidades de éxito asociadas a distintas rutas). De este modo, el problema se modela como un sistema de ecuaciones y desigualdades lineales que, al resolverse, indica el “programa” militar más eficaz para asignar recursos y maximizar el rendimiento global.

2.2.1.1. Historia

La historia de la programación lineal es el resultado de una evolución marcada por avances teóricos y aplicaciones prácticas. Desde sus orígenes conceptuales hasta su papel actual en la resolución de problemas complejos, ha sido moldeada por ideas brillantes y

desarrollos metodológicos que la han convertido en una herramienta esencial y versátil en el campo de la optimización moderna.

En su conferencia, Ahmadi (2023) realiza una revisión de los principales hitos en la evolución de la programación lineal, destacando sus orígenes teóricos desde finales del siglo XVIII. Uno de los primeros avances mencionados es el procedimiento desarrollado por Joseph Fourier para el análisis de sistemas de desigualdades lineales, conocido posteriormente como el método de eliminación de Fourier-Motzkin. Aunque esta solución ofrecía una idea revolucionaria en cuanto a factibilidad de sistemas lineales, su ineficiencia práctica limitaba su aplicabilidad.

Ya en la década de 1930, Leonid Kantorovich y Tjalling Koopmans pusieron de nuevo en valor la programación lineal al formalizar problemas económicos de asignación de recursos como modelos de optimización lineal. Entre sus contribuciones más destacadas se encuentra la formulación del problema del transporte, que permitía optimizar el reparto de bienes desde varios orígenes hacia múltiples destinos minimizando costes. Su enfoque permitió resolver cuestiones complejas de planificación y distribución en entornos industriales y gubernamentales. En reconocimiento a sus aportaciones, ambos recibieron el Premio Nobel de Economía en 1975.

En los años cuarenta, John von Neumann, miembro del Institute for Advanced Study (IAS) de Princeton, sentó las bases de la teoría de la dualidad, uno de los pilares conceptuales de la programación lineal. Esta teoría permite vincular todo problema lineal (primal) con un problema asociado (dual), estableciendo una relación que no solo es matemática, sino también interpretativa y económica.

En 1947, el matemático estadounidense y considerado el “padre de la programación lineal”, George B. Dantzig desarrolló el método simplex, considerado el primer algoritmo eficiente para resolver problemas lineales de gran escala. Este método transformó el campo al permitir abordar modelos reales con cientos o miles de variables, siendo adoptado rápidamente en sectores como la logística, la defensa y la producción. Una anécdota interesante relata que Dantzig, al llegar tarde a una clase en Berkeley, asumió que dos problemas escritos en la pizarra eran tareas pendientes, y los resolvió sin saber que se trataba de cuestiones aún abiertas en estadística.

Desde el punto de vista teórico, se alcanzó un nuevo hito en 1979 cuando Leonid Khachiyan demostró que los problemas de programación lineal podían resolverse en tiempo polinomial mediante el método del elipsoide. Aunque su impacto práctico fue limitado por la lentitud del algoritmo, su relevancia teórica era incuestionable. Posteriormente, en 1984, Narendra Karmarkar presentó el primer método de punto interior con complejidad polinómica y un rendimiento competitivo en la práctica, lo que marcó el inicio de una nueva era de algoritmos para la optimización lineal.

En la actualidad, tal como recoge Ahmadi (2023), los métodos simplex y los algoritmos de punto interior se consolidan como las principales herramientas para la resolución de problemas de programación lineal. Cada uno presenta ventajas específicas en función de la estructura, el tamaño y la naturaleza del modelo, lo que permite seleccionar el enfoque más adecuado según el contexto de aplicación.

Gracias a estos avances, la programación lineal se ha consolidado como un pilar fundamental en múltiples disciplinas, desde la investigación operativa hasta la inteligencia artificial, pasando por la economía, la logística, la ingeniería y la ciencia de datos. Su evolución no solo refleja el progreso del pensamiento matemático, sino también su impacto real en el mundo moderno.

2.2.1.2. *Fundamentos y aplicaciones*

La programación lineal es una herramienta fundamental dentro de la investigación de operaciones. Haeussler y Paul (2003) la reconocen como una de sus metodologías más antiguas y potentes, gracias a su capacidad para modelar problemas complejos de toma de decisiones. Esto se logra al formularlos mediante un sistema de ecuaciones y desigualdades lineales, lo que permite a los profesionales optimizar resultados, ya sea maximizando beneficios o minimizando costos, especialmente cuando operan con recursos escasos o bajo ciertas restricciones.

Hoy en día, la programación lineal se emplea en los sectores industrial y económico, aunque su alcance se extiende a muchos otros sectores. Como indican Fedossova et al. (2011), esta técnica también se utiliza en campos tan diversos como las matemáticas, la administración, la estadística o la veterinaria. De hecho, permite resolver

una amplia variedad de problemas en distintos contextos. Entre los más representativos se encuentran el problema del transporte, el problema de planificación de la producción, el problema de la dieta o el problema del flujo en redes, entre otros (Castillo et al., 2002).

Precisamente por la grande versatilidad y el impacto directo que tiene en la eficiencia, la programación lineal es un tema habitual en la formación académica. Por esta razón, se incluye en los planes de estudio de pregrado, especialización, maestría e incluso doctorado, ya sea como asignatura propia o integrada en cursos de investigación de operaciones (Fedossova et al., 2011).

2.2.1.3. Modelo estándar

En este apartado se expone el modelo estándar propuesto por Hillier y Lieberman (2010) para abordar el problema general de asignación de recursos a actividades.

En los modelos de programación lineal, es habitual emplear una notación estandarizada para representar tanto los parámetros (c_j , b_i y a_{ij}) como las variables de decisión (x_j). A continuación, se describen los símbolos más utilizados en el contexto de la asignación de recursos a actividades:

- Z desempeño global del sistema
- x_j nivel de ejecución de la actividad j (para $j = 1, 2, \dots, n$)
- c_j incremento en Z por cada unidad adicional en el nivel de la actividad j
- b_i cantidad disponible del recurso i para asignar a las distintas actividades
(para $i = 1, 2, \dots, m$)
- a_{ij} cantidad consumida del recurso i por cada unidad de la actividad j

La Tabla 3 resume los elementos necesarios que constituyen la base para estructurar el modelo matemático y llevar a cabo su resolución.

Recurso	Consumo de recursos por unidad de actividad				Cantidad de recursos disponibles
	Actividad				
	1	2	...	n	
1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	b_1
2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	b_2
.					.
.	...	...	...	...	.
.					.
m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	b_m
Contribución a Z por unidad de actividad	c_1	c_2	...	c_n	

Tabla 3. Elementos para la formulación de un modelo de programación lineal en la asignación de recursos

Fuente: Hillier y Lieberman, 2010

Dado que los recursos disponibles son limitados, su asignación debe realizarse con especial cuidado para garantizar un uso eficiente. El objetivo principal es determinar los niveles óptimos de las distintas actividades, de forma que se maximice (o minimice) una medida global de desempeño.

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

La ecuación (1) representa la función la función objetivo Z que se desea maximizar.

Un modelo de programación lineal se compone principalmente de tres elementos fundamentales. Según Winston (2004):

- **Función objetivo:** Función matemática que se desea maximizar o minimizar.
- **Variable de decisión:** Variable cuyo valor está bajo nuestro control e influye en el rendimiento del sistema, maximizando o minimizando la función objetivo.
- **Restricción:** Conjunto de condiciones que deben satisfacerse para que la solución sea viable.

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (3)$$

$$\vdots$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n \leq b_m \quad (4)$$

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0, \quad \dots, \quad x_n \geq 0 \quad (5)$$

Las ecuaciones (2), (3) y (4) representan las limitaciones, conocidas como restricciones. A veces reciben el nombre de restricciones funcionales o restricciones estructurales.

La ecuación (5) representa las restricciones de no negatividad o condiciones de no negatividad.

2.2.2. El problema de asignación

El problema de asignación se aborda mediante programación lineal. Tal como señalan Hillier y Lieberman (2010), en este tipo de problema los recursos, como personas, máquinas o vehículos, deben ser asignados a tareas o ubicaciones específicas. Para que este modelo sea aplicable, debe cumplirse una serie de condiciones que garantizan la validez y la eficiencia de la solución obtenida:

- 1) El número de recursos asignados debe coincidir con el número de tareas a realizar (el número es denotado por n).
- 2) Cada recurso debe ser asignado a una única tarea.
- 3) Cada tarea debe ser realizada por un único recurso.
- 4) Existe un coste c_{ij} asociado con el recurso i ($i = 1, 2, \dots, n$) que realiza la tarea j ($j = 1, 2, \dots, n$).
- 5) El objetivo del modelo consiste en encontrar la asignación n óptima de recursos a tareas que minimice el coste total.

Cabe señalar que los tres primeros supuestos son bastante estrictos y no siempre se cumplen en aplicaciones reales. No obstante, en muchos casos es posible reformular el problema para adaptarlo a este modelo, por ejemplo, introduciendo tareas o recursos ficticios. Estas técnicas de adaptación son comunes y se ilustran con ejemplos en la literatura especializada.

2.2.2.1. *Modelo binario para el problema de asignación*

El problema de asignación puede abordarse a través de un modelo matemático basado en variables binarias de decisión (Hillier & Lieberman, 2010):

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el recurso } i \text{ se asigna a la tarea } j \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Donde $i = 1, 2, \dots, n$ y $j = 1, 2, \dots, n$. La variable x_{ij} es binaria, es decir, toma solo los valores 0 o 1.

Estas variables binarias permiten modelar decisiones de “sí” o “no”, y son importantes en investigación de operaciones.

El objetivo es minimizar el coste total Z de las asignaciones:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

La ecuación (6) representa la función objetivo del modelo del problema de asignación, donde c_{ij} es el coste asociado a asignar el recurso i a la tarea j .

La función objetivo está sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{para toda } i \text{ y } j \quad (9)$$

$$x_{ij} \text{ binaria para toda } i \text{ y } j \quad (10)$$

La ecuación (7) indica que cada recurso se asigne a una sola tarea.

La ecuación (8) indica que cada tarea sea realizada por un solo recurso.

La ecuación (9) determina que el número de recursos i asignados a la tarea j debe ser igual o superior a 0.

- Si el recurso i no se asigna a la tarea j ($x_{ij} = 0$)
- Si el recurso i se asigna a la tarea j ($x_{ij} > 0$)

La ecuación (10) señala que la variable x_{ij} es binaria.

2.3. Marco legal

Toda actividad empresarial y profesional debe cumplir una serie de leyes y normativas que regulan su funcionamiento, garantizando el respeto a los derechos de las personas y promoviendo un mercado justo y transparente. Este marco legal varía en función del sector, la ubicación geográfica y la naturaleza de la actividad que realiza cada organización. En este apartado se analizarán las principales disposiciones legales que afectan directamente al sector del transporte de viajeros tanto a nivel nacional como en la provincia de Valencia.

- Según el artículo 284 de la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014 (Real Decreto Legislativo 9/2017):

Las administraciones pueden gestionar de forma indirecta ciertos servicios públicos mediante contratos de concesión, siempre que estos sean susceptibles de explotación económica. En este contexto, la concesión permite a una empresa privada asumir la prestación del servicio durante un tiempo determinado, responsabilizándose

integralmente de su explotación. El contrato debe establecer con claridad su alcance funcional y territorial, así como las condiciones técnicas, económicas y administrativas de la prestación.

- Según la Disposición Adicional del Decreto 147/2023, de 5 de septiembre, del Consell, de aprobación del Reglamento orgánico y funcional de la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Infraestructuras y Territorio (Decreto 147/2023):

El organismo autónomo Autoritat de Transport Metropolità de València (en adelante ATMV) se adscribe a esta Conselleria a través de la Secretaría Autonómica de Infraestructuras y Transportes, que actúa como órgano superior de la misma (artículo 13).

- Según el artículo 7 del Decreto 81/2017, de 23 de junio, del Consell, por el que se aprueba el Reglamento de la Autoridad de Transporte Metropolitano de València (Decreto 81/2017):

El Consejo de Administración es el órgano superior de ATMV. De acuerdo con el artículo 8 del mismo Decreto, entre sus funciones se encuentra la aprobación de la planificación de las redes y servicios de transporte público regular de viajeros, lo que incluye la definición estratégica de las rutas y la estructura general del sistema.

Una vez analizados los artículos de ambos decretos (Decreto 147/2023 y Decreto 81/2017), puede concluirse que la competencia para la gestión y adjudicación de las concesiones de transporte público interurbano de viajeros por carretera corresponde a la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Infraestructuras y Territorio, a través de su Secretaría Autonómica de Infraestructuras y Transportes. La ATMV, como organismo autónomo adscrito a esta Conselleria, no ostenta de forma directa dicha competencia. No obstante, su Consejo de Administración podría ejercerla en caso de delegación expresa por parte de la administración competente.

Tal como se puede comprobar en el apartado ‘Contractes’ de la web oficial de ATMV y en la Plataforma de Contratación del Sector Público, en todas las licitaciones resueltas relativas a contratos de servicio público de transporte de viajeros en autobús en el área metropolitana de Valencia, el órgano de contratación es efectivamente el Consejo de Administración de ATMV. En consecuencia, este órgano actúa con plena responsabilidad en la adjudicación de concesiones. El proceso de contratación es de tipo

abierto, modalidad definida por la Administración General de Estado como aquella en la que cualquier operador económico puede presentar una oferta, sin necesidad de invitación previa, y sin posibilidad de negociación posterior sobre los términos y condiciones del contrato.

Un ejemplo representativo es la licitación identificada con el expediente CMAYOR/2022/03Y04/147, cuyo objeto es la prestación de “Servicios de transporte público regular de viajeros por carretera CV-109 Monserrat-Valencia” (concesión objeto de análisis en el presente TFG). Este contrato fue adjudicado a la empresa AUTOBUSES BUÑOL, S.L., con una duración inicial de diez años y posibilidad de prórroga por cinco años adicionales (tres más dos). El servicio incluye la gestión integral del transporte entre Monserrat y València, cubriendo municipios como Alfarp, Catadau, Dos Aguas, Llombai, Millares, Montroi, Monserrat, Real, Torrent y la ciudad de València. El valor estimado del contrato ascendió a 9.590.684,16 €, mientras que el presupuesto base de licitación fue de 6.593.595,36 € (IVA incluido). Además, el contrato incorpora cláusulas medioambientales y sociales, tales como la inscripción del servicio en el registro de huella de carbono, la utilización de vehículos de bajas emisiones, y el cumplimiento de estándares de seguridad y salud laboral conforme a la norma UNE EN ISO 45001 (Contractes – ATMV y Plataforma de Contratación del Estado).

En resumen, las concesiones se adjudican mediante licitaciones públicas que establecen las condiciones técnicas, económicas y de calidad que deben cumplir las empresas participantes. Este modelo fomenta la competencia entre operadores de autobuses interesados en explotar una determinada ruta. La adjudicación se otorga al operador que presente la mejor propuesta para los usuarios, valorando aspectos como la tarifa más económica, la frecuencia de los servicios y la calidad general del transporte. Una vez concedida la explotación, la empresa adjudicataria asume la gestión completa del servicio, incluyendo la adquisición y mantenimiento de los vehículos, la planificación de rutas y horarios, así como la administración del personal operativo.

- Según el Anuncio 2023/00247 de la Conselleria de Economía Sostenible, Sectores Productivos, Comercio y Trabajo sobre el texto del convenio colectivo de trabajo del sector de transporte de viajeros por carretera (Anuncio 2023/00247):

Las Asociaciones Patronales y Centrales Sindicales que se nombran a continuación son las encargadas de su negociación y firma:

- Federación de Servicios, Movilidad y Consumo de U.G.T. País Valencia (FSMC UGT PV)
- Federación de Servicios la Ciudadanía de CC.OO. País Valencia (FSC CCOO PV)
- Asociación Empresarial de Transporte de Viajeros de Valencia (ADIVA)
- Unión Valenciana de Transportistas de Viajeros en Autocar (UVATRA)

Este convenio establece las condiciones laborales específicas para los conductores de autobús empleados en empresas de transporte de viajeros en dicha provincia. Entre los aspectos más relevantes que regula se encuentran:

- **Salarios.** Fijados en las tablas salariales según las distintas categorías profesionales, incluyendo complementos como dietas y pluses por antigüedad o nocturnidad.
- **Jornadas laborales.** Recogen la duración de la jornada, los descansos obligatorios, la regulación de horas extraordinarias y los días de vacaciones.
- **Condiciones de trabajo.** Relativas a la seguridad y salud laboral, la prevención de riesgos laborales y la formación continua.
- **Otros elementos.** Como la dotación de uniformes, la compensación por kilometraje, entre otros.

Además, el convenio colectivo resulta de gran importancia, ya que mejora las condiciones laborales establecidas por la legislación general mediante cláusulas más favorables para los conductores; garantiza la igualdad de trato, evitando cualquier discriminación por edad, sexo, ideología, religión, raza o nacionalidad; y promueve la negociación colectiva, fomentando el diálogo entre asociaciones empresariales y sindicatos para alcanzar acuerdos que beneficien a ambas partes.

El último convenio colectivo, que entró en vigor el 8 de junio de 2022 y finalizó el 31 de diciembre de 2024 (artículo 2), mantiene su vigencia hasta la firma de un nuevo acuerdo (artículo 3). Por este motivo, el presente proyecto se basa en los datos recogidos en la versión 2022 – 2024. En el apartado 4.1 se describen las normativas específicas que deben cumplirse y que serán consideradas en el modelo propuesto.

3. Metodología

En este capítulo se presenta el caso de estudio sobre el que se aplica el modelo de optimización, incluyendo el contexto territorial, las empresas implicadas y la descripción del problema operativo a resolver. Además, se justifica la elección de Solver como herramienta adecuada para implementar el modelo, dadas sus ventajas en entornos de planificación real con recursos limitados.

3.1. Caso de estudio

Este apartado se desarrolla en el contexto del transporte interurbano de la Comunidad Valenciana, concretamente en el Proyecto de Servicio Público (en adelante PSP) de la concesión CV-109. A través de los subapartados siguientes, se presenta las empresas operadoras implicadas en la explotación, la descripción del problema actual y las especificaciones técnicas de los autobuses interurbanos utilizados en el servicio. Esta información proporciona el marco necesario para entender las condiciones reales en las que se aplica el modelo de optimización propuesto.

3.1.1. *Empresas implicadas*

Para contextualizar el presente trabajo en el ámbito territorial de la provincia de Valencia, es importante distinguir entre dos entidades públicas responsables de la gestión del transporte público de viajeros por carretera. Por un lado, la Empresa Municipal de Transportes de Valencia (en adelante EMT Valencia) y la ATMV. La EMT Valencia se encarga de la gestión del transporte urbano dentro del municipio de Valencia. Por el otro lado, la ATMV es el organismo responsable de coordinar, planificar y supervisar el transporte interurbano en el área metropolitana.

Dado que este proyecto se centra específicamente en el transporte interurbano, se tomará como entidad de referencia exclusivamente a la ATMV.

En este escenario, la integración de organismos como la ATMV y operadores privados como el Grupo Transvia, con sede en el centro de Valencia, colaboran para llevar a cabo el proyecto de planificación y ejecución de los servicios de autobuses interurbanos, o “autobuses amarillos”.

3.1.1.1. ATMV

La ATMV es un organismo autónomo de la Generalitat Valenciana. Su principal función es coordinar y gestionar de manera conjunta el transporte público regular de viajeros en el ámbito metropolitano de Valencia. Esta coordinación incluye tanto las competencias de la Generalitat como las de los municipios que voluntariamente deleguen sus funciones en materia de transporte urbano (ATMV - Generalitat Valenciana).

Dicha entidad pública tiene tanto convenios de adhesión con diferentes ayuntamientos de Valencia, como Albal, Benetússer, Catarroja, Massamagrell, Paiporta, Torrent, etc., como convenios de colaboración con otras entidades y organismos como RENFE, FGV, EMT, etc. Además, también colabora en PSP de transporte con distintas concesiones. Actualmente, existen seis concesiones (Proyectos de servicio público de transporte de viajeros en autobús):

1) CV-102 Valencia Metropolitana Norte

La concesión CV-102, operada por la empresa AVSA, establece la conexión entre las comarcas de El Camp de Morvedre, La Plana Baixa y L’Horta Nord con el entorno metropolitano de Valencia. Dentro de esta área de servicio, los municipios de Albalat dels Sorells, Alboraià, Almàssera, Almenara, Bonrepòs i Mirambell, Canet d’En Berenguer, Emperador, Foios, Massalfassar, Massamagrell, Meliana, Museros, La Pobla de Farnals, La Vall d’Uixó, El Puig de Santa María, Puçol, Rafelbunyol, Sagunt, Tavernes Blanques y València son los principales núcleos de interés.

Las líneas que pertenecen a la concesión CV-102 son: L110, L111, L112A, L112B, L112C, L113, L114A, L114B, L115, L116A, L116B, L116C, L116D, L116E, L117N, L118N y L119N.

2) CV-103 Valencia Metropolitana Nord – Ovest

La concesión CV-103, operada por la empresa EDETANIA, establece la conexión entre las comarcas de l’Horta Sud, l’Horta Nord, El Camp de Túria y Los Serranos con el entorno metropolitano de Valencia. Dentro de esta área de servicio, los municipios de Alboraya, Benaguasil, Benissanó, Bétera, Bugarra, Burjassot, Gestalgar, La Poble de Vallbona, l’Elia, Llíria, Manises, Náquera, Paterna, Pedralba, Riba-Roja de Túria, San Antonio de Benagéber, Serra, València y Vilamarxant son los principales núcleos de interés.

Las líneas que pertenecen a la concesión CV-103 son: L130A, L130B, L131, L132, L133A, L133B, L133N, L134A, L134B, L134N, L135A, L135B, L136A, L136B, L136C, L140A, L140B, L140N, L141, L142A, L142B, L143, L144, L145A, L145B, L145N, L146A, L146B Y L147.

3) CV-106 Valencia Metropolitana Oeste

La concesión CV-106, operada por la empresa FERNANBUS, establece la conexión entre las comarcas de L’Horta Sud y L’Horta Oest con el entorno metropolitano de Valencia. Dentro de esta área de servicio, los municipios de Alaquàs, Albufera, Burjassot, Chiva, Manises, Mislata, Paiporta, Paterna, Picanya, Quart de Poblet, Torrent, Xirivella y València son los principales núcleos de interés.

Las líneas que pertenecen a la concesión CV-106 son: L106A, L106B, L106C, L150, L150N, L152, L153N, L160A, L160B, L161A, L161B, L161C, L161N, L162, L163, L164, L165, L170A, L170B y L170C.

4) CV-107 La Hoya de Buñol – Valencia

La concesión CV-107, operada por la empresa BUÑOL, establece la conexión entre las comarcas de La Hoya de Buñol, La Ribera Alta y L’Horta Oest con el entorno metropolitano de Valencia. Dentro de esta área de servicio, los municipios de Alborache, Albufera, Buñol, Cheste, Chiva, Cortes de Pallás, Godella, Macastre, Manises, Mislata, Loriguilla, Quart de Poblet, Riba-Roja de Túria, Turís, València y Yátova son los principales núcleos de interés.

Las líneas que pertenecen a la concesión CV-107 son: L430A, L430B, L431A, L431B, L432A, L432B, L433A, L433B, L434, L435A, L435B, L435C, L436, L437, L438A y L438B.

5) CV-108 Valencia Metropolitana Sur

La concesión CV-108, operada por la empresa HERCA, establece la conexión entre las comarcas de L'Horta Sud y La Ribera Baixa con el entorno metropolitano de Valencia. Dentro de esta área de servicio, los municipios de Albal, Alcàsser, Alfafar, Benetússer, Beniparrell, Catarroja, Massanassa, Paiporta, Picanya, Picassent, Sedaví, Silla, Sueca, Torrent y València son los principales núcleos de interés.

Las líneas que pertenecen a la concesión CV-108 son: L180, L181, L182, L182N, L183, L184, L185, L186A, L186B, L187 y L191.

6) CV-109 Monserrat – Valencia

La concesión CV-109, operada por la empresa BUÑOL, establece la conexión entre las comarcas de La Ribera Alta, La Hoya de Buñol y La Canal de Navarrés con el entorno metropolitano de Valencia. Dentro de esta área de servicio, los municipios de Alfarp, Catadau, Dos Aguas, Llombai, Millares, Montroi, Montserrat y Real son los principales núcleos de interés.

Las líneas que pertenecen a la concesión CV-109 son: L500A, L500B, L501, L502A y L502B.

Cada concesión cubre determinadas comarcas del área interurbana de la provincia de Valencia, facilitando la conexión entre los municipios y el núcleo urbano de la ciudad. En este sentido, los municipios incluidos en este estudio forman parte del ámbito de la concesión CV-109. Actualmente, estas cinco concesiones gestionan el transporte interurbano, constituyendo una estructura clave para garantizar una movilidad eficiente, segura y accesible. Su adecuada gestión y distribución territorial permiten conectar eficazmente los distintos municipios, contribuyendo al desarrollo regional y a mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

La aprobación del régimen tarifario correspondiente a los servicios de transporte público regular de viajeros por carretera recae en el Consejo de Administración de ATMV (ATMV - Generalitat Valenciana). Por tanto, es este organismo el responsable de fijar las tarifas aplicables al transporte interurbano de viajeros entre los municipios incluidos en cada concesión.

La Tabla 4 y Tabla 5 muestran las matrices de distancias entre los municipios integrados en la concesión CV-109. Estas matrices permiten visualizar de manera clara la distancia total de los trayectos. Por ejemplo, la distancia de ida y vuelta entre València y Alfarp es de 43 km; entre València y Catadau, 41 km; y entre València y Llombai, 39 km. El mismo criterio se aplica al resto de poblaciones.

Alfarp									
2	Catadau								
4	2	Llombai							
12	10	8	Real						
14	12	10	2	Montroi					
18	16	14	6	4	Montserrat				
22	20	18	10	8	4	Venta Cabrera			
27	25	23	15	13	9	5	Montreal		
31	29	27	19	17	13	9	4	B° San Gregorio	
34	32	30	22	20	16	12	7	3	Torrente
43	41	39	31	29	25	21	16	12	Valencia

Tabla 4. Matriz 1 de distancias entre núcleos CV-109

Fuente: ATMV

Millares									
6	Dos Aguas								
36	30	Real							
38	32	2	Montroi						
42	36	6	4	Montserrat					
46	40	10	8	4	Venta Cabrera				
51	45	15	13	9	5	Montreal			
55	49	19	17	13	9	4	B° San Gregorio		
58	52	22	20	16	12	7	3	Torrente	
67	61	31	29	25	21	16	12	Valencia	

Tabla 5. Matriz 2 de distancias entre núcleos CV-109

Fuente: ATMV

Actualmente, para el cálculo de las tarifas del billete sencillo se utilizan fórmulas matemáticas basadas en la distancia recorrida en kilómetros entre los diferentes núcleos de población (Tabla 4 y Tabla 5). Estas fórmulas incluyen una tarifa base por usuario y se ajustan a lo establecido en la Resolución de 1 de junio de 2021, del Consejo de Administración de la Autoritat de Transport Metropolità de València, por la que se establecen las tarifas kilométricas máximas revisadas, el mínimo de percepción de las concesiones de servicio público de transporte regular de viajeros por carretera del área metropolitana de València y las tarifas aplicables a los usuarios y las usuarias.

En función del perfil del usuario, se aplican diferentes tarifas que resultan de incrementar o descontar la tarifa base según los siguientes criterios:

- 1) Tarifa general: Incremento del 5,29% sobre a la tarifa base.
- 2) Tarifa mayores de 65 años: Descuento del 30% respecto a la tarifa base.
- 3) Tarifa familia numerosa general: Descuento del 20% respecto a la tarifa base.
- 4) Tarifa familia numerosa especial: Descuento del 50% respecto a la tarifa base.

El mínimo de percepción se define como el importe mínimo que el concesionario debe recibir por cada trayecto realizado por un usuario. En los casos en que la tarifa calculada para un billete sencillo sea inferior a este valor, se aplica el mínimo de percepción como precio final. Es decir, el usuario nunca abonará una cantidad inferior a dicho umbral mínimo, independientemente de los descuentos aplicables.

3.1.1.2. Grupo Transvia

El Grupo Transvia se fundó en 1967 como una empresa dedicada al transporte en autobús en la Comunidad Valenciana. Desde entonces, ha experimentado un continuo proceso de crecimiento, evolución y diversificación de sus servicios. En la actualidad, el grupo está formado por 52 empresas y cuenta con una plantilla de aproximadamente 2.000 profesionales. Su actividad se orienta a ofrecer soluciones adaptadas a sectores en constante transformación, como la movilidad, el turismo, la automoción, la comunicación y la sanidad. Además, desarrolla un programa activo de Responsabilidad Social Corporativa (RSC), a través del cual impulsa iniciativas como campañas de limpieza de playas, carreras solidarias o la entrega de juguetes durante la Navidad.

En el ámbito de la movilidad, el grupo presta servicios de transporte urbano, interurbano, discrecional, así como alquiler de vehículos y bicicletas (Grupo Transvia). En particular, el servicio discrecional se define como aquel que no está incluido en la categoría de servicios regulares ni en la de servicios regulares especiales, y que se caracteriza principalmente por el transporte de grupos previamente organizados, ya sea por encargo del cliente o por iniciativa del propio transportista (Servicios discrecionales – Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible). Para cubrir estos servicios, el grupo opera a través de distintas marcas (véase Figura 4).



Figura 4. Logos de marcas de movilidad de Grupo Transvia

Fuente: Grupo Transvia

Este proyecto se centra específicamente en la movilidad interurbana gestionada por Transvia GO, una marca que agrupa a diversas empresas del sector del transporte en autobús (véase Figura 5).



Figura 5. Empresas de autobuses de Transvia GO

Fuente: Transvia GO

Transvia GO es la entidad responsable de planificar y coordinar las rutas, establecer los horarios y gestionar la asignación tanto de vehículos como de personal. A través de sus plataformas, los usuarios pueden consultar la información actualizada sobre los itinerarios, los horarios y las tarifas de las distintas líneas operadas, lo que facilita el acceso al servicio y mejora la experiencia del usuario (Transvia GO).

Como se indica en el apartado 2.3, la empresa AUTOBUSES BUÑOL, S.L. es la actual adjudicataria de la concesión CV-109 Monserrat-Valencia para la operación de líneas de autobús interurbano, en el marco del sistema gestionado por la ATMV. Fundada en 1963 con la concesión Valencia-Buñol-Yátova y una flota inicial de quince autobuses, la constitución de AUTOBUSES BUÑOL, S.L. no supuso la creación de un nuevo negocio, sino la transformación del nombre comercial “Autobuses Buñol”, bajo el que Don Francisco Lerma Sanchís operaba desde los años 50, en la actual razón social. Desde sus inicios, la empresa no solo explotó la concesión entre Valencia, Buñol y Yátova, sino que también ofreció servicios de transporte escolar, traslados de trabajadores a fábricas y viajes discrecionales, ampliando así su ámbito de actuación. En agosto de 1985, la propiedad del capital de la empresa fue transferida al Grupo Transvia, un destacado referente en el sector del transporte tanto en la Comunidad Valenciana como a nivel nacional, reconocido por su prestigio y trayectoria en toda España.

3.1.2. Descripción del problema

Desde sus orígenes, la gestión del transporte público ha requerido la asignación eficiente tanto de vehículos a las distintas líneas de autobús como de conductores a cada unidad disponible. En sus primeras etapas, este proceso se realizaba de forma manual sobre papel, lo que implicaba una planificación compleja, lenta y susceptible a errores. Con el avance tecnológico, se incorporaron sistemas de comunicación por radio que permitieron una mayor flexibilidad y capacidad de reacción ante incidencias. Posteriormente, el desarrollo de software especializado ha transformado significativamente esta tarea, posibilitando una distribución más eficiente de los recursos, una planificación operativa optimizada y una mejor adaptación a las variaciones de la demanda en tiempo real.

Toda empresa busca maximizar beneficios y minimizar costos. La empresa privada objeto de estudio lleva más de una década utilizando un planificador, al que denominaremos planificador X por motivos de confidencialidad, para la asignación de flota y personal, lo que les ha permitido alcanzar un dominio técnico destacado de esta herramienta.

No obstante, pese a haber sido una solución avanzada en su momento, actualmente presenta importantes limitaciones, ya que carece de algoritmos de optimización y requiere la introducción manual de turnos y horarios, lo que conlleva un elevado consumo de recursos administrativos. Por tanto, el planificador X ya no responde a las exigencias actuales del sector en términos de eficiencia operativa y reducción de costes.

Ante las limitaciones operativas que presenta el sistema actual de planificación, el presente TFG plantea el desarrollo de un modelo de optimización orientado a la asignación de personal en el ámbito del transporte interurbano. Este modelo integra técnicas de optimización matemática y principios de investigación de operaciones que permitan asignar turnos de trabajo óptimos, adaptados a la demanda del servicio y a las restricciones de la empresa. Además, se pretende ofrecer una solución flexible, escalable y automatizada, capaz de complementar o sustituir al sistema actual, contribuyendo así a una gestión más eficaz de los recursos humanos en este sector.

3.1.3. Especificaciones de los autobuses interurbanos

Todos los autobuses adscritos al servicio de transporte interurbano deben cumplir con los requisitos y características técnicas establecidas por la ATMV. Estas especificaciones están detalladas en el PSP de cualquier concesión.

Entre los requisitos más relevantes se encuentran los siguientes:

- Cada concesión debe contar con un número mínimo de vehículos titulares, destinados a la operación diaria, y vehículos de reserva, que garanticen la continuidad del servicio ante averías, refuerzos puntuales o causas de fuerza mayor.

En el caso de la concesión CV-109, se dispone de dos vehículos titulares y uno de reserva, todos ellos de clase II, diésel y con una capacidad de 40 plazas sin contar la del conductor.

- La edad máxima permitida para cualquier vehículo adscrito al servicio es de 10 años desde su primera matriculación. Una vez superado ese límite, el vehículo debe ser retirado del servicio y sustituido.

En el caso de la concesión CV-109, todos los vehículos son de nueva adquisición, por lo que cuentan con su primera matriculación en el marco de esta adjudicación.

Los autobuses deben garantizar condiciones de accesibilidad, seguridad y confort. Entre las especificaciones más destacadas se incluyen:

- Mínimo dos asientos reservados para personas con movilidad reducida (PMR) y espacio para dos sillas de ruedas, o conforme a la normativa vigente.
- Cinturones de sujeción para sillas de ruedas.
- Avisos acústicos para personas con discapacidad visual y subtitulación en caso de proyección audiovisual.
- Suelo antideslizante y bordes de escalones señalizados.
- Barras y asideros (asas) para facilitar el acceso y salida del vehículo.
- Acceso gratuito a perros guía o de asistencia debidamente identificados.
- Transporte gratuito de órtesis y dispositivos de apoyo en la bodega del autobús.
- Sistema de climatización completo, con aire acondicionado y calefacción.

Estos requisitos y condiciones técnicas garantizan que la flota adscrita a la concesión CV-109 preste un servicio moderno, accesible, seguro y eficiente durante toda la vigencia del contrato.

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de autobús interurbano. Este tipo de vehículos, además de cumplir con requisitos técnicos y funcionales, deben respetar unas normas estéticas específicas. En ambos laterales del autobús, junto a la simbología de MetroBus, debe incorporarse la imagen institucional de la Generalitat Valenciana, situada preferentemente sobre las ventanillas o en la parte inferior de la carrocería, en función de la existencia o no de publicidad. Este distintivo debe incluir el símbolo oficial seguido del texto “Generalitat Valenciana” en dos líneas, así como la configuración gráfica de la

ATMV, también en dos líneas: la primera con el texto “Autoritat de Transport” y la segunda con “Metropolità de València”. Asimismo, el símbolo de la Generalitat Valenciana debe figurar en ambos laterales de la parte trasera del vehículo.



Figura 6. Elementos y símbolos obligatorios

Fuente: ATMV

3.2. Solver

Solver es una herramienta de optimización incluida como complemento en Microsoft Excel que permite encontrar soluciones óptimas a problemas complejos, donde se busca maximizar o minimizar una función objetivo ajustando una serie de variables bajo ciertas restricciones. Esta funcionalidad se basa en técnicas matemáticas avanzadas y su propósito es ayudar al usuario a tomar decisiones óptimas en escenarios donde intervienen múltiples factores. Su utilidad radica en la capacidad de encontrar valores adecuados para ciertas celdas, denominadas variables de decisión, que afectan el resultado de una fórmula objetivo, todo ello cumpliendo con una serie de condiciones impuestas por el usuario, conocidas como restricciones (Soporte técnico de Microsoft, 2025).

El funcionamiento de Solver parte de la definición de tres elementos clave:

- **Celda objetivo**, que contiene el resultado que se desea optimizar. Por ejemplo, maximizar beneficios o minimizar costes.
- **Celdas de variables de decisión**, que son aquellas cuyos valores se modificarán automáticamente para alcanzar el objetivo propuesto.

- **Restricciones**, que representan los límites o condiciones que deben cumplirse durante el proceso de optimización. Por ejemplo, no superar un presupuesto, mantener un determinado nivel de producción o no asignar más de cierta cantidad de recursos a una tarea concreta.

Una vez definidos estos componentes, el usuario selecciona el tipo de optimización deseada (maximizar, minimizar o un valor específico) y elige el método de resolución más adecuado según la naturaleza del problema. Solver ofrece tres métodos:

- 1) **Simplex LP**, para problemas lineales.
- 2) **GRG No Lineal**, para problemas continuos con relaciones no lineales.
- 3) **Evolutivo**, que aplica técnicas heurísticas para situaciones especialmente complejas o no diferenciables.

Una de las mayores ventajas de Solver es que permite modelar situaciones reales con un alto grado de precisión sin necesidad de recurrir a software externo o lenguajes de programación específicos. Su aplicación es muy amplia: desde la planificación financiera y la gestión de carteras de inversión hasta la programación de turnos de trabajo, la asignación óptima de recursos o la planificación de rutas logísticas. Además, Solver realiza un análisis iterativo del problema, es decir, prueba múltiples combinaciones de valores posibles hasta encontrar la solución óptima o la mejor posible dentro de los límites establecidos. Al final del proceso, el complemento proporciona la opción de generar informes que detallan el comportamiento de las variables, el cumplimiento de las restricciones y la sensibilidad de la solución encontrada.

3.2.1. Justificación de la elección

La elección del complemento Solver como herramienta para el desarrollo del presente TFG responde a su idoneidad como solución eficaz para abordar problemas de optimización en contextos reales. Además, su uso resulta especialmente oportuno dado que fue objeto de estudio durante el tercer curso del grado, en la asignatura de Investigación de Operaciones, lo que permite a la autora del documento una familiarización previa con su funcionamiento y aplicaciones.

Una de las principales ventajas de Solver es su integración directa con Microsoft Excel, una plataforma utilizada tanto en el ámbito académico como en el profesional. Esta integración facilita el trabajo con datos y modelos directamente en una hoja de cálculo convencional, sin necesidad de instalar software adicional, realizar configuraciones técnicas complejas o aprender nuevos entornos de programación. Al tratarse de un complemento, su activación es sencilla y su uso se incorpora de manera natural al entorno de trabajo.

Otro aspecto destacable es su interfaz intuitiva, que, junto a una curva de aprendizaje moderada, lo convierte en una herramienta accesible para usuarios sin conocimientos avanzados en programación, álgebra lineal o métodos numéricos. En Solver, todo el proceso, desde la formulación del problema hasta la obtención de resultados, se desarrolla mediante cuadros de diálogo guiados que orientan al usuario paso a paso, lo que lo hace especialmente útil en contextos educativos y en proyectos con limitaciones de tiempo.

Además de su facilidad de uso, Solver destaca por su gran versatilidad. Es capaz de resolver una amplia variedad de problemas, desde aquellos de naturaleza lineal hasta modelos más complejos con relaciones no lineales y restricciones avanzadas. La herramienta permite seleccionar entre diferentes métodos de resolución (Simplex, GRG No Lineal y Evolutivo). Esta diversidad metodológica le otorga un amplio margen de aplicación en distintas áreas del conocimiento.

Estas características hacen de Solver una herramienta práctica, robusta y eficiente, ideal para modelar y resolver situaciones reales de forma precisa y directa, dentro de un entorno familiar como Excel. No obstante, conviene tener en cuenta sus limitaciones en cuanto al número de variables y restricciones, según se ha expuesto previamente en el apartado 1.2.

Tal como explican Hillier y Lieberman (2010), existen otras herramientas de resolución, como MPL (en adelante Mathematical Programming Language) o LINGO, basadas en lenguajes de modelado algebraico específicos. Si bien ofrecen una gran potencia y flexibilidad, su uso requiere la escritura de código y el conocimiento de una sintaxis propia, lo que puede suponer una barrera de entrada para usuarios sin formación en programación. Además, se trata de herramientas cuya versión gratuita presenta

limitaciones funcionales, mientras que el acceso completo requiere licencias de pago, lo que supone un desembolso económico y una mayor exigencia formativa para su correcta implementación. En cambio, Solver permite formular y resolver modelos complejos de forma gráfica, sin necesidad de codificación, lo que lo convierte en una alternativa adecuada para el enfoque práctico y aplicado de este trabajo.

4. Desarrollo

A continuación, se plantea con detalle el problema de asignación de conductores en el transporte interurbano, partiendo de las restricciones legales vigentes (jornadas máximas y mínimas, descansos obligatorios, límites de horas semanales, etc.) que condicionan el diseño del modelo. También se identificarán y definirán las variables de decisión y se establecerán las restricciones matemáticas que deben satisfacerse. Sobre esta base se formulará el modelo de programación lineal binaria. Finalmente, se describirá el procedimiento de implementación en Solver de Excel.

4.1. Definición del problema

Como se mencionó en el apartado 2.3, el Convenio Colectivo establece el marco legal que condiciona las restricciones del modelo propuesto. Estas disposiciones determinan los límites dentro de los cuales debe formularse matemáticamente la asignación de conductores. A continuación, se resumen las principales restricciones extraídas del convenio:

- Jornada anual: 1.768 horas (art. 18.1)
- Jornada mínima diaria: 6 horas (art. 18.1)
- Jornada máxima diaria: 9 horas (art. 19.7)
- Cómputo de jornada: 160 horas en período cuatri – semanal (art. 19.3)
- Descansos semanales: 2 días, siendo obligatorio al menos 1 día de descanso (art. 19.4)
- Descanso entre jornadas: mínimo de 11 horas (art. 19.6)
- Tiempo máximo de conducción continua: 4,5 horas (art. 19.7)
- Pausa mínima obligatoria: 45 min (art. 19.7)

En cuanto al número máximo de horas extraordinarias permitidas, el artículo 19.1 del convenio remite al artículo 35 del Estatuto de los Trabajadores (publicado en el Boletín Oficial del Estado). En concreto, el artículo 35.2 establece que ‘el número de horas extraordinarias no podrá ser superior a 80 al año’.

4.2. Modelo

En este apartado se desarrolla el modelo de programación lineal entera binaria utilizado para resolver el problema de asignación de turnos. Se definen los conjuntos, parámetros y variables de decisión, así como la función objetivo y las restricciones que estructuran el modelo. El objetivo es formalizar matemáticamente el problema planteado, garantizando una solución óptima que cumpla con los requisitos operativos y normativos del servicio.

4.2.1. Conjuntos

- Conjunto de todos los conductores: $i = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- Conjunto de todos los turnos: $j = \{M, T\}$
- Conjunto de todos los días: $k = \{L, R, X, J, V, S, D\}$

4.2.2. Parámetros

- h_{ik} horas trabajadas diarias por el conductor i el día k
- h_{min} horas mínimas diarias
- h_{max} horas máximas diarias
- H_{ik} horas totales semanales
- D_{min} días mínimos de descanso semanal
- D_{max} días máximos de descanso semanal
- $demand_{jk}$ número de autobuses operativos en el turno j el día k
- N_{max} número máximo de conductores totales

4.2.3. Variables de decisión

- $x_{ijk} \in \{0,1\}$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si el conductor } i \text{ tiene asignado el turno } j \text{ el día } k \\ 0 & \text{el contrario} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = 84 \text{ variables binarias}$$

- $d_{ik} \in \{0,1\}$

$$d_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{si el conductor } i \text{ descansa el día } k \\ 0 & \text{el contrario} \end{cases}$$

$$d_{ik} = 42 \text{ variables binarias}$$

Con un total de 126 variables, el modelo se sitúa dentro del límite de 200 variables establecido por Solver.

4.2.4. Función objetivo

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=M}^T \sum_{k=L}^D x_{ijk} d_{ik} \quad (11)$$

La ecuación (11) representa la función objetivo Z del modelo propuesto. Tanto x_{ijk} como d_{ik} son variables binarias, por lo que solo pueden tomar los valores 1 o 0. El producto $x_{ijk} d_{ik}$ solo puede ser igual a 1 en el caso en que a un conductor i se le asigne un turno j el día k ($x_{ijk} = 1$) y, al mismo tiempo, ese día esté marcado como día de descanso para ese mismo conductor ($d_{ik} = 1$). Este escenario representa una incompatibilidad, ya que un trabajador no puede estar asignado a un turno y descansar el mismo día. Por tanto, al minimizar esta expresión, el modelo penaliza automáticamente cualquier solapamiento entre días de descanso y turnos asignados, asegurando que no se produzcan asignaciones inválidas.

4.2.5. Restricciones

- 1) Turno o descanso (para cada i, k)

$$\sum_j x_{ijk} + d_{ik} = 1 \quad \forall i, k \quad (12)$$

- 2) Días de descanso (para cada i)

$$D_{min} \leq \sum_k d_{ik} \leq D_{max} \quad (13)$$

- 3) Período mínimo entre turnos (de 11 horas)

$$x_{iT_k} + x_{iM_{k+1}} \leq 1 \quad (14)$$

- 4) Cobertura para autobuses (para cada j, k)

$$\sum_{i=1}^6 x_{ijk} = demanda_{jk} \quad \forall j, k \quad (15)$$

- 5) Número máximo de conductores

$$\sum_j x_{ijk} \leq N_{max} \quad \forall k \quad (16)$$

- 6) Horas mínimas y máximas diarias

$$h_{min} \sum_j x_{ijk} \leq h_{ik} \leq h_{max} \sum_j x_{ijk} \quad \forall i, k \quad (17)$$

- 7) Horas totales semanales (para cada i)

$$\sum_k h_{ik} = H_{ik} \quad (18)$$

- 8) No negatividad

$$x_{ijk}, d_{ik} \geq 0 \quad (19)$$

9) Binaria

$$x_{ijk}, d_{ik} \text{ binarias} \quad (20)$$

La ecuación (12) establece que cada conductor i puede tener un único turno j el día k o descansa, es decir:

- Si el conductor i tiene un turno j el día k ($x_{ijk} = 1$), no descansa ($d_{ik} = 0$)
- Si el conductor i no tiene un turno j el día k ($x_{ijk} = 0$), sí descansa ($d_{ik} = 1$)

La ecuación (13) indica que el número de días k de descanso semanal del conductor i debe estar comprendido entre el número de días mínimos de descanso y el número de días máximos de descanso, donde $D_{min} = 1$ y $D_{max} = 2$. En el Solver, la ecuación (13) se dividirá en dos restricciones:

- $\sum_k d_{ik} \geq 1$
- $\sum_k d_{ik} \leq 2$

La ecuación (14) determina que el período mínimo entre dos turnos j consecutivos, para cada conductor i y para cada par de días consecutivos k y $k + 1$, debe ser mínimo de 11 horas. Ejemplo: si el conductor 1 tiene asignado el turno de tarde el lunes, no podrá tener asignado el turno de mañana el martes.

La ecuación (15) indica el número de autobuses operativos en el turno j el día k y que, por tanto, el número de conductores i deben ser suficientes para cubrir la demanda de autobuses que se requiere.

Donde para:

- $k = \text{de } L \text{ a } V \Rightarrow \text{demanda}_{M=2, T=2}$
- $k = S \text{ o } D \Rightarrow \text{demanda}_{M=2, T=2}$

La ecuación (16) establece el número máximo de conductores i que pueden estar disponibles para la concesión CV-109, donde $N_{max} = 6$.

La ecuación (17) determina que las horas trabajadas diarias por el conductor i el día k deben estar comprendidas entre las horas mínimas diarias y las horas máximas diarias, donde $h_{min} = 6$ y $h_{max} = 9$. Entonces:

- Si el conductor i trabaja ($\sum_j x_{ijk} = 1$) $\Rightarrow 6 \leq h_{ik} \leq 9$
- Si el conductor i descansa ($\sum_j x_{ijk} = 0$) $\Rightarrow h_{ik} = 0$

La ecuación (18) define que la suma de las horas trabajadas diarias por el conductor i el día k durante la semana, corresponde al número de horas totales semanales, donde $H_{ik} = 40$.

La ecuación (19) establece que el número de conductores i asignados al turno j el día k y el número de días k de descanso del conductor i deben ser igual o superior a 0. Representa la restricción de no negatividad o condición de no negatividad.

La ecuación (20) indica que las variables x_{ijk} y d_{ik} son binarias.

Para hacer el modelo más realista: los conductores 5 y 6 tienen días acumulados y han decidido pedir un día de descanso cada uno esta semana, por lo que ambos trabajarán solo 4 días en lugar de 5.

10) Días de descanso (para $i = 5$ y $i = 6$):

$$\sum_k d_{5k} = 3 \quad (21)$$

$$\sum_k d_{6k} = 3 \quad (22)$$

Las ecuaciones (21) y (22) determinan que los conductores 5 y 6 tendrán un total de 3 días de descanso en la semana de estudio.

El modelo presenta un total de 99 restricciones, cumpliendo así con el límite de 100 restricciones establecido por la herramienta Solver.

5. Resultados

En este apartado se describe de forma ordenada el proceso de construcción del modelo de programación lineal binaria para la asignación de conductores. Se establecen las hipótesis y simplificaciones necesarias con el fin de reducir el número de variables y restricciones y garantizar la viabilidad computacional en Solver de Excel.

En primer lugar, se definen turnos de trabajo de 8 horas cada uno. Esta durabilidad de turno se encuentra dentro del margen de horas mínimas y máximas diarias, 6 y 9 horas respectivamente, por lo que la ecuación (17) se cumple. En concreto, se proponen tres posibles turnos, determinados según la hora de entrada y salida, tal y como se muestra en la Tabla 6:

- Turno M: entrada a las 06:00 de la mañana y salida a las 14:00 de la tarde.
- Turno T: entrada a las 14:00 de la tarde y salida a las 22:00 de la noche.
- Turno N: entrada a las 22:00 de la noche y salida a las 06:00 de la mañana.

Turno	Hora entrada	Hora salida	Duración
M	06:00:01	14:00:00	8h
T	14:00:01	22:00:00	8h
N	22:00:01	06:00:00	8h

Tabla 6. Turnos laborales

Fuente: Elaboración propia

Nota: Cada turno incluye el descanso reglamentario de 45 minutos, así como el tiempo de conducción necesario para la incorporación desde las cocheras al inicio de la jornada y su retirada al finalizar. Cabe señalar que, aunque el turno nocturno no forma parte de la planificación ordinaria de la concesión CV-109, se contempla como una opción adicional para cubrir averías o necesidades excepcionales, como la celebración de eventos, festividades locales o situaciones de alta demanda, como es el caso de Las Fallas u otras actividades nocturnas relevantes.

A continuación, se presenta la cantidad de turnos j requeridos a lo largo de la semana, determinada por las necesidades de cobertura en cuanto a la disponibilidad de autobuses operativos, tal como se indica en la Tabla 7. Estos turnos deben garantizar la correcta ejecución de las rutas asignadas.

Línea	L - V		S - D	
	M	T	M	T
1	1	1	0	0
2			1	1
3A	1	1	0	0
3B			1	1
Nº autobuses	2	2	2	2

Tabla 7. Número de autobuses requeridos

Fuente: Elaboración propia

Nota: De lunes a viernes, las líneas 1 y 2 comparten el mismo autobús, al igual que las líneas 3A y 3B. En cambio, las líneas 1 y 3A no prestan servicio durante los fines de semana (sábados y domingos).

Posteriormente, se incorporan al modelo las restricciones (12), (13), (14), (15), (16), (21) y (22) y se procede a ejecutar el Solver. Dado que se trata de un modelo con variables binarias, el resultado de la optimización indicará con un valor de “1” si el conductor i ha sido asignado al turno j en el día k y con un “0” en caso contrario. Esta asignación puede consultarse en la Tabla 8.

Conductor	L		R		X		J		V		S		D	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
2	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
3	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
4	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
5	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
6	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Tabla 8. Matriz binaria de asignación de turnos con Solver

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 9 muestra de forma más clara la solución obtenida en la Tabla 8, facilitando la lectura de la planificación semanal de turnos. En ella, se utiliza la letra “M” para indicar que un conductor ha sido asignado al turno de mañana, la letra “T” para el turno de tarde, y el símbolo “/” para señalar que no tiene turno asignado ese día.

Conductor	L	R	X	J	V	S	D
1	M	T	/	/	M	T	T
2	/	T	T	T	T	/	M
3	T	/	M	M	M	M	/
4	T	/	M	M	/	M	M
5	/	M	T	T	T	/	/
6	M	M	/	/	/	T	T

Tabla 9. Turnos asignados a los conductores

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la planificación de los días de descanso, al tratarse también de una variable binaria, el Solver devuelve un “1” cuando el conductor i tiene asignado el día k como descanso, y un “0” cuando trabaja. Estos días de descanso se recogen en la Tabla 10. Si se observa esta tabla, se puede apreciar una coincidencia directa entre los valores “1” (descanso) y el símbolo “/” (sin turno asignado) de la Tabla 9, lo cual confirma la consistencia del modelo en la asignación de turnos y descansos.

Conductor	L	R	X	J	V	S	D
1	0	0	1	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0
3	0	1	0	0	0	0	1
4	0	1	0	0	1	0	0
5	1	0	0	0	0	1	1
6	0	0	1	1	1	0	0

Tabla 10. Días de descanso

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los conductores 5 y 6 disponen de tres días de descanso durante la semana, en lugar de los dos habituales. Esta situación responde a las preferencias, recogidas en las ecuaciones (21) y (22) del modelo, donde ambos conductores han solicitado un día adicional de descanso debido a que cuentan con días

acumulados. Esta circunstancia conlleva una reducción temporal de su jornada semanal a 32 horas, frente a las 40 horas estándar. Este ajuste se considera excepcional y puede compensarse con una disminución proporcional en su saldo de días libres acumulados o en el periodo vacacional, sin afectar al cómputo anual de horas trabajadas.

Tras ejecutar el modelo de programación lineal binaria en Solver, se ha obtenido una planificación óptima de los turnos de mañana y tarde para los seis conductores de la concesión CV-109 a lo largo de una semana completa. La solución cumple con todos los requisitos normativos y operativos establecidos en el modelo:

- Cada conductor tiene asignado un único turno por día, sin solapamientos ni vacíos, y se respetan todos los descansos legales entre jornadas.
- La mayoría de los conductores disfruta de dos días libres completos. En el caso de los conductores 5 y 6, que contaban con saldo acumulado, se les ha asignado un día adicional de descanso.
- Se cumplen todas las restricciones: jornadas de 8 horas, al menos 11 horas de descanso entre turnos, ninguna jornada inferior a 6 horas ni superior a 9 horas, y 40 horas semanales salvo excepción (conductores 5 y 6 con 32 horas).
- La cobertura de la demanda está garantizada en cada franja horaria: no hay turnos sin cubrir ni exceso de personal.

	Tiempo requerido
Planificador actual	3 horas
Modelo propuesto	2 horas

Porcentaje de mejora	33%
----------------------	-----

Tabla 11. Comparación en tiempo entre el sistema actual y el modelo propuesto

Fuente: Elaboración propia

Actualmente la asignación de turnos se realiza conductor por conductor utilizando el planificador descrito en el apartado 3.1.2. Este proceso implica aproximadamente una media hora por conductor, lo que implica un total de unas tres horas tal y como se muestra en la Tabla 11. A este tiempo habría que añadir el dedicado a comprobar manualmente que no existan errores de solapamiento, descansos incorrectos o turnos sin cubrir.

Por el contrario, el modelo desarrollado en Excel con Solver permite obtener una solución en aproximadamente dos horas, reduciendo el tiempo de planificación en un 33%. Además, al aplicar automáticamente todas las restricciones establecidas, elimina la posibilidad de errores humanos, lo que supone una gran mejora en términos de fiabilidad y eficiencia.

6. Conclusiones y futuras líneas de investigación

Este TFG demuestra que un modelo de programación lineal binaria implementado en Excel Solver puede transformar completamente el proceso de asignación de turnos. En lugar de configurar y revisar manualmente cada conductor, se obtiene una solución con la seguridad de que todas las restricciones operativas y legales se cumplen sin intervención adicional. Además, la capacidad de adaptarse a cambios en la demanda o en la disponibilidad de personal convierte este enfoque en una herramienta muy versátil para la planificación diaria.

A pesar de sus ventajas, el uso de Solver en su versión gratuita presenta ciertas limitaciones. El número máximo de variables y restricciones impide escalar fácilmente el modelo a concesiones más grandes o más complejas. Además, el modelo actual no tiene en cuenta factores económicos como costes salariales, horas extraordinarias o penalizaciones asociadas a rotaciones de turnos, ni contempla variaciones estacionales de la demanda.

Como primera línea de trabajo futuro, se propone el desarrollo de un sistema experto en Excel que automatice por completo la creación del modelo. La idea sería que el usuario pudiera introducir los datos clave (como número de conductores, turnos, horarios o cobertura diaria) en una hoja de cálculo, y que un complemento (basado en macros) generase automáticamente las variables y restricciones necesarias, lanzase Solver y mostrase los resultados en pocos minutos. Esto permitiría reducir aún más el tiempo de planificación y facilitaría el uso del sistema a personas sin conocimientos técnicos en optimización.

Además, sería interesante ampliar el modelo incorporando criterios adicionales, como el coste por hora trabajada o indicadores de satisfacción del personal, con el objetivo de equilibrar la eficiencia operativa con la calidad del servicio y el bienestar laboral. Esta ampliación podría estudiarse mediante el análisis de herramientas más avanzadas de modelado, como MPL, considerando la viabilidad de su adquisición y la formación específica del personal responsable de la planificación.

Otra posible línea de desarrollo sería incorporar algoritmos de reoptimización en tiempo real, que permitan ajustar la planificación ante incidencias imprevistas, como bajas o averías, minimizando su impacto en el servicio.

Este trabajo ha demostrado el valor que puede aportar la optimización matemática al día a día de una empresa de transporte, y abre la puerta a seguir desarrollando herramientas cada vez más inteligentes, automatizadas y útiles para la toma de decisiones.

7. Bibliografía

Ahmadi, A. A. (2023). *Lec11p1, ORF363 / COS323, F23: Linear programming: applications, geometry, and the simplex algorithm*. Princeton University. [ORF363_COS323_F23_Lec11.pdf](https://www.orf363.courses.princeton.edu/lectures/Lec11p1.pdf)

Anuncio 2023/00247 de la Conselleria de Economía Sostenible, Sectores Productivos, Comercio y Trabajo sobre el texto del convenio colectivo de trabajo del sector de transporte de viajeros por carretera (código 46000665011981). *Butlletí Oficial de la Província de València*, 5, de 9 de enero de 2023. <https://bop.dival.es/bop/downloads?anuncioNumReg=2023/00247&lang=va>

ATMV - Generalitat Valenciana. (s. f.). Gva.es. <https://atmv.gva.es/es>

Blanco, V., Conde, E., Hinojosa, Y. & Puerto, J. (2020). *An optimization model for line planning and timetabling in automated urban metro subway networks. A case study*. Omega, 92, 102165. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.102165>

Castillo, E., Conejo, A. J., Pedregal, P., García, R., & Alguacil, N. (2002). *Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia*. Universidad de Castilla La Mancha. <https://doi.org/10.1002/9780471225294>

Ceder, A. (2015). *Public Transit Planning and Operation: Modeling, Practice and Behavior* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18689>

Contractes - Generalitat Valenciana. (s. f.). <https://atmv.gva.es/va/informacio-economica-pressupostaria-i-estadistica/contractes>

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia - CNMC. (2022). *Estudio sobre el transporte interurbano de viajeros en autobús*. E/CNMC/006/19. <https://www.cnmc.es/sites/default/files/4241100.pdf>

Decreto 81/2017, de 23 de junio, del Consell, por el que se aprueba el Reglamento de la Autoridad de Transporte Metropolitano de València. Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, 8076, de 4 de julio de 2017. <https://dogv.gva.es/es/eli/es-vc/d/2017/06/23/81/dof/spa/html>

Decreto 147/2023, de 5 de septiembre, del Consell, de aprobación del Reglamento orgánico y funcional de la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Infraestructuras y Territorio. Diari Oficial de la Generalitat Valenciana, 9678, de 7 de septiembre de 2023.
<https://dogv.gva.es/es/eli/es-vc/d/2023/09/05/147>

Definir y resolver un problema con Solver - Soporte técnico de Microsoft. (2025).
<https://support.microsoft.com/es-es/office/definir-y-resolver-un-problema-con-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>

Fedossova, A., Buitrago, O. Y., & Britto, R. A. (2011). *Introducción a la programación Lineal*. Colegio de Estudios Superiores de Administración, CESA.
<https://doi.org/10.57130/CESA.9789588722047>

Goal Systems. (s. f.). *GoalBus - Goal Systems*.
<https://goalsystems.com/solucion/goalbus/>

Grupo Transvia. (s. f.). Grupo Transvia - Movilidad, Viajes, Automoción y mucho más. Vacation Dreams. <https://grupotransvia.com/>

Haeussler, E. F., & Paul, R. S. (2003). *Matemáticas para administración y economía* (10.ª ed.). Pearson Educación.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (9.ª ed.). McGraw-Hill.

Información sobre líneas regulares de transporte de viajeros | Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (s. f.). <https://www.transportes.gob.es/transporte-terrestre/lineas-regulares-de-transporte-de-viajeros/informacion-sobre-lineas-regulares-de-transporte-de-viajeros>

Jaramillo, P., & Lotero, L. (2011). *Modelos de optimización de la operación del transporte público colectivo* (1.ª ed.). Editorial UNAL - Universidad Nacional de Colombia.

Londoño, D., & Boada, A. (2017). Enseñanza con el uso directo de las TIC. Potencialidades del Solver (Microsoft excel) para la Enseñanza de Programación Lineal y Modelos de Transporte. *Memorias Arbitradas en XVIII Virtual Educa Colombia 2017*.

Martín, C. (2024). *Tipos de turnos de trabajo dentro de una empresa*. Sesame HR. <https://www.sesamehr.es/blog/gestion-de-turnos/tipos-turnos-trabajo/>

Microsoft. (2025). *Solver* (Versión 16.0.18827.20102) [Software]. Microsoft.

Plataforma de Contratación del Estado. (s. f.). https://contrataciondelestado.es/wps/portal/!ut/p/b0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljU1JTC3Iy87KtUIJLEnNyUuNzMpMzSxKTgQr0w_Wj9KMyU1zLcvQjs12MAAt0cC7NzqpzMMyxMVQ0KcnOL08ptbfWBDEcA_pY3cQ!!/

Portada – Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Procedimientos de adjudicación - Contratación pública: Participación en licitaciones - Contratación pública - Empresas - Tus derechos y obligaciones en la UE - Tu espacio europeo - Punto de Acceso General. (s. f.). https://administracion.gob.es/pag_Home/Tu-espacio-europeo/derechos-obligaciones/empresas/contratacion-publica/participar-licitaciones/procedimientos-adjudicacion.html#-0a91e145d3e3

Proyectos de servicio público de transporte de viajeros en autobús - Generalitat Valenciana. (s. f.). <https://atmv.gva.es/es/projectes-definitius-autobus>

Real Decreto 2/2015, de 23 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la ley del Estatuto de los Trabajadores. *Boletín Oficial del Estado*, 255, de 24 de octubre de 2015. <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2015/10/23/2/con>

Real Decreto 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014. *Boletín Oficial del Estado*, 272, de 9 de noviembre de 2017. <https://www.boe.es/eli/es/l/2017/11/08/9/con>

Reglamento (CE) 561/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de marzo de 2006, relativo a la armonización de determinadas disposiciones en materia social en el sector de los transportes por carretera y por el que se modifican los Reglamentos (CEE) n ° 3821/85 y (CE) n ° 2135/98 del Consejo y se deroga el

Reglamento (CEE) nº 3820/85 del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea*, L102, de 11 de abril de 2006. <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/561/oj>

Remix Transit Planning Software. (s. f.).
<https://ridewithvia.com/solutions/remix/planning>

Resolución de 1 de junio de 2021, del Consejo de Administración de la Autoritat de Transport Metropolità de València, por la que se establecen las tarifas kilométricas máximas revisadas, el mínimo de percepción de las concesiones de servicio público de transporte regular de viajeros por carretera del área metropolitana de València y las tarifas aplicables a los usuarios y las usuarias. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, 9100, de 4 de junio de 2021. <https://dogv.gva.es/es/resultat-dogv?signatura=2021/6197>

Servicios discrecionales | Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (s. f.). <https://www.transportes.gob.es/transporte-terrestre/transporte-internacional-de-viajeros/servicios-discrecionales>

Slotnisky, D. (2016). *Transformación digital: Cómo las empresas y los profesionales deben adaptarse a esta revolución*. Digital House. Coding School.

Software HASTUS. (s. f.). GIRO Inc. <https://www.giro.ca/es/nuestras-soluciones/software-hastus/>

Transvia Go | Cambiando las reglas de la movilidad. (s. f.). Transvia Go. <https://transviago.com/>

Universidad Europea. (2023). *Qué es una licitación pública y cómo se presenta | Blog UE.* <https://universidadeuropea.com/blog/que-es-una-licitacion-publica/>

Villamarín Padilla, J. M., Aguilar Miranda, G. J., Llamuca Llamuca, J. L., & Villacrés Suárez, W. H. (2019). Modelo matemático de transporte para una empresa comercializadora de combustibles, usando programación lineal. *Visionario Digital*, 3(2), 64-81. <https://doi.org/10.33262/visionariodigital.v3i2.394>

Winston, W. L. (2004). *Operations research: Applications and algorithms* (4.ª ed.). Thomson Learning, Inc.

Anexos

Anexo 1. Horarios

L-1, Real - València

Horarios de todo el año:

De Lunes a Viernes laborables		Sábados laborables		Domingos y Festivos	
Salidas de Real	Salidas de València	Salidas de Real	Salidas de València	Salidas de Real	Salidas de València
09:50	8:45				
11:55	10:50				
14:00	12:55				
21:35	20:30				

L-2, Alfarp - València

Horarios de todo el año:

De Lunes a Viernes laborables		Sábados laborables		Domingos y Festivos	
Salidas de Alfarp	Salidas de València	Salidas de Alfarp	Salidas de València	Salidas de Alfarp	Salidas de València
06:30	07:45				
09:00	10:30	10:15	09:00	10:15	09:00
11:45	13:00		11:30		11:30
14:15	15:30	13:00		13:00	
16:45	18:00		18:40		18:40
19:15	21:30	19:55		19:55	

L-3A, Millares - València

Horarios de todo el año:

De Lunes a Viernes laborables		Sábados laborables		Domingos y Festivos	
Salidas de Millares	Salidas de València	Salidas de Millares	Salidas de València	Salidas de Millares	Salidas de València
06:50					
	15:30				
17:25					
	19:20				

L-3B, Millares – València (por Alfarp)

Horarios de todo el año:

De Lunes a Viernes laborables		Sábados laborables		Domingos y Festivos	
Salidas de Millares	Salidas de València	Salidas de Millares	Salidas de València	Salidas de Millares	Salidas de València
		06:50		06:50	
			14:15		14:15
		16:25		16:25	
			20:40		20:40

Anexo 2. Recorridos

