

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

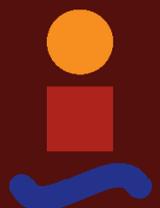
Planificación de turnos de trabajo: Una revisión sistemática de la literatura

Autor: Jaime León Martínez

Tutor: Víctor Fernández-Viagas Escudero

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Máster
Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Planificación de turnos de trabajo: Una revisión sistemática de la literatura

Autor:

Jaime León Martínez

Tutor:

Víctor Fernández-Viagas Escudero

Profesor titular

Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Máster: Planificación de turnos de trabajo: Una revisión sistemática de la literatura

Autor: Jaime León Martínez

Tutor: Víctor Fernández-Viagas Escudero

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

Agradecer a todos los que estuvieron junto a mí en este camino y me han apoyado para no salirme de él.

La modalidad del trabajo por turnos constituye un problema a la hora de conciliar todas las variantes a valorar para que sea lo más satisfactorio posible para los interesados.

Con el fin de identificar los sectores laborales afectados, factores psicosociales que influyen a los empleados y los métodos de resolución que aplican para optimizar la planificación de turnos de trabajo, se lleva a cabo una revisión bibliográfica de artículos de investigación que traten la planificación de turnos en el ámbito laboral.

Esto concluye con que el crecimiento exponencial de la tecnología junto con el aumento de la competitividad en el mundo profesional ha dado lugar a que las empresas actuales cuenten con planificaciones de turnos de trabajo idóneas para todas las partes implicadas, gracias al avance en los métodos de resolución.

Abstract

Shift scheduling is a problem when it involves reconciling all the variants to be assessed to make it as satisfactory as possible for those concerned.

To identify the work sectors affected, psychosocial factors that influence employees and the resolution methods applied to optimize shift scheduling, a literature review of research articles discussing shift scheduling in the workplace is undertaken.

This concludes that the exponential growth of technology coupled with increased competitiveness in the professional world has resulted in today's companies having shift schedules that are suitable for all involved parties, thanks to advances in resolution methods.

Agradecimientos	7
Resumen	9
Abstract	11
Índice	13
Índice de Tablas	15
Índice de Figuras	17
Notación	19
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	21
1.1 <i>Introducción</i>	21
1.2 <i>Justificación del trabajo</i>	21
1.3 <i>Objetivos</i>	22
2 MARCO TEÓRICO	24
2.1 <i>Análisis bibliométrico y de contenido</i>	24
2.1.1 <i>Método de búsqueda y base de datos</i>	24
2.1.2 <i>Artículos</i>	25
2.1.3 <i>Autores y revistas</i>	28
2.2 <i>Evolución del estudio de la planificación de turnos de trabajo</i>	30
3 CAMPOS DE APLICACIÓN	34
3.1 <i>Sistemas de transporte</i>	34
3.2 <i>Trabajadores sanitarios</i>	34
3.3 <i>Centros de llamadas</i>	36
3.4 <i>Trabajadores de industrias y comercio minorista</i>	37
4 FACTORES PSICOSOCIALES	40
4.1 <i>Ergonomía</i>	40
4.2 <i>Ritmos circadianos</i>	41
4.3 <i>Fatiga y estrés</i>	42
4.4 <i>Otros factores</i>	43
5 MÉTODOS DE RESOLUCIÓN	46
5.1 <i>Programación lineal (Linear Programming)</i>	46
5.2 <i>Programación con restricciones (Constraint Programming)</i>	52
5.3 <i>Programación por objetivos (Goal Programming)</i>	54
5.4 <i>Heurística/Metaheurística</i>	55
6 CONCLUSIONES	59
7 REFERENCIAS	61
ANEXO	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2–1. Diez artículos más citados (Scopus). Elaboración propia.	28
Tabla 2–2. Cinco autores más citados (Scopus). Elaboración propia.	29
Tabla 3–1. Tabla resumen campos de aplicación. Elaboración propia.	38
Tabla 4–1. Tabla resumen factores psicosociales. Elaboración propia.	44
Tabla 5–1. Notación Ito et al. (2018)	47
Tabla 5–2. Tipos de turnos IP en Ito et al. (2018)	47
Tabla 5–3. Notación MIP	48
Tabla 5–4. Parámetros MIP	48
Tabla 5–5. Variables de decisión MIP	49
Tabla 5–6. Tabla métodos de resolución. Elaboración propia.	57
Tabla 0–1 Resumen de los resultados hallados en los estudios seleccionados. Elaboración propia.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Captura de los criterios de búsqueda en <i>Scopus</i>	24
Figura 2-2. Artículos revisados extraídos de la búsqueda de <i>Scopus</i> . Elaboración propia.	25
Figura 2-3. Bases de datos usadas para la revisión. Elaboración propia.	25
Figura 2-4. Número de artículos publicados por año (<i>Scopus</i>) Elaboración propia.	26
Figura 2-5. Número de artículos publicados por año de la revisión. Elaboración propia.	27
Figura 2-6. Diez países con más publicaciones (<i>Scopus</i>). Elaboración propia	27
Figura 2-7. Relación de n° de autores con n° de publicaciones. Elaboración propia.	29
Figura 2-8. Publicaciones por revista (<i>Scopus</i>). Elaboración propia.	29
Figura 3-1. Ejemplo de planificación de turnos de (Becker et al., 2019)	35
Figura 3-2. Resultados de satisfacción tras planificación de turnos (Lishan et al., 2021)	35
Figura 3-3. Planificación de los trabajadores de Türker & Demiriz (2018)	36
Figura 3-4. Planificación de los trabajadores de Álvarez et al. (2020)	37
Figura 5-1. Formulación de Dantzig (1954)	46
Figura 5-2. Cuadrante escuela infantil IP propuesta en el artículo de Ito et al. (2018)	48
Figura 5-3. Estado de fatiga antes y después del modelo de Wang (2014)	51
Figura 5-4. Formulación de las variables de Kiermaier et al. (2020)	52
Figura 5-5. Ejemplo de modelo CP de Laporte & Pesant (2004)	53
Figura 5-6. Emparejamiento de nodos de Moreno et al. (2019)	56
Figura 5-7. Creación de “supernodos” de Moreno et al. (2019)	56

Notación

EST	Estocástico
MIP	Mixed Integer Programming (Planificación de enteros mixta)
IP	Integer Programming (Planificación de enteros)
RC	Ritmos Circadianos
CP	Constraint Programming (Programación con restricciones)
PDT	Planificación de turnos
GP	Goal Programming (Programación por objetivos)

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Hoy en día, el trabajo constituye una parte esencial e indispensable de la vida del ser humano, el crecimiento exponencial de aspectos como la tecnología, la industrialización y la globalización ha hecho que aumente de forma vertiginosa la productividad en la vida laboral. Este incremento de la productividad ha provocado el nacimiento de nuevas necesidades, algunas de estas necesidades afectan al ámbito laboral.

La necesidad de realizar trabajos de forma ininterrumpida durante un periodo determinado da lugar al trabajo a turnos, según el artículo 36.3 del RDL 2/2015 de la ley del Estatuto de los Trabajadores, *“se considera el trabajo a turnos toda forma de organización del trabajo en equipo según la cual los trabajadores ocupan sucesivamente los mismos puestos de trabajo, según un cierto ritmo, continuo o discontinuo, implicando para el trabajador la necesidad de prestar sus servicios en horas diferentes en un periodo determinado de días o de semanas.* Los turnos rotativos pueden ser de tres tipos:

- Discontinuos: Con turnos de mañana y tarde, también incluye descansos los fines de semana.
- Continuos: En este caso los turnos son de mañana, tarde y noche a lo largo de todo el año.
- Semicontinuos: También tiene turnos de mañana, tarde y noche, pero en este caso se interrumpe los fines de semana para el descanso del personal

La planificación de personal, conocida también en inglés con términos como *shift scheduling*, *staff scheduling* o *rostering*, es el proceso de elaboración de horarios de trabajo para su personal de modo que una organización pueda satisfacer la demanda de sus bienes o servicios (Ernst et al., 2004). También conocida como planificación de turnos del trabajo (o *shift scheduling* en inglés) constituye un reto para las empresas y corporaciones que lo practican. La cantidad de variables y restricciones a tener en cuenta hace que a veces se necesiten métodos matemáticos y computacionales para cuadrar los turnos de la forma más adecuada posible.

En el presente trabajo se hará un análisis de los estudios relacionados con la planificación de turnos, abordando los distintos sectores laborales en los que se aplica, cómo afecta a la salud del empleado este tipo de organización del trabajo y algunos de los métodos de resolución que se utilizan para completar la planificación de turnos de trabajo de forma satisfactoria.

1.2 Justificación del trabajo

El trabajo a turnos se ha convertido en una forma habitual de organización para las empresas, en Europa, el 20% de los empleados son trabajadores a turnos y el 19% trabajan en turnos de noche por lo menos una vez al mes (Härmä et al., 2022).

Existen multitud de ámbitos laborales en los que se utiliza el *shift scheduling* como el sanitario, industrial, aeronáutico, seguridad pública, transporte u otros servicios de atención al cliente 24 horas, todos ellos son conocidos por tener una estructura difícil de organizar, por lo que, cualquier mejora en costes laborales se traducirá en considerables ahorros en el costo total, además de la satisfacción de todas las partes implicadas (cliente, dirección y personal) (Türker & Demiriz, 2018). Lograr la mejor configuración del personal puede proporcionar una ventaja competitiva, por otro lado, unos horarios inadecuados pueden llevar a un exceso de personal o a una demanda insatisfecha, que conduce a una situación prejudicial para la empresa (Kabak et al., 2008).

También se realiza un análisis bibliométrico en el que se mostrará las bases de datos consultadas a la hora de escoger los artículos, las palabras clave con las que se han encontrado dichos artículos y el proceso seguido para encontrar los artículos referenciados a lo largo del trabajo.

1.3 Objetivos

El propósito de este trabajo consiste en una revisión sistemática de la literatura de la planificación de turnos de trabajo con el que se pretende dar una visión generalizada del estudio y la organización de los turnos rotativos. Para conseguir el propósito principal de este estudio, se lleva a cabo un análisis de distintos aspectos como la evolución del *shift scheduling*, los ámbitos laborales en los que más énfasis se ha puesto en la planificación de turnos de trabajo, como afecta a la salud de los trabajadores y los distintos métodos de resolución con el fin de optimizar la planificación de los horarios.

Seguidamente, se enumeran objetivos específicos del presente trabajo, indicando los distintos enfoques en los que se hará más énfasis:

1. Examinar y analizar artículos relacionados con la planificación de trabajo, con el fin de estructurar una evolución histórica del estudio y las formas de resolución de la planificación de turnos de trabajo desde sus orígenes.
2. Construir un estado del arte de los distintos sectores laborales en los que se realizan este tipo de turnos rotativos, ya que existen ciertos ámbitos de trabajo específicos que resultan un auténtico desafío cuadrar a los empleados en distintos turnos, puesto que existe una inmensa y variada cantidad de restricciones difíciles de gestionar por los encargados (regulaciones por ley, demanda del producto o servicio, requerimientos del empleado, horarios, conflictos de calendario...)
3. Estudiar los factores psicosociales más mencionados en los artículos revisados, en qué medida pueden afectar al trabajador y como una planificación de turnos de trabajo óptima puede ayudar a que el empleado trabaje en unas condiciones que no perjudiquen su salud. La exigencia de este tipo de trabajo hace que sea necesario que existan restricciones para proteger la salud de los trabajadores. Con el paso de los años, las políticas de las empresas, amparadas por la regulación de la ley, establecen una serie de condiciones para aumentar el bienestar de sus empleados. Por ello, existen numerosos artículos que estudian cuáles son y cómo afectan el trabajo a turnos a la salud de los trabajadores.
4. Exponer algunos de los métodos más utilizados en la planificación de turnos y analizar los distintos enfoques y peculiaridades que los artículos ponen en práctica para resolver los problemas de planificación de turnos que se plantean en ellos. Para la planificación de turnos de trabajo se han utilizado multitud de métodos matemáticos con el fin de conseguir una resolución óptima o cuasi óptima que tenga en cuenta todas las peculiaridades de un determinado trabajo.
5. Reflexionar acerca de todo lo estudiado en el trabajo y sacar diversas conclusiones tras finalizar la revisión sistemática de la bibliografía.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis bibliométrico y de contenido

Para comenzar el capítulo, se considera conveniente realizar un análisis bibliométrico, el cual consiste en un estudio de los artículos revisados para lograr una visión más completa de la revisión bibliográfica. En primer lugar, se desarrolla cuál ha sido el método de búsqueda de los artículos y qué bases de datos se han utilizado.

Tras esto, se utilizan métodos estadísticos para mostrar datos de distintos aspectos de los artículos. Resulta interesante analizar datos como los años de publicación de los escritos revisados, lugares de publicación, las revistas de publicación y otros aspectos relacionados con los autores.

2.1.1 Método de búsqueda y base de datos

La principal fuente de búsqueda ha sido la web *Scopus* (www.scopus.com). Como criterio de búsqueda se utilizaron los siguientes parámetros:

- Que el título del artículo contuviera las palabras “shift scheduling”, con esto se limita que los resultados sean de la temática a estudiar.
- Que el tipo de documento a buscar fuera de artículos publicados.
- Para una mayor comprensión y cantidad de artículos, se limitó que los artículos fueran en inglés.

La búsqueda dio como resultado 112 artículos. A continuación, se muestra una imagen de la búsqueda realizada en *Scopus*:

112 document results

```
TITLE ("shift scheduling") AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))
```

Figura 2-1. Captura de los criterios de búsqueda en *Scopus*

De entre los 112 documentos se revisaron artículos que abordaban el problema de la planificación de turnos de trabajo desde distintos prismas. De todos estos artículos, se han escogido para su revisión trabajos que se han considerado representativos, con el fin de conseguir una visión lo más global posible del estudio de la planificación de turnos de trabajo.

Tras una lectura preliminar de estos artículos, se han recopilado algunos artículos que aparecían referenciados en ellos y se consideraban interesantes para hacer también una revisión de ellos. En la búsqueda de artículos para la revisión se ha pretendido recoger el mayor número de enfoques y herramientas utilizadas. Algunos de ellos se encontraron en la misma base de datos *Scopus*, los que no pudieron encontrarse en esta base de datos, se encontraron en los portales *JSTOR* (www.jstor.org) y *ProQuest* (www.proquest.com). En total se revisaron un total de 49 artículos.

En la Figura 2-2 se puede observar el porcentaje de artículos que se extrajeron para su revisión de la primera búsqueda de *Scopus* y los que se buscaron posteriormente.

ARTÍCULOS CON "SHIFT SCHEDULING"

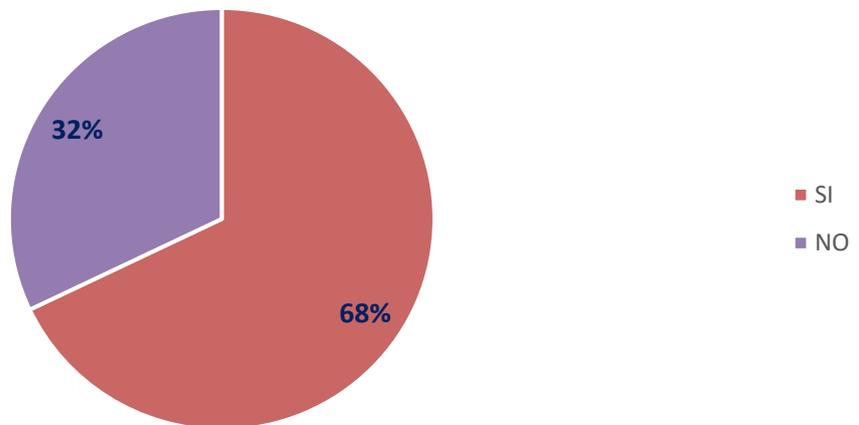


Figura 2-2. Artículos revisados extraídos de la búsqueda de *Scopus*. Elaboración propia.

BASE DE DATOS UTILIZADAS PARA LOS ARTÍCULOS

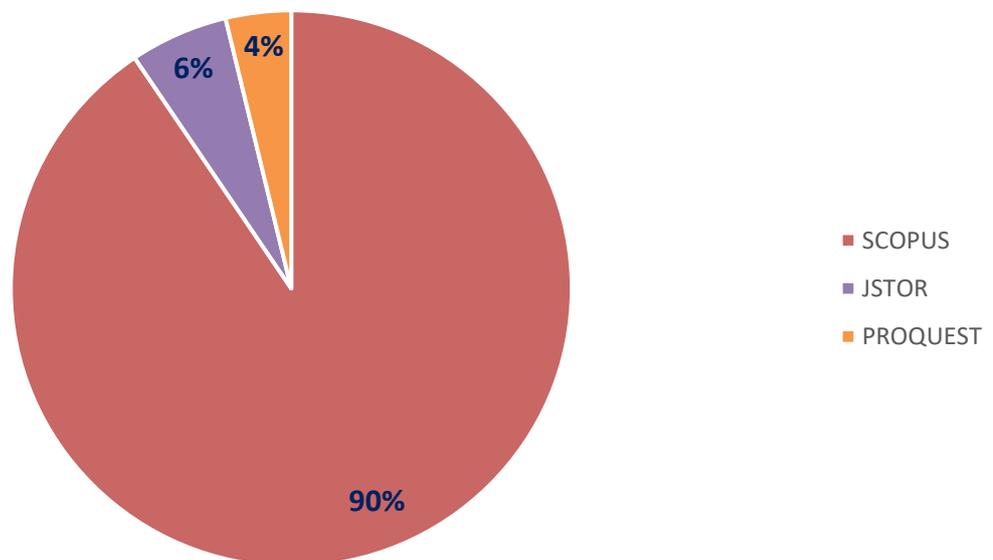


Figura 2-3. Bases de datos usadas para la revisión. Elaboración propia.

2.1.2 Artículos

La investigación de la planificación de turnos de trabajo se ha desarrollado a partir de la segunda mitad del siglo XX. A continuación, se muestra un gráfico en el que se muestra cuál ha sido la evolución de las investigaciones a lo largo de los años, para los artículos identificados en Scopus (Figura 2-4) y para los artículos revisados (Figura 2-5).

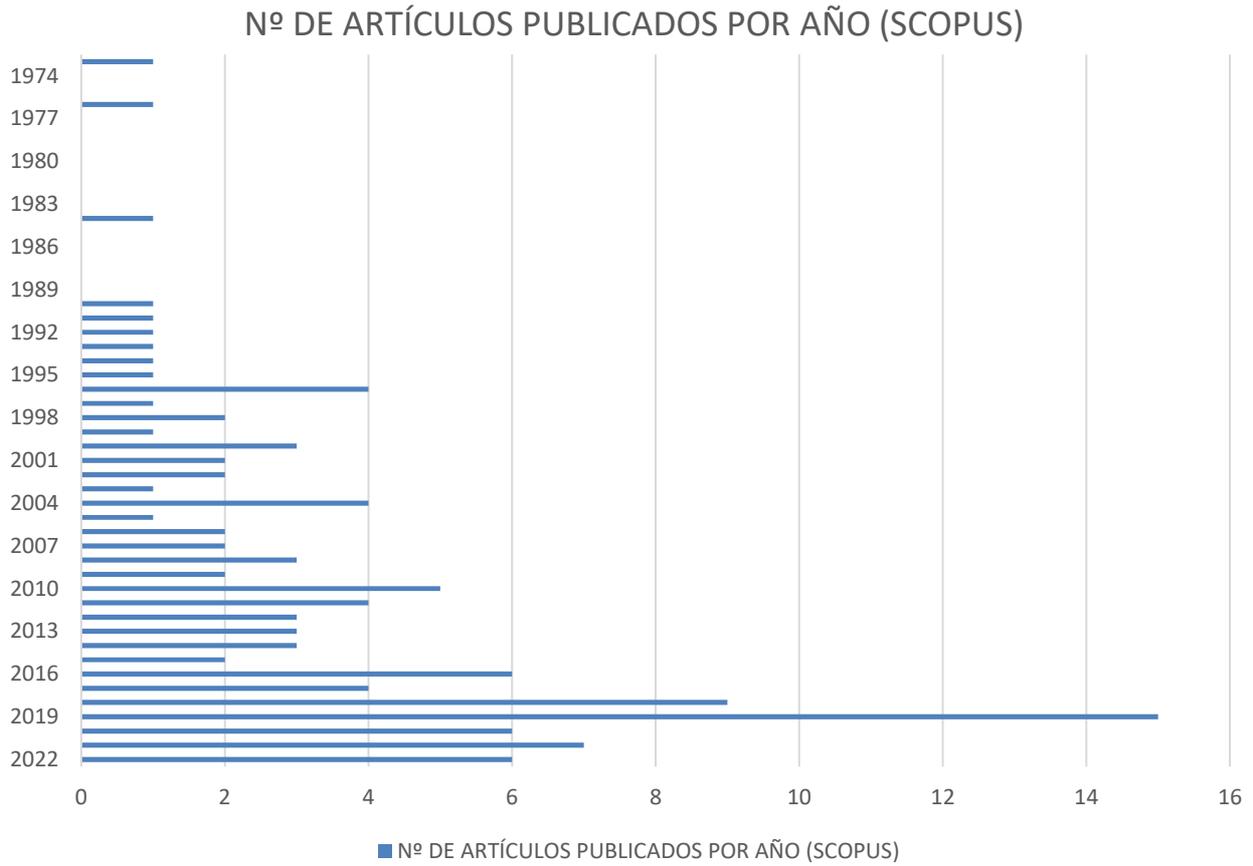


Figura 2-4. Número de artículos publicados por año (*Scopus*) Elaboración propia.

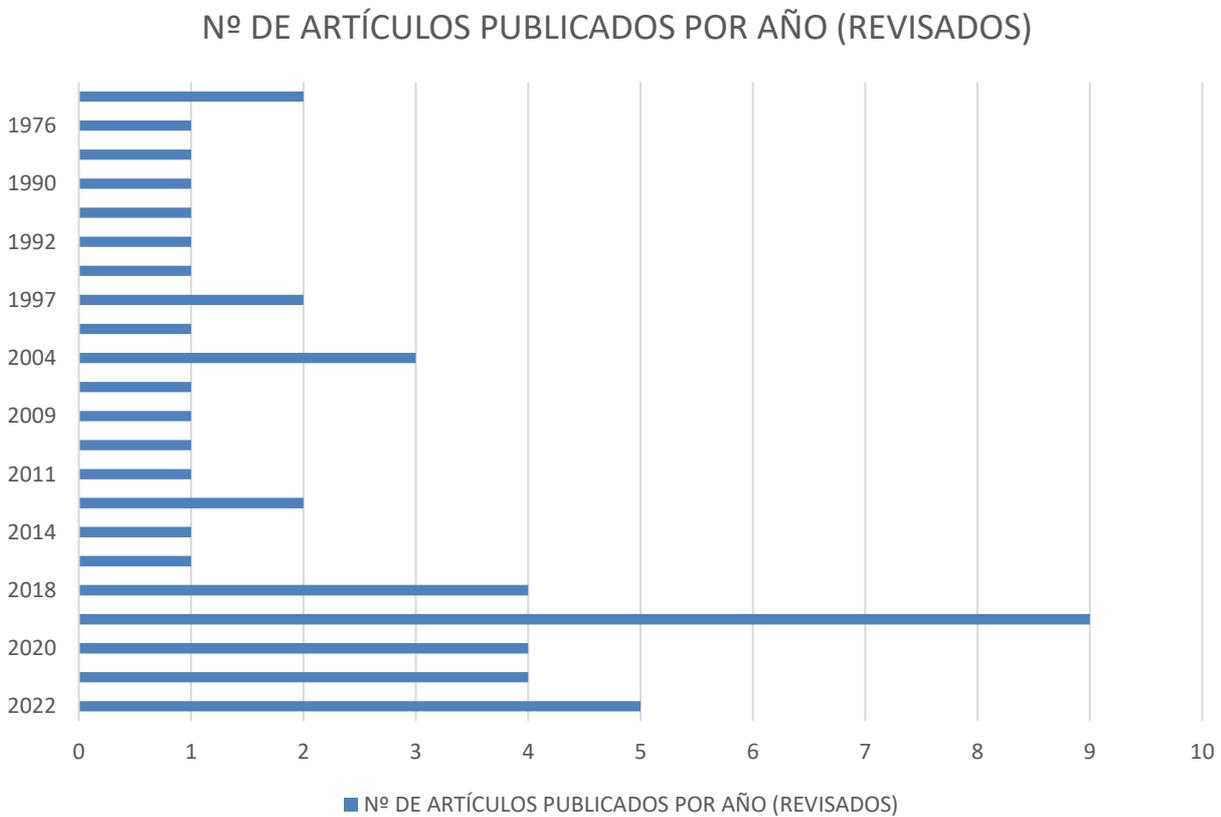


Figura 2-5. Número de artículos publicados por año de la revisión. Elaboración propia.

Como se puede observar en los gráficos, en los últimos 5 años los estudios acerca de la planificación de turnos de trabajo se han intensificado en gran medida. También resulta interesante conocer en qué países se ha investigado más acerca del "shift scheduling". Esta información viene resumida en la Figura 2-6.

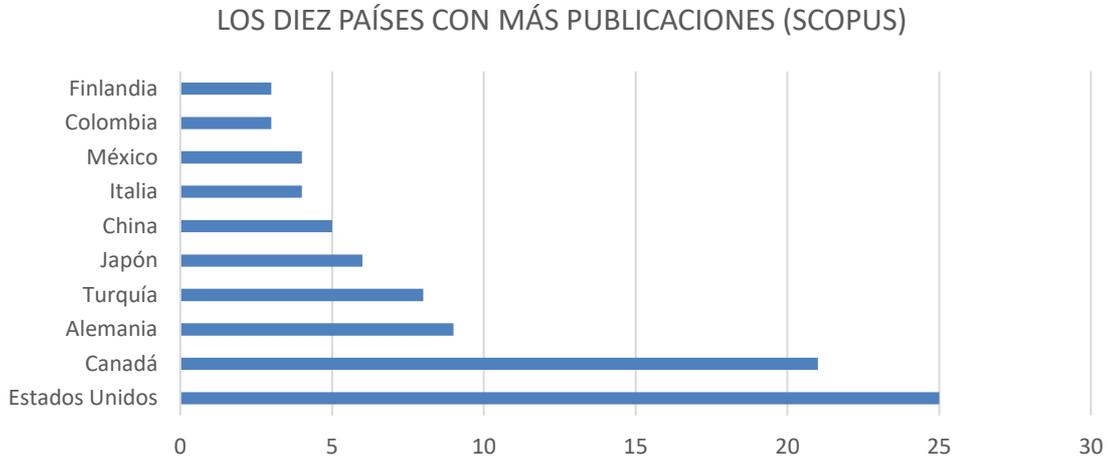


Figura 2-6. Diez países con más publicaciones (*Scopus*). Elaboración propia

Tal y como muestra el gráfico, es lógico que potencias económicas como Estados Unidos, Canadá, Alemania, China o Japón copen los primeros puestos en esta lista, ya que factores como la eficiencia y la organización en el trabajo resultan determinantes para la bonanza económica de un país.

Para hacerse una idea de la importancia del tema. Se puede extraer una lista con los artículos más citados a de la búsqueda en *Scopus* a día 1 de febrero de 2023. Esta información se puede ver en la Tabla 2-1.

Tabla 2–1. Diez artículos más citados (Scopus). Elaboración propia.

Citas	Referencia
102	Aykin, T. (1996). Optimal shift scheduling with multiple break windows. <i>Management Science</i> , 42(4), pp. 591-602.
88	Buffa, E.S., Cosgrove, M.J., Luce, B.J. (1976). An integrated work shift scheduling system. <i>Decision Sciences</i> , 7(4), pp. 620-630.
85	Lau, H.C. (1996). On the complexity of manpower shift scheduling. <i>Computers and Operations Research</i> , 23(1), pp. 93-102.
76	Brunner, J.O., Bard, J.F., Kolisch, R. (2009). Flexible shift scheduling of physicians. <i>Health Care Management Science</i> , 12(3), pp. 285-305.
73	Aykin, T. (1996). Comparative evaluation of modeling approaches to the labor shift scheduling problem. <i>European Journal of Operational Research</i> , 125(2), pp. 381-397.
67	Bhulai, S., Koole, G., Pot, A. (2008). Simple methods for shift scheduling in multiskill call centers. <i>Manufacturing and Service Operations Management</i> , 10(3), pp. 411-420.
65	Topaloglu, S. (2009). A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. <i>European Journal of Operational Research</i> , 198(3), pp. 943-957.
49	EL-Rifai, O., Garaix, T., Augusto, V., Xie, X. (2015). A stochastic optimization model for shift scheduling in emergency departments. <i>Health Care Management Science</i> , 18(3), pp. 289-302.
49	Thompson, G.M. (1996). A simulated-annealing heuristic for shift scheduling using non-continuously available employees. <i>Computers and Operations Research</i> , 23(3), pp. 275-288.
48	Kabak, O., Ülengin, F., Aktaş, E., Önsel, S., Topcu, Y.I. (2008). Efficient shift scheduling in the retail sector through two-stage optimization. <i>European Journal of Operational Research</i> , 184(1), pp. 76-90.

2.1.3 Autores y revistas

Otro enfoque que se puede estudiar en este análisis bibliográfico consiste en qué papel representan los autores en las publicaciones, se desarrollarán datos estadísticos para saber cuáles son los autores con más publicaciones relacionadas o la relación de números de autores por publicación.

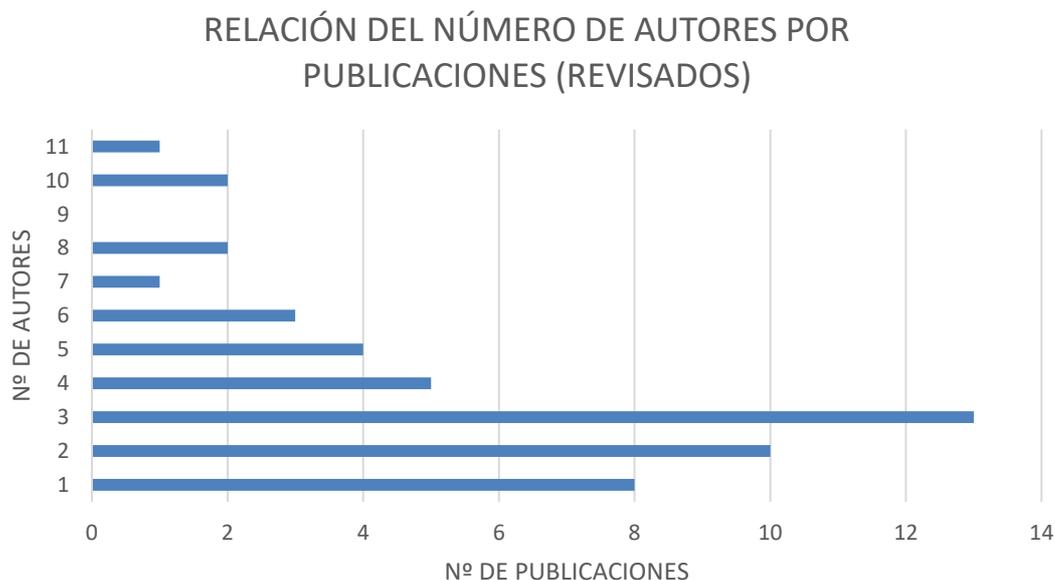


Figura 2-7. Relación de n° de autores con n° de publicaciones. Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 2-7, el número de autores habituales está entre 1 y 4, siendo 3 el más repetido.

En relación con la figura de los autores, en la Tabla 2-2 se han listado 5 de los autores más influyentes de entre todos los autores de los trabajos resultantes de la búsqueda en *Scopus*.

Tabla 2-2. Cinco autores más citados (*Scopus*). Elaboración propia.

Autor	Número de citas
Härmä, Mikko I.	6909
Rousseau, Louis Martin	3184
Lau, Hoong Chuin	2400
Thompson, Gary M.	1310
Wang, Ta-Chung	1001

Hay que destacar a Mikko Härmä, profesor de investigación finés que trabaja en el Instituto Noruego de Salud Ocupacional, que en la plataforma *Scopus* aparecen 178 documentos publicados por él con 6909 citas. Uno de sus estudios, *Association of changes in work shifts and shift intensity with change in fatigue and disturbed sleep: A within-subject study*, será revisado en el presente trabajo. Además de Härmä, artículos de Wang, T.-C. y Thompson, G. M. también serán objeto de revisión.

En cuanto a las revistas que realizan las publicaciones de los trabajos, se ha extraído de la búsqueda en *Scopus* cuales son las revistas que más trabajos relacionados con el tema a tratar han publicado. Se puede ver en la Figura 2-8.

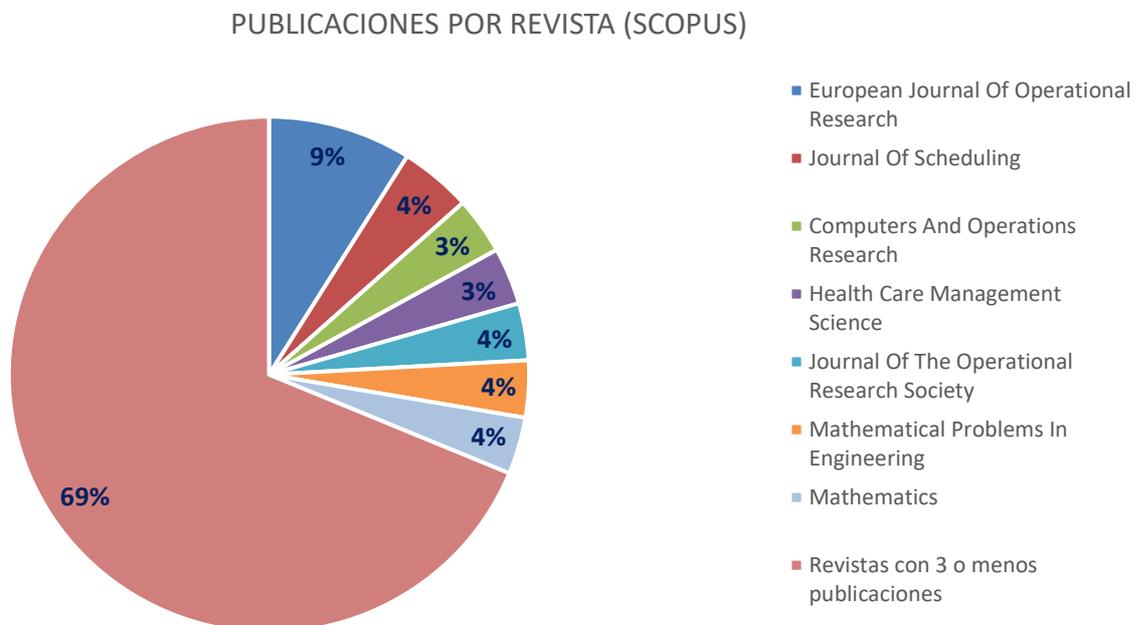


Figura 2-8. Publicaciones por revista (*Scopus*). Elaboración propia.

Las revistas más propensas a publicar artículos relacionados con la planificación de turnos de trabajo han sido

el *European Journal of Operational Research* con 10 publicaciones y el *Journal of Scheduling* con 5. A tener en cuenta que más de la mitad del total de las revistas han publicado 3 o menos artículos, esto nos puede indicar el amplio espectro de boletines que tratan el problema del *shift scheduling*. De los artículos revisados en el trabajo, la revista *European Journal of Operational Research* es también la que da más aportaciones con 4 publicaciones, seguida del *Journal of Sleep Research* con 3 publicaciones.

2.2 Evolución del estudio de la planificación de turnos de trabajo

La planificación de personal existe desde hace mucho tiempo, recientemente ha recibido más atención de la investigación, ya que las industrias buscan reducir los costos laborales mediante la optimización de los horarios del personal (van den Bergh et al., 2013).

Teniendo en cuenta esto, una de las metas de este trabajo se centra en la revisión bibliográfica de como se ha planteado la planificación de turnos de trabajo con el paso del tiempo. En este apartado se habla de algunos de los autores más relevantes en el estudio de planificación de turnos de trabajo. También se introducen distintos métodos y términos que se explicarán con detalle en los capítulos posteriores.

El punto de partida del uso de métodos matemáticos para la planificación de turnos de las empresas se podría fijar en el estudio que se hizo por Edie (1954), este trabajo consistió en la optimización de las colas que se producían en los peajes, para ello analizó aspectos como el volumen del tráfico y el número de cabinas de peaje, con el fin de dar un mejor servicio. Este estudio no quedó en el olvido, ya que ese mismo año Dantzig (1954) partió del artículo de Edie para introducir el modelo de Programación Entera Lineal (*Integer Programming*). Dicho modelo matemático indicaba el número de persona a asignar en cada turno para satisfacer la demanda en un día, en este modelo todavía no se tenía en cuenta variables como la flexibilidad de entrada y salida o los descansos para comer.

Con el paso de los años, el proceso de planificación de turnos siguió siendo objetivo de investigación, Baker (1976) diferenció tres términos:

1. *Shift Scheduling*: Asignación de turnos de trabajo diarios
2. *Days-off Scheduling*: Asignación de días libres entre jornadas laborales en un periodo determinado
3. *Tour Scheduling*: Ocurre cuando se programan 1 y 2 simultáneamente

Bechtold & Jacobs (1990) plantearon un modelo implícito incluyendo un descanso en los turnos, incluyendo restricciones para garantizar que cada turno tuviera un descanso, los trabajadores de cada turno y cada descanso fueron representados mediante diferentes variables, lo que redujo los tiempos de solución del problema.

Siguiendo con los modelos basados en programación entera, Aykin (1996) incluyó múltiples tipos de descanso definidos como variables para cada turno. Este estudio tenía la novedad de definir la hora posible del inicio del descanso dentro de una ventana de descanso asociada, por tanto, tanto la duración como el número de descansos podían variar de un turno a otro.

Thompson (1997) propuso dos modelos distintos, uno enfocado al nivel de servicio promedio durante un periodo de planificación y otro basado en el nivel de servicio aceptable en dicho periodo, para ello tuvo en cuenta aspectos como el coste de mano de obra o la tasa de utilización de la mano de obra.

Otro de los autores más relevantes fue Ernst (2004), que realizó una revisión integral de los problemas de planificación de turnos, en el estudio organiza los diferentes tipos de problemas y modelos, indica las áreas de aplicación que más necesitan solucionar problemas de planificación de turnos y los distintos métodos de resolución. A continuación, se definen los distintos términos que clasificó Ernst en su artículo.

En primer lugar, clasifica por módulos el proceso de asignación de turnos, en él indica que, aunque se plantea como un procedimiento paso a paso, el desarrollo dependerá de cada tipo de planificación:

1. Modelización de la demanda (*Demand Modelling*): El primer módulo se basa en la determinación del número de personas que se necesitan en los distintos momentos a lo largo de un periodo de planificación. Se definen tres tipos de demanda:
 - a. Demanda basada en tareas (*Task Based Demand*): Se obtiene a partir de listas de tareas

individuales que deben realizarse

- b. Demanda flexible (*Flexible Demand*): En esta situación es más difícil predecir la probabilidad de futuros incidentes, por lo que se utilizan técnicas de previsión de demanda.
 - c. Demanda por turnos (*Shift Based Demand*): La demanda se obtiene del número de trabajadores que deben estar de servicio durante los diferentes turnos.
2. Planificación de días libres (*Days off Scheduling*): Este módulo consiste en decidir cómo deben repartirse los días de descanso entre las jornadas de trabajo de las distintas profesiones.
 3. Planificación de turnos (*Shift Scheduling*): La planificación de turnos aborda la cuestión de seleccionar, entre un grupo de candidatos, que turnos se trabajan junto con el número de trabajadores de cada turno, con el fin de satisfacer la demanda.
 4. Construcción de líneas de trabajo (*Line of Work Construction*): Este módulo desarrolla los calendarios de trabajo para cada miembro del personal.
 5. Asignación de tareas (*Task Assignment*): Se designan una o varias tareas a realizar durante cada turno.
 6. Asignación de personal (*Staff Assignment*): El último módulo implica la asignación de personal a las líneas de trabajo.

Otra de las clasificaciones que construyó Ernst (2004) en su estudio consistió en los métodos de resolución de los problemas específicos:

1. Modelización de la demanda (*Demand Modelling*): A menos que los incidentes se deriven de un horario conocido, necesitamos una forma de prever los incidentes y una forma de convertir los datos de los incidentes en una demanda de personal.
2. Inteligencia artificial (*Artificial Intelligence approaches*): Comprende los métodos que utilizan cierto grado de automatización en la planificación de personal, pueden usarse como ayuda a métodos manuales o hasta métodos totalmente automatizados.
3. Programación con restricciones (*Constraint Programming*): Esta técnica es útil cuando el problema está restringido en gran medida y/o se busca una solución factible, que no tiene que ser necesariamente la solución óptima. En el caso de buscar una solución óptima la Planificación de restricciones no es el método idóneo.
4. Metaheurística (*Metaheuristics*): La metaheurística se compone de técnicas que resuelven problemas de optimización discreta. Estos problemas no pueden resolverse por métodos heurísticos más tradicionales ya que las circunstancias reales hacen que sea difícil de enfocar a partir de métodos de solución exactos.
5. Programación matemática (*Mathematical programming approaches*): Este último método engloba los problemas de tipo lineal, programas enteros lineales (*Integer Programming*) o problemas matemáticos generales, el método de Planificación de Dantzig (1954) es el usado habitualmente. De acuerdo con la revisión de literatura realizada por Van den Bergh (2013), la mayoría de las soluciones a problemas de planificación de turnos de trabajo encontrados en la literatura utiliza programación matemática, como programación entera mixta (*Mixed Integer Programming*), programación entera (*Integer Programming*) y programación lineal (*Linear Programming*).

A partir del modelo implícito de Bechtold & Jacobs (1990), Rekik (2010), introdujo varios descansos en un turno en lugar de uno, descansos fraccionables y restricciones de duración a tramos de trabajo. También supuso una ampliación del modelo de Aykin (1996), la introducción de descansos fraccionables dio como resultado la reducción del volumen de la mano de obra requerida en comparación con el modelo de Aykin (1996). Hay que destacar el apreciable aumento del grado de flexibilidad en los turnos.

Kiermaier (2020) con la formulación de Rekik (2010), realizó un estudio de la programación semanal para un sistema de asistencia de un aeropuerto, en él consideró varios tipos de descanso, dando como resultado un modelo con descansos más flexibles.

Como se puede inferir, con el paso de los años, tanto las herramientas, las técnicas y los conocimientos de la planificación de turnos de trabajo se han ampliado en gran medida, dando lugar a la resolución de problemas de

enorme complejidad. Por tanto, es importante conocer los orígenes y avances más importantes de la planificación de turnos antes de abordarlo en profundidad.

3 CAMPOS DE APLICACIÓN

Tal como indica Ernst (2004) en su clasificación de áreas de aplicación, las técnicas de planificación y Planificación de recursos humanos son aplicables a distintos ámbitos como sistemas de transporte (aéreo, ferrocarril, bus...), servicios de atención médica, servicios de emergencia (policía, ambulancia, bomberos...), centros de llamadas y otras organizaciones de servicios como hoteles, restaurantes y tiendas minoristas.

En este apartado se realiza una revisión de literatura, analizando cómo se aplica la planificación de turnos de trabajo a algunos de los ámbitos mencionados anteriormente.

3.1 Sistemas de transporte

En la actualidad la planificación de turnos en puestos de trabajo relacionados con los sistemas de transporte es habitual, se han revisado artículos de distintos ámbitos, desde el sector aeronáutico a Planificación de una plantilla de camioneros de una empresa petrolera o una red de transporte de autobuses.

En el sector aeronáutico, la planificación de turnos supone un sistema crítico, una tripulación de mantenimiento de aeronaves trabaja en turnos de 24 horas bajo el estrés laboral de mantener la tasa de puntualidad de los vuelos. Si se produce un error durante el proceso de mantenimiento de la aeronave, puede convertirse en un factor de riesgo potencial para la seguridad del vuelo (Wang & Liu, 2014). Para el caso de los controladores aéreos, también es importante programar una tabla de turnos que tenga en cuenta la reducción de la fatiga Haga clic o pulse aquí para escribir texto.(Chu et al., 2013).

Otro factor a tener en cuenta en la planificación de turnos en los controladores aéreos es el clima, como indica (Hernández-Romero et al., 2022) éste afecta al trabajo del controlador de forma que el flujo de comunicación con el tráfico terrestre y los pilotos aumenta, ya que el controlador tiene que observar más por la ventana y ocurren más cambios en las rutas de llegadas y salidas.

Por otra parte, la red de transporte público también constituye un desafío a la hora de organizar los turnos de trabajo, la importancia del problema de Planificación de los conductores radica en el cumplimiento de los itinerarios programados y la reducción de costes relacionados con los recursos humanos (Moreno et al., 2019), en este estudio a través de un algoritmo heurístico, se redujo el número de turnos y por ende también el número de conductores necesarios.

Un problema similar es planteado en el estudio de Knust & Schumacher (2011), donde se realiza la programación mensual de una plantilla de camioneros de una empresa petrolera, en este caso, propone un algoritmo basado en programación mixta entera-lineal (MIP), donde se tienen en cuenta variables como las vacaciones de los conductores, preferencias de los conductores, además de cumplir con la regulación legal. La reducción de costes a través de la utilización eficiente de los empleados es otro de los objetivos finales de este estudio.

3.2 Trabajadores sanitarios

En el sector sanitario, el estudio de la planificación de turnos se centra en los médicos residentes y enfermeros, las condiciones y restricciones de estos trabajos hacen que los problemas sean demasiado limitados, puesto que los turnos deberán contar con personal debidamente calificado para cubrir la demanda derivada del número de pacientes en las salas, respetando las normas de trabajo, distinguiendo entre el personal permanente y eventual, procurando que los turnos de noche y fin de semana se repartan equitativamente, permitiendo permisos y días libres, y adaptarse a una variedad de preferencias de los empleados (Ernst et al., 2004).

Es vital que los horarios satisfagan al personal, ya que esto puede afectar al ambiente de trabajo, bienestar y satisfacción laboral del personal (Topaloglu, 2009), además, con el alto costo de la atención médica, se vuelve cada vez más importante administrar el personal sanitario de manera efectiva (Kostreva et al., 1991).

Gran parte de la investigación sobre planificación del personal sanitario se ha enfocado a enfermeros de hospitales. Este hecho hace que, para el problema de Planificación de enfermeros, en inglés *Nurse Scheduling Problem (NSP)*, exista una amplia gama de enfoques para resolver este problema, los tres métodos comúnmente utilizados son la heurística, la programación matemática (MP) o la inteligencia artificial (AI) (Topaloglu, 2009). Los modelos MP emplean métodos tradicionales de programación lineal (LP) o de Planificación de enteros (IP). Con el uso de MP se mejora la flexibilidad en los horarios, esto es a causa de que es posible cambiar los parámetros del modelo para poder satisfacer necesidades particulares en según qué periodo y calcular una nueva solución (Chen & Yeung, 1992). Además de estos métodos basados en la optimización, los enfoques heurísticos para el NSP también han producido resultados satisfactorios en el corto plazo Haga clic o pulse aquí para escribir texto. (Topaloglu, 2009). EL-Rifai et al. (2015) desarrolla un método de optimización estocástico para cuadrar un departamento de emergencias médicas, el motivo principal se debe al carácter aleatorio del momento o el volumen de llegada de los pacientes a un servicio de urgencias. En otro estudio relativo a servicios médicos de emergencia, Becker et al. (2019) hace referencia al término *stint*, el cual denota el hecho de trabajar varios días consecutivos, seguido de un periodo de descanso. En la siguiente imagen extraída del estudio mencionado anteriormente, se puede un cuadrante en el que se aplica *stint* para 4 grupos durante 28 días:

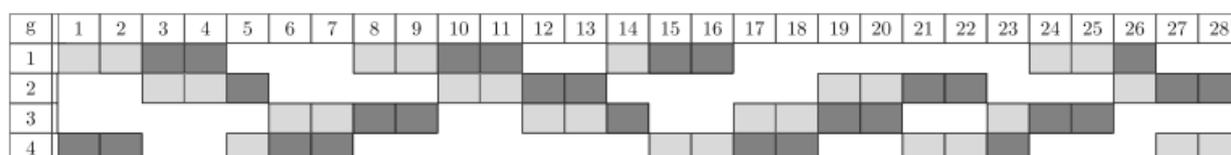


Figura 3-1. Ejemplo de planificación de turnos de (Becker et al., 2019)

Desde su aparición, lidiar con el virus del COVID-19 ha resultado un auténtico desafío para todo el mundo, pero en especial para el personal sanitario, esta situación ha hecho que hayan aparecido nuevos estudios de planificación de turnos de trabajo para instituciones sanitarias teniendo en cuenta el virus como una nueva limitación. Kluger et al. (2020) realiza un estudio con el fin de reducir el número de infecciones entre el personal sanitario, para ello se consideró necesario una optimización de la planificación de turnos, uno de los enfoques que se dio fue la minimización de interacciones entre personal sanitario o que se limitara el número de pacientes a los que cada uno de los trabajadores era expuesto. El COVID-19 fue también objeto de estudio para Lishan et al. (2021), en este caso, la finalidad era similar a la del artículo mencionado anteriormente. Ante la irrupción del virus, el nivel de pacientes aumentó de forma exponencial, esto hizo que fuera difícil de dar una atención de calidad, por ello, Lishan et al. (2021) propone tres alternativas de planificación de turnos de trabajo para enfermeros, turnos de 4 horas + 4 horas, de 6 horas o de 6 horas con solapamientos de 1 hora. El estudio dio como resultado una considerable reducción de intensidad en el trabajo, de estrés y de esfuerzo físico para los enfermeros que realizaros los turnos de 6 horas con solapamiento de 1 hora. Se adjunta una tabla del artículo en cuestión que incluye el porcentaje de satisfacción de los enfermeros en según qué tipo de turno:

Items	4 + 4 h	6 h	6 h (including 1 h staggered)
Working time	71.46%	68.05%	79.76%
Working intensity	74.39%	64.15%	79.27%
Working state	75.85%	66.1%	81.22%
Cooperation	71.95%	70%	86.66%
Procrastination	75.71%	65.58%	79.73%
Biological clock	63.66%	76.1%	77.8%
Continuous rest time	67.07%	74.39%	81.22%
Terminal disinfection	66.58%	67.07%	80.24%
Take off protective clothing	70.98%	68.05%	80.73%

Figura 3-2. Resultados de satisfacción tras planificación de turnos (Lishan et al., 2021)

3.3 Centros de llamadas

La planificación de turnos de trabajo en centros de llamada se diferencia de otras en la ausencia de tener un rasgo geográfico, esto hace que la planificación sea algo menos complicada, sin embargo, la propia naturaleza hace que el número de tareas no sean conocidas *a priori* (Ernst et al., 2004). Para el caso de los centros de llamadas, los programadores de personal tienen un planteamiento distinto, ya que las llamadas entrantes llegan en intervalos irregulares, esto puede solucionarse permitiendo que los turnos se superpongan en ciertos momentos en los que haya picos de trabajo, así es posible lidiar con estos picos sin la necesidad de contratar personal extra o programar horas extra (van den Bergh et al., 2013). Es esencial hacer la planificación en los centros de llamadas donde trabajan cientos de operadores, ya que se pueden llegar a procesar miles de llamadas (Türker & Demiriz, 2018).

Se definen dos tipos de demanda, en función de sus restricciones en el artículo (Koole & van der Sluis, 2003):

- Restricciones duras (*hard constraints*): Se especifican en cada momento el número de empleados necesarios, un ejemplo pueden ser los operarios de una fábrica, ya que siempre debe haber una determinada cantidad de máquinas operativas.
- Restricciones blandas (*soft constraints*): En este caso se intercalan intervalos donde hay un mayor número de empleados con momentos en los que hay escasez de trabajadores, un ejemplo claro es los operadores de los centros de llamada.

La planificación moderna en los centros de llamada también debe tener en cuenta el hecho de que habrá llamadas de distintos tipos, por lo que se deben establecer criterios para que según sea el tipo de llamada, esta esté destinada a uno u otros empleados, en base a sus habilidades. El problema de la planificación reside en asignar a una línea de trabajo a personas que tienen los atributos necesarios (Ernst et al., 2004).

Türker & Demiriz (2018) divide la planificación del trabajo para los operadores de centros de llamadas en cuatro subproblemas, a continuación, se definen cada uno de ellos tal y como se indica en el artículo, junto con un esquema aclaratorio en la Figura 3-3:

1. Predicción de la carga de trabajo (*Workload Prediction*): Consiste en predecir la carga de trabajo y el número de llamadas recibidas en determinados periodos. La frecuencia y el número de llamadas recibidas durante el horizonte de planificación son el tema principal de este subproblema.
2. Niveles de personal (*Staffing Levels*): La dotación de personal se basa en encontrar el número mínimo necesario de operadores en función de la tasa de llamadas entrantes.
3. Turnos (*Shifts*): El tercer subproblema se centra en la elección de turnos que satisfagan las demandas de los operadores.
4. Lista de turnos (*Roster*): El último subproblema, se ocupa de la asignación de los operarios disponibles a los turnos, la especificación de los descansos diarios y de los días libres semanales de los operadores.

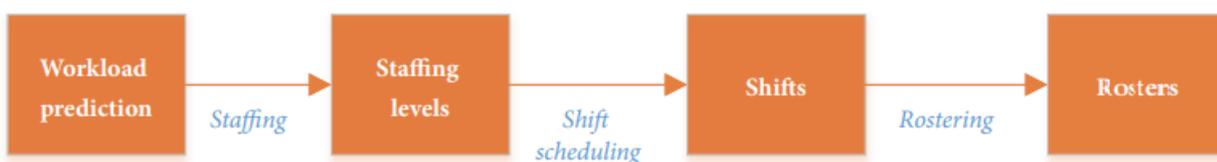


Figura 3-3. Planificación de los trabajadores de Türker & Demiriz (2018)

En base a esto, Türker & Demiriz (2018) utiliza un modelo de Planificación de enteros (IP) para resolver el problema de planificación de turnos, para el modelo de asignación de puestos de trabajo (*rostering*) propone dos alternativas, otro basado en el modelo IP y un modelo de programación con restricciones (CP). Los resultados indicaron que es preferible el modelado CP ante el IP, en términos de flexibilidad, velocidad en el tiempo de cálculo y facilitación, así mismo, este modelo se puede utilizar de manera efectiva para resolver problemas generales de Planificación del personal.

3.4 Trabajadores de industrias y comercio minorista

Es bien sabido que el uso de métodos cuantitativos y de análisis modernos por parte de las empresas en mercados competitivos es de vital importancia tanto para su eficiencia como para su beneficio financiero (Sifaleras et al., 2022). En el sector industrial los modelos planificación de turnos de trabajo resultan una herramienta útil. En el estudio se dirige a una central de ciclo combinado, en este tipo de industrias la planificación de turnos debe tener en cuenta la seguridad en lo que a suministro de energía se refiere. Asimismo, minimizar la mano de obra garantizando la máxima satisfacción de los empleados es un objetivo clave en la industria (E. H. Özder et al., 2021).

En el artículo mencionado anteriormente, Özder et al. (2021) desarrolla un modelo CP, el cual permite que el personal sea asignado equitativamente, minimizando las horas extras y satisfaciendo a su vez la necesidad de generación de electricidad en una gran central de ciclo combinado de gas natural.

La planificación de personal también se puede aplicar al comercio minorista, donde tienen que lidiar con cambios constantes en la demanda de personal predecibles (como la estacionalidad) o impredecibles (como el ausentismo no programado). Administrar la falta o excedente diaria de personal puede resultar intrincado, lo que puede llevar a un aumento de costes o la pérdida de reputación de una empresa (Álvarez et al., 2020).

Álvarez et al. (2020) se plantea un modelo que combina la heurística y la Planificación de enteros mixtos (MIP) de un comercio minorista, asignando turnos a los empleados en planificaciones de un día, con este modelo se trata de minimizar el exceso o la falta de personal derivado de la estacionalidad de la demanda. Para esto se construye una metodología secuencial e iterativa incorporando múltiples descansos (descanso para comer más uno o más descansos adicionales). El proceso de programación se divide en cuatro módulos, tal como aparece en la Figura 3-4:

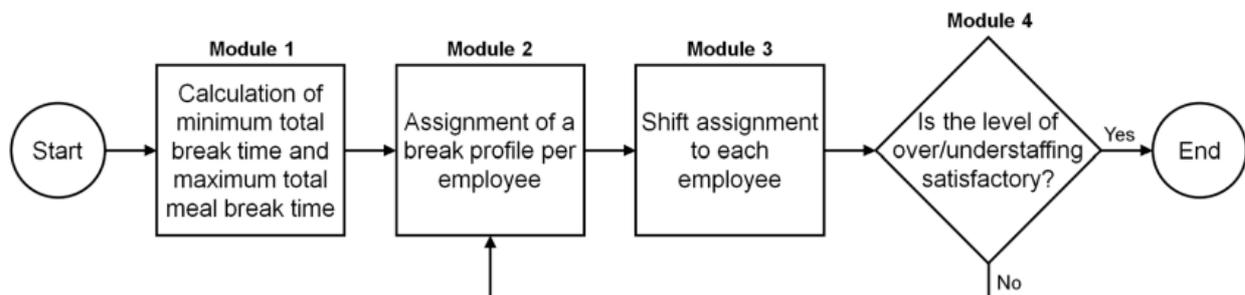


Figura 3-4. Planificación de los trabajadores de Álvarez et al. (2020)

- Módulo 1: Cálculo del mínimo tiempo de descanso y del máximo de tiempo de descanso en la comida
- Módulo 2: Asignación de un perfil de descanso por empleado

Estos dos módulos se hacen a través de una construcción heurística.

- Módulo 3: Asignación de turnos a cada empleado. En este módulo se utiliza el modelo MIP
- Módulo 4: ¿El nivel de exceso o falta de personal es satisfactorio? En el último módulo se realiza el proceso iterativo, en el caso de que el nivel de personal no fuera satisfactorio se volvería al módulo 2.

Los resultados del estudio mostraron que para llegar a los niveles de exceso o falta de personal cercanos al óptimo no requiere asignar a cada empleado una pausa adicional a la pausa para comer para lograr cubrir la demanda de forma satisfactoria.

Otra forma de planificar el personal de forma eficiente es la que se plantea en Kabak et al. (2008), en este estudio se realiza una programación en dos fases, el propósito consiste en desarrollar un método de programación automatizada y efectiva que maximice los beneficios de una tienda. A continuación, se desarrollan las dos etapas del estudio de Kabak et al. (2008):

1. Modelo de respuesta de ventas. Para especificar los requisitos del personal
 - a. Entradas: datos de tráfico de la tienda, ventas, personal en función de las horas...
 - b. Salidas: parámetros de respuesta de ventas de la tienda y requisitos del personal por horas
2. Modelo de optimización de enteros mixta (MIP). Desarrolla la planificación del personal
 - a. Entradas: salida del modelo de respuesta de ventas, turnos probables...
 - b. Salidas: número total de personal necesario para la tienda, asignación de los trabajadores necesarios para los turnos diarios a lo largo de una semana

Tras esto, se realiza una simulación para validar todo el proceso, dando como salida los beneficios semanales esperados y el valor óptimo de incremento de ventas.

Para finalizar el capítulo, se realiza, la Tabla 3-1 hace un resumen de todo lo que se ha desarrollado en el apartado:

Tabla 3–1. Tabla resumen campos de aplicación. Elaboración propia.

Autor/Artículo	Campo de aplicación	Herramientas utilizadas	Problema a resolver
(Topaloglu, 2009)	Personal sanitario	Programación multiobjetivo	PDT de una unidad de hospital
(EL-Rifai et al., 2015)	Personal sanitario	EST/MIP	Optimizar turnos en emergencias
(Kostreva et al., 1991)	Personal sanitario	CP	Aplicación RC
(Türker & Demiriz, 2018)	Centros de llamada	IP/CP	Comparación herramientas
(Becker et al., 2019)	Personal sanitario	IP	PDT de personal de emergencias
(Chen & Yeung, 1992)	Personal sanitario	Programación por objetivos	Análisis de efecto de estrés, RC y ergonomía
(Kabak et al., 2008)	Comercio minorista	MIP	PDT para eficiencia en negocio minorista
(Álvarez et al., 2020)	Comercio minorista	Heurística/MIP	PDT con múltiples descansos
(Chu et al., 2013)	Controladores aéreos	IP	PDT para reducir la fatiga
(Kluger et al., 2020)	Personal sanitario	Simulación Montecarlo	PDT para reducir infecciones
(Hernández-Romero et al., 2022)	Controladores aéreos	MIP	Impacto de fenómenos meteorológicos
(Koole & van der Sluis, 2003)	Centros de llamada	CP	PDT centros de llamada
(Wang & Liu, 2014)	Genérico	MIP	PDT para reducir fatiga
(Knust & Schumacher, 2011)	Transportistas	MIP	PDT de camioneros
(Sifaleras et al., 2022)	Sector industrial	MIP	PDT para minimizar horas-hombre inactivas
(E. H. Özder et al., 2021)	Sector industrial	CP	PDT para sistemas de turnos exigentes
(Lishan et al., 2021)	Personal sanitario	Cuestionarios	PDT para áreas de aislamiento de COVID-19

4 FACTORES PSICOSOCIALES

En una gran parte de los artículos que se ha revisado, no solo se han estudiado métodos de resolución para la planificación de turnos, además se ha estudiado como puede afectar al empleado un estilo de trabajo que te dificulta una vida rutinaria. A continuación, se desarrollan distintos factores que se tienen en cuenta en los artículos revisados a la hora de realizar la planificación de un trabajo a turnos.

4.1 Ergonomía

Según el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, *“la ergonomía (o estudio de los factores humanos) es la disciplina científica que trata de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema, así como, la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos al diseño con objeto de optimizar el bienestar del ser humano y el resultado global del sistema”* (INSST, s. f.).

La ergonomía en el mundo laboral tiene como objetivo adaptar los elementos del trabajo a las habilidades y capacidades humanas. Los elementos de trabajo ergonómicos están diseñados pensando en las personas que los utilizarán. Al igual que con la organización de la empresa, debe diseñarse de acuerdo con las características y necesidades de las personas que la integran. Algunos de los principales objetivos de la ergonomía son:

- Identificar, analizar y mitigar los riesgos laborales
- Ajustar el lugar de trabajo y las condiciones según las características del empleado
- Controlar la introducción de nuevas tecnologías en la organización
- Aumentar la motivación y la satisfacción laboral.

En artículos como Karhula et al. (2021) se implementaron normas ergonómicas a los empleados de un centro sanitario, las reglas eran las siguientes:

1. El máximo de horas de trabajo totales en un periodo de 7 días es de 50 horas.
2. El número de turnos de noche consecutivos es de 1 a 5.
3. El turno de noche es o los turnos de noche son seguidos por al menos 2 días libres.
4. La duración máxima del turno de noche es de 10 horas.
5. El número de retornos rápidos de los turnos de tarde a la mañana se reduce a un máximo de 1-2 por turno de tres semanas.

Estas reglas se aplicaron a un grupo (grupo de intervención) y se compararon los resultados con un grupo de control al que no se aplicaron las reglas anteriormente mencionadas, según se indica en Karhula et al. (2021), una intervención destinada a mejorar la ergonomía en turnos de trabajo irregulares puede tener múltiples efectos beneficiosos sobre el bienestar de los empleados a través de la mejora del sueño.

Gärtner (2004) pone como foco también la ergonomía, sin embargo, en este caso se plantea la contribución del empleado en las decisiones de regulación de las horas de trabajo, se analiza los conflictos que aparecen entre las preferencias de los trabajadores y las recomendaciones ergonómicas en la planificación de turnos de trabajo. A continuación, se listan los resultados que dio el análisis:

1. Horas extras. Las horas extraordinarias provocaban que hubiera menos horas de descanso entre turnos, lo que aumentaba el estrés, la fatiga y el riesgo de accidentes. A pesar de esto, la mayoría de los trabajadores eran reacios a reducir el número de horas extras, ya que consideraban más importante los ingresos.
2. Trabajo nocturno permanente. El trabajo nocturno permanente se considera nocivo para la salud, sin embargo, hubo empleados que también dieron prioridad a los ingresos, algunos gerentes se opusieron al trabajo nocturno permanente ya que consideraron diferentes conflictos (supervisión insuficiente,

abuso de medicamentos, problemas disciplinarios y calidad de producción).

3. Descansos diarios más cortos y descansos semanales más largos. En el 15% de los casos las pausas entre turnos eran cortas (menos de 12 horas y, a veces, 8 horas) permitiendo así periodos más largos de tiempo libre entre serie de turnos.
4. Lenta o rápida rotación. En la mayoría de los casos se prefirió una rotación rápida, solo un pequeño número de personas eligió rotaciones lentas por motivos como la conciliación familiar y la compatibilización con estudios.
5. Duración de turnos. Se planteó la cuestión de los turnos largos, frente a turnos más cortos. El motivo de realizar turnos más largos para conseguir mayor ingreso por las horas extras fue, de nuevo, una de las razones principales. También se discutieron temas como el tiempo libre, la conciliación familiar o la oportunidad de recuperarse del trabajo.
6. Elección individual de turnos frente a una lista común. Se acordaron soluciones muy diferentes (desde horarios flexibles de empleados hasta turnos regulares) en función de preferencias y condiciones específicas (como la diversidad de intereses o la capacidad de anticipar cambios en la demanda)

El análisis de Gärtner (2004) dio como resultado que, en gran medida, la búsqueda de mayores ingresos desempeñó un papel importante en el proceso de toma de decisiones de los empleados y que éstos preferían horarios de trabajo que entraran en conflicto con los principios de salud y seguridad.

Como conclusión, Gärtner (2004) indica que el consentimiento de los empleados o del comité de la empresa no garantiza por sí solo horarios ergonómicamente adecuados.

4.2 Ritmos circadianos

Otro de los factores psicosociales a tener en cuenta en la planificación de turnos de trabajo son los ritmos circadianos. Circadiano proviene del griego ‘circa’ que significa ‘sobre’, y ‘diem’, que significa ‘un día’ (ritmos de aproximadamente un día de duración) (Kostreva et al., 1991). Se define como el ciclo natural de cambios físico, mentales y de comportamiento que el cuerpo experimenta en un periodo de 24 horas. Están influenciados principalmente por la luz y la oscuridad. Puede afectar al sueño, apetito, hormonas o temperatura corporal. También es comúnmente conocido como “reloj biológico”. Los ajustes diarios del sistema circadiano humano debido a los cambios en los patrones de sueño y vigilia ocurren a un ritmo de 1 a 1,5 horas por día, la diferencia entre estar despierto durante el día a estarlo por la noche (unas 12 horas de diferencia), podría llevar entre 12 y 18 días para que se produzca un ajuste complete y se recupere el rendimiento óptimo (Rudin-Brown et al., 2019).

Como indica Kostreva et al. (1991), el trabajo por turnos tiene un impacto importante en los ritmos circadianos, que pueden provocar varios tipos de trastornos físicos y psicológicos como el insomnio y patologías cardiovasculares y gastrointestinales. Rudin-Brown et al. (2019), se realiza una investigación de los accidentes de ferrocarriles en Canadá y como afecta el trabajo a turnos a una alteración de los diferentes factores psicosociales. Se indicó que los empleados que trabajaban con horarios variables se le exponían a un mayor riesgo de disminución de estado de alerta, asociado a la desincronización de su ritmo circadiano, ya que se ven alterados los patrones de sueño. Como conclusión, en el artículo Rudin-Brown et al. (2019) indica que la planificación de turnos en la industria ferroviaria de carga resulta un tema complejo para la gestión de los ritmos circadianos y los requisitos del sueño.

En esta alteración del ritmo circadiano, los síntomas de insomnio o hipersomnia son propios de jornadas o turnos laborales que se solapan con el periodo normal del sueño, permaneciendo el trabajador alerta en un momento inadecuado de su ciclo sueño-vigilia (Sánchez-Sellero, 2021). La alteración de los ritmos circadianos puede derivar en patologías graves, Campbell et al. (1986) realizó un estudio a enfermeros de una unidad de cuidados intensivos, además del estrés que se sufre en ese tipo de puestos de trabajo, existieron algunos casos de esquizofrenia y depresión cíclica asociados a los ritmos circadianos anormales de los enfermeros.

También Kostreva et al. (1991) señala que, si no se tiene especial cuidado en este aspecto, puede hacer que la productividad se vea reducida. El rendimiento y el funcionamiento cognitivo suelen ser peores durante el periodo en que los ritmos circadianos dictan el sueño (Rudin-Brown et al., 2019). En el estudio de Åkerstedt (1997) indicó que cuando un trabajador de turno de noche regresa a la cama por la mañana, se duermen rápidamente,

pero se despiertan prematuramente por su ritmo circadiano, mostrando somnolencia y una menor productividad. En Kostreva et al. (1991), para realizar una planificación de turnos de trabajo de enfermeros en un hospital, aparte de limitaciones como los días de vacaciones, bajas por enfermedad o bajas por motivos de otra índole, se tiene en cuenta ciertos principios del propio hospital:

1. No más de seis días laborables consecutivos.
2. Al menos 15 horas y media libres entre turnos
3. No más de dos tipos diferentes de turnos (diurno, vespertino o nocturno) en dos semanas de calendario
4. No más de cinco turnos en una semana
5. Gran cantidad de turnos los miércoles por reuniones informativas y formación del departamento.

Además de estas consideraciones, para diseñar el cuadro de turnos y respetar en la medida de lo posible los ritmos circadianos de los trabajadores, Kostreva et al. (1991) sigue el siguiente procedimiento:

1. Dividir el horizonte de planificación en periodos de tres semanas.
2. Completar el periodo, debe pasar un tiempo mínimo entre rotaciones, debe ser el máximo posible y siempre tener un mínimo de tres semanas.
3. Programar primero los ‘cuellos de botella’.
 - a. Dado que el turno de noche suele ser el turno que requiere el menor número de enfermeros y el que más altera los ritmos circadianos, debe asignarse primero.
 - b. Los turnos vespertinos se asignan a continuación. Las enfermeras que pasen al turno vespertino deben venir del turno diurno y ser las que más tiempo llevan en dicho turno.
4. Programar las áreas sin ‘cuellos de botella’, sujeta a las restricciones. Se asignan turnos de día a cada enfermero de cinco turnos por semana.

La conclusión de este estudio indica que la teoría de los ritmos circadianos puede aplicarse a la Planificación de trabajo por turnos bajo unas restricciones realistas.

4.3 Fatiga y estrés

Según como una empresa tenga en consideración los factores desarrollados anteriormente, la aparición de trastornos como la fatiga o el estrés pueden aparecer en mayor o menor medida en los trabajadores. No a todos los empleados afecta por igual el estrés, según Hårma et al. (2018) es más evidente entre trabajadores de más de 50 años, en otro estudio Hårma et al. (2019) contrasta el hecho de que los enfermeros de mayor edad que cambiaron el turno a uno diurno experimentaron una disminución de la fatiga. En un hospital, el propio ambiente intensifica el estrés, al ser un lugar abarrotado, ruidoso y ajetreado, los enfermeros no tienen posibilidad de mantener la calma y relajarse (Chen & Yeung, 1992). Sin embargo, la fatiga o el estrés no solo afectan al empleado, en Estados Unidos los problemas relacionados con la fatiga suponen una pérdida en términos de productividad de unos 18000 millones de dólares al año (Chu et al., 2013).

Una enfermedad común relacionada por el trabajo, considerada enfermedad laboral, estrechamente relacionada con el estrés laboral es la que se conoce como “Síndrome de burnout”, en ella el estrés se perpetúa de manera prolongada pudiendo desencadenar padecimientos al estrés crónico (Rico et al., 2022).

El estudio que realiza Laske et al. (2022), analiza un aspecto que puede resultar interesante, como cambia el comportamiento de los trabajadores cuando están cerca sus vacaciones. En fábricas que operan todos los días del año los días de vacaciones suponen un cambio de personal, debido a estos cambios en el personal las tareas o la carga de los trabajadores puede cambiar lo que provoca que aumente el estrés.

Rico et al. (2022) realizan una evaluación del nivel de estrés a un grupo de policías, un sector laboral especialmente afectado por este trastorno, ya que además de ser un trabajo por turnos, a veces están sometidos a situaciones límites. Para estimar los niveles de estrés utilizaron dos instrumentos, uno de ellos fue el cuestionario COPE (*Coping Orientation to Problems Experienced*), que se encarga de medir como afrontan el estrés, se contemplan seis factores:

1. Afrontamiento conductual del problema. Realizar acciones de modificación de conducta que ayuden a paliar el agente estresor.
2. Afrontamiento cognitivo del problema. El conocimiento de la situación generada ayuda a contrarrestar el agente estresor.
3. Escape cognitivo. Manera de dar respuesta a un estímulo aversivo gracias a su conocimiento del problema.
4. Escape conductual. La manera de dar respuesta a un estímulo aversivo gracias a la conducta del sujeto
5. Afrontamiento centrado en las emociones.
6. Consumo de alcohol y drogas.

El segundo cuestionario que se usó como herramienta fue el test del Temperamento que mide la personalidad y estilo de vida afectivo, laboral, parental y amistoso. Se extrajeron 4 tipos de temperamento:

1. Sanguíneo. Manifiesta un sistema nervioso fuerte y equilibrado, reaccionando a los estímulos ambientales de forma rápida.
2. Colérico. Propenso a la inestabilidad emocional presentando rasgos inquietos y susceptibles.
3. Melancólico. Sistema nervioso débil, manifestando inestabilidad emocional e introversión.
4. Flemático. Rasgos de tranquilidad y control, sistema nervioso equilibrado.

Tras la realización por parte del personal de policía de estos test, Rico et al. (2022) dio como resultado que la mayoría del grupo de estudio lidió con el estrés con un alto grado de aceptación y manejo de sus emociones. El turno de tarde se consideró como el de menor rendimiento laboral, siendo más altos los niveles de agotamiento y fatiga, produciendo una reducción de los niveles de seguridad y aumento del estrés entre el cuerpo policial.

En palabras de Chu et al. (2013), aunque la fatiga no es la causa directa de los accidentes de aviación, el 21% de los accidentes están relacionados con la fatiga. Chu et al. (2013) realiza una planificación de turnos enfocado a la minimización de la fatiga en controladores aéreos, en primer lugar, se realiza un modelo matemático para establecer los niveles de fatiga, el problema de optimización se soluciona mediante IP.

Mencionar el artículo de Rudin-Brown et al. (2019), donde se realizó un análisis de los accidentes de trenes de mercancías en Canadá de 1995 a 2015, con el fin de comprobar cuales podrían estar relacionados con la fatiga. Dicho artículo indica que la planificación de turnos puede contribuir a la fatiga si:

1. Restringe las oportunidades de que los trabajadores obtengan un sueño reparador
2. El trabajo requiere periodos prolongados de vigilia
3. Altera los ritmos circadianos

De este estudio extraen siete factores de riesgo que contribuyen a la fatiga:

1. Interrupción del ciclo normal del sueño.
2. La naturaleza impredecible de la planificación de turnos en el sector ferroviario.
3. Periodos de descanso insuficientes entre turnos.
4. Periodos prolongados de vigilia continúa debido a la duración del turno.
5. Efectos acumulativos de trabajar jornadas prolongadas a largo plazo.
6. Presiones sobre los empleados para que no rechacen turnos debido a la fatiga
7. Contramedidas de fatiga ineficaces.

4.4 Otros factores

Los horarios irregulares, no solo alteran el ritmo circadiano, sino que también pueden llegar a afectar la vida social y familiar (Chen & Yeung, 1992). Las horas de sueño variables e impredecibles hacen que la vida familiar

sea difícil de gestionar, ya que se tienen compromisos a lo largo del día como pueden ser los desplazamientos al colegio, tareas del hogar o las horas de comer (Rudin-Brown et al., 2019).

También existen estudios que asocian patologías como el aumento del riesgo de accidente cardiovascular (Torquati et al., 2018) o diabetes de tipo II (Gao et al., 2020) al trabajo por turnos.

En las sociedades occidentales, la población activa está envejeciendo. En 2018, una quinta parte de los trabajadores de la Unión Europea eran mayores de 55 años, la proporción de personas de más de 55 años en la Unión Europea está previsto que pase de un 33% que era en el 2018 a un 41% en el 2050 (European Commission, 2019). Los trabajadores por turnos de mayor edad tenían siete veces más una duración del sueño más corta entre los turnos de noche y los días libre, en comparación con los trabajadores por turnos más jóvenes (Hulsegge et al., 2019).

Karhula et al. (2021) tuvo en cuenta estos datos para realizar un estudio de campo entre trabajadores sanitarios, en él se aplicaron reglas ergonómicas con el fin de mejorar la duración y la calidad del sueño entre los trabajadores más envejecidos.

Por último, se incluye la Tabla 4-1, a modo de resumen, de lo expuesto durante todo el capítulo:

Tabla 4-1. Tabla resumen factores psicosociales. Elaboración propia.

Autor/Artículo	Factores psicosociales	Herramientas utilizadas	Problema a resolver
(Kostreva et al., 1991)	RC	CP	Aplicación RC
(Chen & Yeung, 1992)	Estrés, RC y ergonomía	GP	Análisis de efecto de estrés, RC y ergonomía
(Chu et al., 2013)	Fatiga	IP	PDT para reducir la fatiga
(Karhula et al., 2021)	Ergonomía	Aplicación reglas ergonómicas	PDT con reglas ergonómicas
(Gao et al., 2020)	Diabetes	Mínimos cuadrados	Relación de turnos de trabajo con diabetes tipo 2
(Härmä et al., 2018)	Fatiga y calidad de sueño	Regresión logística	Relación de turnos de trabajo con fatiga y sueño
(Gärtner, 2004)	Ergonomía	Análisis de preferencias	de Análisis de la contribución de empleados en PDT
(Rico et al., 2022)	Estrés y temperamento	Tests	Investigación de efectos del estrés en policías
(Laske et al., 2022)	Fatiga	Regresión logística	Efecto de trabajo a turnos en accidentes laborales
(Rudin-Brown et al., 2019)	Fatiga	Análisis de factores	Estudio de factores causales de accidentes
(Sánchez-Sellero, 2021)	Satisfacción en el trabajo	Regresión logística	Análisis de la satisfacción y salud en turnos de trabajo
(Torquati et al., 2018)	Enfermedad cardiovascular	Análisis de artículos relacionados (meta-regresión)	Asociación entre trabajo por turnos y riesgo de enfermedad cardiovascular
(Härmä et al., 2019)	Fatiga y calidad de sueño	Regresión logística	Examen del trabajo por turnos como factor de riesgo
(Hulsegge et al., 2019)	Calidad de sueño	MIP	Estudio de alteraciones de sueño entre trabajadores por turnos
(Åkerstedt & Folkard, 1997)	RC	Modelo predictivo	Desarrollo de modelo para predecir rendimiento

5 MÉTODOS DE RESOLUCIÓN

Para la planificación de turnos de trabajo existen infinitud de métodos de resolución, ya que cada caso de planificación de turnos tiene sus peculiaridades, es necesario buscar distintos métodos de resolución que se adapten a la casuística del problema.

En este apartado se desarrollan varios de los métodos de resolución vistos en los artículos revisados y se explica en qué consiste cada uno de los métodos, desarrollando los distintos enfoques que los autores han planteado para resolver los problemas.

5.1 Programación lineal (*Linear Programming*)

Dantzig (1954) para encontrar la mejor asignación a 70 personas a 70 puestos de trabajo, desarrolló en su artículo el método simplex, uno de los hallazgos más importantes en la programación lineal. Dicho método consistía en un algoritmo iterativo cuyo objetivo era encontrar una solución óptima en las esquinas de una región factible, la cual estaba representada por las restricciones de la ecuación lineal. La formulación era la siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} && \sum_{k \in K} c_k X_k \\ & \text{subject to} && \\ & && \sum_{k \in K} a_{kt} X_k \geq b_t \quad \text{for all } t \in T, \\ & && X_k \geq 0 \text{ and integer, } \quad k \in K, \end{aligned}$$

Figura 5-1. Formulación de Dantzig (1954)

Donde X_k es una variable entera definida como el número de empleados asignados al turno k , T es el conjunto de períodos de planificación cubiertos por el cronograma de turnos, K es el conjunto de todos los turnos, b_t es el número de empleados necesarios en el período t para lograr el nivel de servicio deseado, c_k es el costo de asignar un empleado al turno k , y a_{kt} es igual a uno si el período t es un período de trabajo para el turno k y cero en caso contrario.

Dada la naturaleza de los problemas de planificación de turnos, en la mayoría de los casos revisados, las variables son enteras, por lo que se plantea una Planificación de enteros (IP). Un ejemplo de aplicación de IP constituye Ito et al. (2018), un artículo que estudia la planificación de turnos de una escuela infantil. Para ello utiliza un método de formulación de enteros 0-1 con restricciones ponderadas, posteriormente se aplicará dicha programación a un caso real.

El modelo pretende satisfacer la mayor cantidad de restricciones posible. Estas se pueden dividir en tres categorías:

1. Restricciones debidas a las leyes laborales
2. Restricciones debidas a las normas de la escuela infantil
3. Restricciones solicitadas por la escuela infantil

Mientras que las restricciones 1 y 2 deben cumplirse, el conjunto de restricciones 3 debe satisfacerse tantas como sean posible. La función objetivo pretende minimizar el número de violaciones de la restricción 3. Dicha función objetivo tiene la forma que se indica en la Ecuación 5-1:

Ecuación 5-1

$$\begin{aligned} \text{minimizar } & t \sum_{i \in I} p_i + \kappa \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (\hat{s}_{ij} + \check{s}_{ij}) + v \sum_{i \in I} (\check{s}_i + \hat{s}_i) \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} q_{ij} + \zeta \sum_{i \in I} (k_i + h_i) + \epsilon \sum_{i \in I} (f_i + r_i) \end{aligned}$$

La Ecuación 5-1 minimiza la suma de los términos de penalización ponderados para las restricciones. La notación de la función objetivo se indica en la Tabla 5-1:

Tabla 5–1. Notación Ito et al. (2018)

Índices	Significado
I	el conjunto de personal de guardería
J	el conjunto de turnos
$p_i, \check{s}_{ij}, \hat{s}_{ij}, q_{ij}, k_i, f_i, h_i$ and $r_i (i \in I, j \in J)$	Límites superior e inferior de miembros del personal i por día
t, κ, v, v, ζ and ϵ	Factores de ponderación

El desarrollo del modelo consiste en la resolución de diversas ecuaciones que cumplan las restricciones establecidas. A continuación, se muestra el cuadrante resultante y una leyenda con el tipo de turno asignado en la Tabla 5-2.

Tabla 5–2. Tipos de turnos IP en Ito et al. (2018)

	Turno	Índice (j)	Horario
Turno temprano	A	1	7:00 - 16:00
Turno temprano	B	2	8:00 – 17:00
Turno temprano	C	3	8:30 – 17:30
Turno tardío	D	4	9:00 – 18:00
Turno tardío	E	5	9:15 – 18:15
Turno tardío	F	6	9:30 – 20:15

Mar-17																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri		
staff member 1	F	C	A			D	A	E	B	E			C	F	C		A				C	F	D	A				B	D	F	D	E	
staff member 2	D	E	A			F	C	A	E	C			D	D	F	C	E					F	D	A	E				F	B		B	C
staff member 3	B	D	F			C	E	D		A			E	B	A	F	B					A	C	E	C				D	F	D	F	B
staff member 4	E	C	E			C	F	B	F	B			D	F	D	E	C					B	E	C	F				E	A	E	A	F
staff member 5	A	F	C			E	B	F	D	F			E	A	E	A	E					F	C	E	B				C	E	C	F	D
staff member 6	E	A	F			E	D	F	C	E			F	C	F	B	F					E	A	F	C				D	E	A	E	B
staff member 7	C	F	D			A	F	C	F	D			B	E	B	F	D					A	F	B	E				E	C	F	B	E
staff member 8	B	E	B			B	E	C	E	D			F	D	E	D	F					D	E	C	F				A	F	B	E	A
staff member 9	F	B	E			F	D	E	A	F			A	E	A	E	A					E	B	F	D				F	C	E	C	F

Figura 5-2. Cuadrante escuela infantil IP propuesta en el artículo de Ito et al. (2018)

La planificación que propone Ito et al. (2018), no solo redujo la cantidad de veces que los empleados tuvieron que trabajar en un mismo turno, sino también la cantidad de turnos tempranos o tardíos asignados a un empleado. Por lo que el método IP binario aplicado se podría decir que proporciona un horario que alivia la carga del personal de la guardería a la vez que ahorra tiempo.

Una variante del modelo propuesto anteriormente constituye la Planificación de enteros mixta (MIP), este modelo combina variables enteras con variables no enteras. A continuación, se desarrollará un ejemplo explicativo de uno de los artículos revisado. Sifaleras et al. (2022), realiza una planificación de turnos de trabajo en una fábrica de embotellado.

El objetivo de dicho modelo es la minimización de las horas que el personal está sin trabajar y el exceso de capacidad de producción. Para proceder a la explicación del problema, se indicará primero los índices de los sumatorios (Tabla 5-3), los parámetros (Tabla 5-4) y las variables de decisión (Tabla 5-5).

Tabla 5-3. Notación MIP

Índices	Significado
$d = 1, \dots, D$	Días
$g = 1, 2$	Género (1 para hombre, 2 para mujer)
$s = 1, \dots, S$	Turnos
$p = 1, \dots, 5$	Productos

Tabla 5-4. Parámetros MIP

Índices	Significado
D	Número de días laborables al mes
S	Número de turnos
P	Número de productos
dem_p	Demanda por producto
c_p	Capacidad de las máquinas por producto
w_p	Trabajadores necesarios por producto
M	Número de trabajadores
$In M_p$	Número mínimo requerido de trabajadores por producto.
F	Número de trabajadoras
q	Cuando la producción de aluminio de 0,33 ml es simultánea con cualquiera de los otros productos entonces, los trabajadores requeridos de esta línea de productos son q menos que sin producción simultánea

Tabla 5-5. Variables de decisión MIP

Índices	Significado
$x_{ijt} (i \in I, j \in J, t \in T)$	1 si los miembros del personal i están trabajando en el turno j en el día t , y 0 en caso contrario
$p_i, \hat{s}_{ij}, \hat{s}_{ij}, \hat{g}_i, \hat{g}_i, q_{ij}, k_i, f_i, h_i$ and $r_i (i \in I, j \in J)$	Límites superior e inferior de miembros del personal i por día

La función objetivo está representada por la Ecuación 5-3, que está dividida en dos partes, la primera parte minimiza el exceso de capacidad de producción y la segunda maximiza el número total de trabajadores asignados (no ociosos).

Las horas-hombre ociosas se calculan mediante la Ecuación 5-2:

Ecuación 5-2

$$D \times (M + F) - \sum_{d=1}^D \sum_{g=1}^2 \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P x_{dgsp}.$$

Ecuación 5-3

$$\min \sum_{p=1}^P \left(c_p \times \left(\sum_{d=1}^D \sum_{s=1}^S z_{dsp} \right) - dem_p \right) - \sum_{d=1}^D \sum_{g=1}^2 \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P x_{dgsp}$$

Las Ecuación 5-4 y Ecuación 5-5 garantizan que no se supere el número total de trabajadores masculinos y femeninos, respectivamente.

Ecuación 5-4

$$\sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P x_{d1sp} \leq M, \quad \forall d$$

Ecuación 5-5

$$\sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P x_{d2sp} \leq F, \quad \forall d$$

La Ecuación 5-6 indica el número mínimo requerido de trabajadores masculinos por producto, día y turno.

Ecuación 5-6

$$x_{d1sp} \geq \ln M_p \times z_{dsp}, \quad \forall d, \forall s, \forall p$$

En la desigualdad izquierda de la Ecuación 5-7, impone que, en caso de producción simultánea, se produzca al

menos uno de los cuatro primeros productos. La desigualdad derecha restringe la producción simultánea de los cuatro primeros productos.

Ecuación 5-7

$$y \leq \sum_{p=1}^4 z_{dpp} \leq 1, \quad \forall d, \forall s$$

La Ecuación 5-8 hace que el 5° producto debe producirse, en caso de que haya producción simultánea, con cualquiera de los otros 4 productos. Ecuación 5-9 garantiza que se use siempre el primer turno antes del segundo.

Ecuación 5-8

$$\sum_{p=1}^4 z_{dsp} + z_{ds5} - 1 \leq y, \quad \forall d, \forall s$$

Ecuación 5-9

$$z_{d1p} \geq z_{d2p}, \quad \forall d, \forall p$$

Este modelo proporciona una ventaja competitiva ya que es rápido, útil y fiable.

Otro de los estudios revisados con un modelo MIP es el propuesto por Kabak et al. (2008), que realiza la optimización de la asignación del personal durante una semana de un negocio minorista. Kabak et al. (2008) propone en este caso un modelo de optimización de enteros mixto (MIP) cuyo objetivo es encontrar el número óptimo de personal, teniendo en cuenta personal a tiempo completo y a tiempo parcial.

Este modelo tiene como entradas la cantidad de personal que maximiza las ganancias por hora y la duración de los turnos diarios (incluyendo descansos). La función objetivo que se muestra en la Ecuación 5-10, mide el coste semanal de la mano de obra.

Ecuación 5-10

$$\text{minimize } z = \text{CostF} * \sum_k \text{full}(k) + \text{CostP} * \sum_l \text{part}(l)$$

Hay que destacar, que en este modelo se diferencia entre el coste del trabajador a tiempo completo (*CostF*) y a tiempo parcial (*CostP*). Las variables de decisión *full(k)* y *part(l)* representan parámetros enteros (binarios), los cuales funcionan como sumatorios de la cantidad de trabajadores asignados a un turno. Para hacerse una idea del modelo, se estudiaron 7 diferentes longitudes de turno y 39 turnos detallados disponibles. Tomando el número máximo de trabajadores a tiempo completo y a tiempo parcial como 20, habrá 273 variables enteras puras, 2000 variables binarias y 228 restricciones en el modelo.

Álvarez et al. (2020) también desarrolla un MIP para un negocio minorista, en este caso como función objetivo se optimiza la demanda del personal, sin tener en cuenta el coste de la mano de obra, para ello minimiza la suma del exceso y la falta de personal. La solución del modelo debe satisfacer una serie de restricciones, a diferencia de otros modelos vistos, este se enfoca más en garantizar el respeto de las pausas y los descansos de los trabajadores. El objetivo del estudio es minimizar los efectos negativos de múltiples pausas tanto para los trabajadores como para los empresarios

Otro enfoque distinto de la resolución de la planificación de turnos a partir de un modelo IP, es el desarrollado por Chu et al. (2013), el cual consiste en elegir la mejor combinación de turnos para cada empleado de modo que se pueda minimizar su nivel máximo de fatiga. Para ello utiliza variables para cuantificar el estado de fatiga de las personas, teniendo en cuenta restricciones como vacaciones, horarios de trabajo, regulaciones laborales o necesidades de personal.

Los métodos de resolución IP tienen toda una resolución similar, las peculiaridades que los caracteriza pueden ser las variables que utilizan a la hora de realizar la planificación de turnos. El artículo de Hernández-Romero et al. (2022) tiene como particularidad la inclusión de variables relacionadas con el clima. A partir de datos estadísticos de fenómenos meteorológicos, añaden restricciones relacionadas con estos, planificando así el número necesario de trabajadores para momentos en los que haya un clima más o menos favorable.

Aykin (1996) propone un nuevo modelo que requiere un número menor de variables y memoria de ordenador. En el modelo desarrollado, incluye dos pausas para descansar y una pausa para comer. Estas pausas pueden hacerse con cierta flexibilidad, pero dentro de unas ventanas de tiempo específicas. La formulación propuesta puede extenderse para modelar diferentes restricciones en función de la ubicación de los descansos, los tipos de pausas y los objetivos.

Este tipo de formulación requiere una variable entera para cada combinación de tipo de turno, hora de inicio de turno y lugar de descanso/almuerzo. Esto hace que el número de variables enteras sea bastante grande y lo convierte en una solución poco práctica en la mayoría de las aplicaciones (Aykin, 1996).

Wang & Liu (2014) también utiliza un modelo MIP para desarrollar su problema de planificación de turnos. En este caso el estudio se centra también en la minimización de la fatiga, para ello asigna coeficientes de carga de trabajo que limita que un trabajador trabaje en situaciones de fatiga. Este artículo tiene la particularidad de incluir como restricción, la preferencia de los días libres del personal, ya que permite al empleado elegir la ponderación de sus días libres preferidos para que el solucionador pueda seleccionar el régimen de días más adecuado a los gustos de los empleados. Resulta interesante comprobar la simulación que se hace del modelo, en el cuál miden el estado de fatiga de un grupo de estudiantes en prácticas antes y después de aplicar el modelo propuesto.

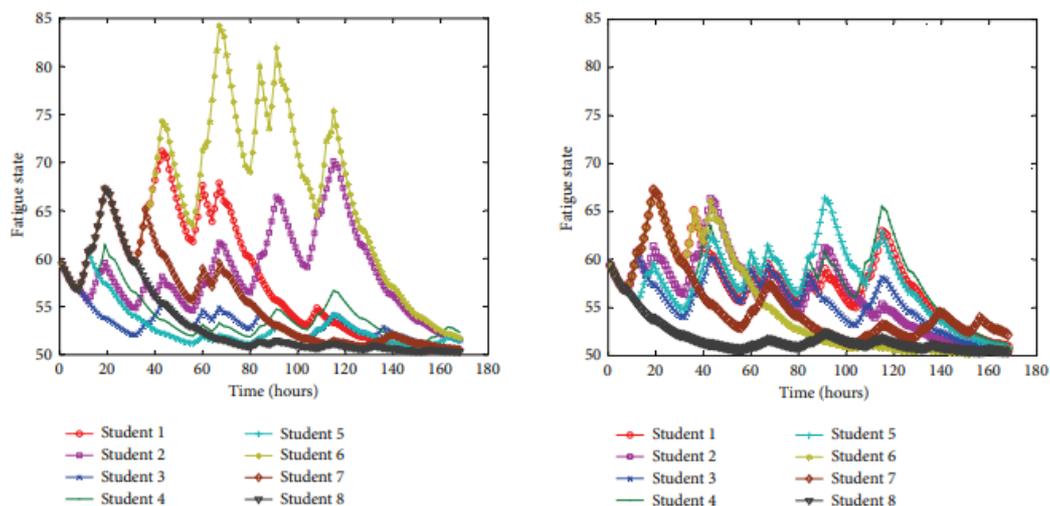


Figura 5-3. Estado de fatiga antes y después del modelo de Wang (2014)

Otro artículo con método de resolución MIP consiste es el expuesto por Knust & Schumacher (2011) la planificación de turnos de caminos de una pequeña empresa petrolera, en él se caracteriza por dividir entre restricciones “duras” y “blandas”.

En este artículo, destaca el hecho de que una vez desarrollado el problema con la formulación MIP, para el caso real de estudio se decide resolver con una versión reducida que solo incluye las restricciones “duras”, ya que el

problema inicialmente propuesto no puede resolverse en un tiempo razonable sin un costoso solucionador MIP.

Kiermaier et al. (2020) resuelve su problema de planificación de turnos particular a través de dos MIP, el primero se utiliza para determinar los turnos de trabajo y días libres de la plantilla que minimice costes de mano de obra y escasez de demanda. La salida de éste se toma como entrada del segundo que optimiza los descansos para minimizar los costes de las horas trabajadas y los periodos no cubiertos.

La formulación de programación entera crece exponencialmente y se vuelve inmanejable cuando se consideran más de un puñado de tipos de turnos y opciones de ruptura. Como consecuencia, se ha desarrollado un gran número de formulaciones alternativas para reducir el tamaño del modelo.

En la Figura 5-4, se muestra un extracto de la formulación de Kiermaier et al. (2020), donde utiliza variables enteras binarias para su MIP.

$$\begin{aligned}
 b_{r,w,d,t}^{\text{start}} &= 1, \text{ if sub-break } r \text{ for worker } w \text{ starts in period} \\
 & t \text{ on day } d, 0 \text{ otherwise} \\
 b_{r,w,d,t}^{\text{end}} &= 1, \text{ if sub-break } r \text{ for worker } w \text{ ends in period} \\
 & t \text{ on day } d, 0 \text{ otherwise} \\
 b_{w,d,t}^{\text{last}} &= 1, \text{ if the last sub-break for worker } w \text{ ends in} \\
 & \text{period } t \text{ on day } d, 0 \text{ otherwise}
 \end{aligned}$$

Figura 5-4. Formulación de las variables de Kiermaier et al. (2020)

Por último, el modelo de Türker & Demiriz (2018) propone un modelo de planificación de turnos para minimizar el número de turnos, el exceso de demanda y la demanda insatisfecha en un centro de llamada.

Se define una serie de conjuntos, parámetros y variables de decisión para desarrollar un modelo matemático basado en programación por enteros.

La función objetivo está basada en la minimización del coste total de la mano de obra, sin embargo, la función objetivo está sujeta a que los parámetros permitan:

- Asignar como máximo un turno por operario al día
- Garantizar las pausas de los operarios
- Establecer el número de operarios asignados en los turnos
- Asegurar un número suficiente de operarios en cada periodo

En este artículo se comparan este modelo IP con un modelo CP, como conclusión, Türker & Demiriz (2018) deduce que, para el caso de estudio, el modelo CP es más eficaz que el IP, ya que el modelo IP contiene un número notablemente mayor de restricciones y variables de decisión que el modelo CP. Los resultados indicaron que el modelo CP es preferible ante el modelo IP en términos de facilitación, flexibilidad y alta velocidad de cálculo.

5.2 Programación con restricciones (Constraint Programming)

El problema de la Planificación del personal, que está sometido a grandes restricciones, ofrece un marco ideal para el uso de métodos de programación con restricciones. Estos métodos proceden de la investigación en Inteligencia Artificial y son métodos exactos que garantizan soluciones factibles para problemas de satisfacción de restricciones o soluciones óptimas para problemas de optimización de restricciones o soluciones óptimas para problemas de optimización de restricciones (van den Bergh et al., 2013)

Esta técnica es particularmente útil cuando el problema está muy restringido y/o cuando cualquier solución

factible será suficiente, incluso si no es óptima. Sin embargo, es menos probable que esta técnica produzca buenas soluciones para problemas en los que el principal desafío es encontrar una solución óptima o casi óptima entre una gran cantidad de soluciones factibles (Ernst et al., 2004).

La aplicación de CP a la resolución de problemas combinatorios se basa en la noción de variables de dominio finito. Se imponen restricciones a las combinaciones de valores que pueden tomar estas variables y se aplican mediante algoritmos de filtrado, que funcionan mediante la eliminación de valores inconsistentes de los dominios. El algoritmo debe eliminar todos los valores inconsistentes, es decir, aquellos para los que no se puede encontrar una combinación factible de valores para las variables restantes. Las variables discretas normalmente no son binarias, tienen un dominio más amplio de valores posibles; por lo que, los modelos CP tienden a requerir menos variables. Las restricciones no se manejan necesariamente mejor si son lineales o incluso algebraicas. De hecho, muchas restricciones en CP son de naturaleza más lógica. (Laporte & Pesant, 2004).

En su estudio, Laporte & Pesant (2004) ejemplifica de una forma gráfica en que consiste los modelos CP. Se puede ver en la Figura 5-5.

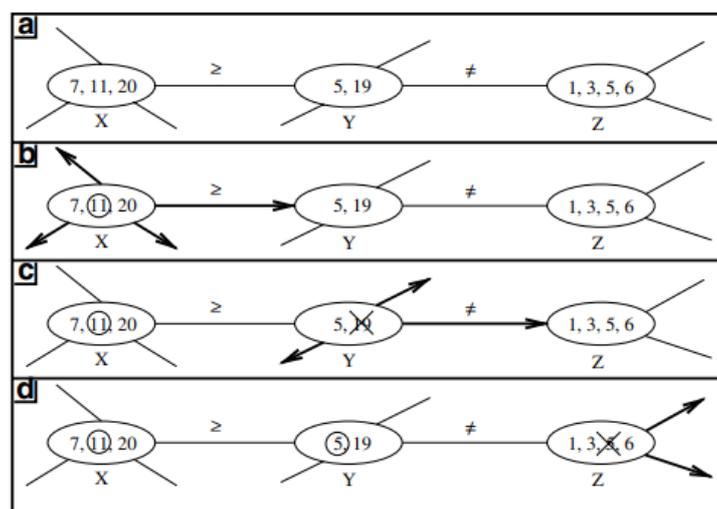


Figura 5-5. Ejemplo de modelo CP de Laporte & Pesant (2004)

Siendo X mayor o igual que Y e Y igual a Z , las variables están asociadas a través de nodos en una red, vinculando las variables con las restricciones. Los dominios aparecen dentro de cada nodo, una vez que se elige el 11, el algoritmo elimina los valores inconsistentes, provocando a las restricciones sucesivas hasta llegar a una solución factible.

En otro de los trabajos revisados, Özder et al. (2021), utiliza CP para la planificación de turnos en una planta de energía. En él menciona dos tipos de CP según si la función objetivo está disponible. El primer tipo de problemas de satisfacción de restricciones (CSP) se modela sin la función objetivo y se ejecuta hasta encontrar una solución adecuada o todas las soluciones. Los problemas de Planificación de restricciones, que se resuelven agregando la función objetivo, se denominan problemas de optimización de restricciones (COP).

El modelo de programación por restricciones propuesto por Özder et al. (2021), se basaban en las siguientes restricciones:

- 1ª Restricción: se necesita personal para cada turno del día (totalmente 20 personas por 3 turnos) El personal es asignados de acuerdo con su antigüedad en cada turno.
- 2ª Restricción: Si el personal trabaja en el turno de noche en cualquier día, no debe trabajar en los turnos de mañana y tarde del día siguiente.
- 3ª Restricción: Si el personal trabaja en el turno de la tarde en cualquier día, no debe trabajar en el turno de la mañana del día siguiente.
- 4ª Restricción: Todo el personal debe tomar un día libre (al menos) en una semana.

- 5ª Restricción: El personal no puede operar más de 9 días en el turno vespertino en un mes.
- 6ª Restricción: La restricción establecida para minimizar la cantidad total de costos debido a los salarios del personal. (En fines de semana, los salarios de todo el personal están aumentando de acuerdo con su nivel de antigüedad, además de los salarios de los días regulares)
- 7ª Restricción: Las asignaciones se realizan con respeto a la antigüedad y habilidades de cada personal. De acuerdo con los salarios, se debe minimizar el costo total y se debe evitar el exceso de asignaciones.

5.3 Programación por objetivos (*Goal Programing*)

La programación por objetivos, en inglés *Goal Programming (GP)*, es un tipo de modelo de programación multipropósito, en el cuál las restricciones se añaden como variables de desviación a la función objetivo. El objetivo es minimizar las variables de desviación con las funciones objetivo. El objetivo del método de Planificación de objetivos es realizar múltiples objetivos simultáneamente (Kaçmaz et al., 2019).

GP es un método de programación matemática que tiene como objetivo minimizar las desviaciones de los valores de los objetivos determinados al convertir los objetivos en objetivos y clasificar los objetivos por clasificación de importancia, o ponderar cada uno de ellos (E. Özder et al., 2019).

El caso de estudio que propone Kazmaz et al. (2019) consiste en la óptima asignación de personal de turnos y departamentos con un modelo GP. La fábrica tiene 80 trabajadores y 7 secciones. El modelo que plantea tiene las siguientes restricciones de objetivo:

- Objetivo 1. Restricción donde se minimiza asignaciones del tipo “vacaciones-día laboral-vacaciones”.
- Objetivo 2. Restricción donde se minimiza asignaciones del tipo “día laboral-seguimiento-día laboral”
- Objetivo 3. Restricción donde el número total de puestos vacantes para cada personal sea lo más ecuánime posible
- Objetivo 4. Al personal asignado a los departamentos en cada turno se le indicará una suma de puntos como calificación

Además de las restricciones de objetivo, el modelo también consta de restricciones generales y la función objetivo. Las desviaciones en las restricciones de objetivo fueron minimizadas.

Sungur et al. (2017) formula modelo implícito de Planificación de objetivos preventivos que involucra tres objetivos, que se dan según el orden de sus niveles de prioridad de la siguiente manera:

1. Minimizar el costo de mano de obra;
2. Maximizar la cantidad de empleados que reciben sus descansos en períodos de descanso ideales;
3. Hacer que los tiempos de espera de los empleados entre sus descansos consecutivos sean iguales al tiempo de espera ideal

El tiempo de espera ideal entre los descansos consecutivos es el tiempo de espera entre la hora ideal de finalización del descanso anterior y la hora ideal de inicio del descanso posterior.

En el trabajo de Shuib & Kamarudin (2019) los objetivos consistían en identificar los principales criterios y condiciones de un PDT en una central eléctrica, formular un modelo de Planificación de objetivos enteros binarios que optimice la preferencia del día libre de los trabajadores y determinar el horario óptimo para los trabajadores en función del modelo.

El objetivo del modelo de E. Özder et al. (2019), es optimizar las necesidades del personal, lo cual se determina con cuatro metas en el modelo propuesto.

La programación por objetivos es una especie de modelo de toma de decisiones multicriterio. El modelo se establece usando tanto restricciones suaves como restricciones duras. Las restricciones blandas se utilizan para modelar situaciones en las que las desviaciones son aceptables para un valor objetivo deseado.

5.4 Heurística/Metaheurística

La heurística es un método que se ha utilizado con frecuencia para abordar problemas de programación que son demasiado difíciles o complejos y, por lo tanto, imposibles de resolver utilizando un enfoque de solución exacta. Los métodos heurísticos son bien conocidos por ser robustos y capaces de ofrecer un resultado "excelente" en un corto plazo, aunque es posible que en última instancia no produzcan el mejor resultado (Weng & Nah, 2019)

Los modelos MIP e IP se consideran para resolver el subproblema de planificación de turnos en muchos estudios, pero a medida que aumentan los tamaños del problema, es decir, los números de variables y restricciones, y los problemas se vuelven más complicados, se observa que es preferible la simulación basada y heurística/metaheurística (Türker & Demiriz, 2018).

Las metaheurísticas forman una clase importante de métodos que resuelven problemas difíciles y, por lo general, de optimización combinatoria/discreta. Por lo general, estos métodos se utilizan para resolver problemas que no pueden resolverse mediante la heurística tradicional. Los problemas son difíciles por sí mismos o las instancias prácticas del mundo real los hacen difíciles de resolver a través del enfoque de solución exacta. (Ernst et al., 2004)

Tal como desarrolla Ernst et al. (2004) las heurísticas y metaheurísticas se han utilizado a menudo para resolver problemas de planificación de personal. La popularidad de este tipo de métodos para resolver problemas de alineación se debe a una serie de factores, entre ellos:

- Tienden a ser relativamente robustos. Si bien no se puede garantizar que produzcan una solución óptima, por lo general pueden producir una solución factible razonablemente buena para una amplia gama de datos de entrada en un tiempo de ejecución limitado. En comparación, muchos enfoques de programación entera corren el riesgo de no devolver ninguna solución factible durante mucho tiempo.
- La mayoría de las metaheurísticas son relativamente simples de implementar y permiten incorporar y explotar información específica del problema.
- Las heurísticas facilitan el manejo de objetivos complejos, ya sean costos reales de personal o sanciones por violar restricciones que son deseables, pero no obligatorias.

Por lo tanto, las heurísticas son generalmente el método de opción para el software de registro diseñado para tratar con desordenados objetivos del mundo real y restricciones que no se resuelven fácilmente con una programación matemática formulada.

Las metaheurísticas forman una clase importante de métodos de solución utilizados para resolver el problema de planificación de personal. Las metaheurísticas están diseñadas para abordar problemas de optimización complejos donde otros métodos de optimización no han sido efectivos o eficientes. La ventaja práctica de las metaheurísticas reside tanto en su eficacia como en su aplicabilidad general. La efectividad radica en la producción de soluciones factibles razonablemente buenas dentro de un tiempo de ejecución limitado, mientras que las técnicas de programación matemática corren el riesgo de no devolver ninguna solución factible durante mucho tiempo (van den Bergh et al., 2013).

El método desarrollado por Álvarez et al. (2020) utiliza procedimientos heurísticos para construir perfiles de descanso eficientes que definen la distribución de múltiples descansos a lo largo de un turno. La metodología comienza con la construcción heurística de un perfil de descanso único y robusto para cada empleado a programar.

El método consiste en un enfoque iterativo secuencial estructurado en torno a cuatro módulos. El módulo 1 contiene dos procedimientos heurísticos que calculan dos valores clave denominados respectivamente tiempo total mínimo de descanso y tiempo total máximo de descanso para comer, que se utilizarán en el segundo módulo para ayudar en la selección de los perfiles de descanso más atractivos. Estos dos valores clave se calculan una sola vez, ya que el proceso iterativo se realiza solo entre los Módulos 2, 3 y 4 para obtener la mejor solución. El Módulo 2 emplea un procedimiento heurístico para construir un perfil de descanso para cada empleado. Este procedimiento intenta minimizar los niveles de exceso y falta de personal, pero también los impactos de una estrategia de descansos múltiples.

Moreno et al. (2019) propone un algoritmo heurístico de dos fases para resolver el problema de Planificación de una plantilla de tripulación de autobuses. En la primera etapa se realiza una división de los horarios originales

mediante un algoritmo recursivo basado en programación dinámica. En la segunda etapa, la construcción de turnos de trabajo basada en la teoría de grafos se realiza mediante un algoritmo de emparejamiento. La segunda fase del método propuesto consiste en realizar diferentes emparejamientos recursivamente sobre un mismo grafo, tal y como se describe:

- Se realiza un emparejamiento simple de nodos de la primera fase considerando una probabilidad determinada. La Figura 5-6 muestra un proceso general de emparejamiento.

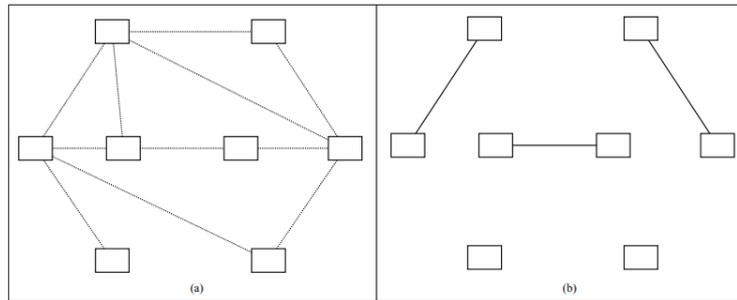


Figura 5-6. Emparejamiento de nodos de Moreno et al. (2019)

- Del emparejamiento anterior se crean “supernodos”, como aparece en la Figura 5-7. Es decir, la arista utilizada en un emparejamiento se contrae y se considera la unión de dos nodos como un solo nodo. De nuevo, se repite el paso anterior con probabilidad p_2 . Los nuevos turnos podrán contener servicios de hasta tres mesas originales diferentes, no estando permitidos los turnos mixtos.

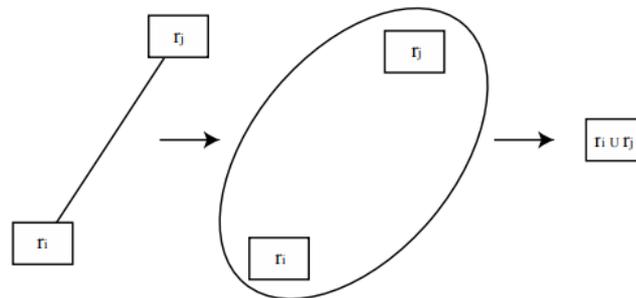


Figura 5-7. Creación de “supernodos” de Moreno et al. (2019)

- El proceso anterior se repite recursivamente ocho veces con probabilidades p_1 , p_2 , p_3 y p_4 .

El enfoque utilizado en el estudio de Weng & Nah (2019) fue utilizar un método de predicción heurístico para decidir la mano de obra mínima requerida. Con base en el número mínimo de mano de obra y los criterios de turno, los turnos se asignaron para formar horarios utilizando métodos de selección basados en criterios y selección aleatoria. Luego se optimizaron los cronogramas potenciales y se seleccionaron los mejores. Basado en varias instancias de prueba realistas, el enfoque heurístico propuesto ofrece soluciones prometedoras para la planificación de turnos, ya que mejora el tiempo de inactividad en cada turno, cumple con un mejor tiempo de inicio del turno, reduce significativamente la mano de obra necesaria y el tiempo dedicado a la creación de horarios, independientemente del tamaño de los datos.

Por último, se adjunta una tabla resumen (Tabla 5-6) con los artículos revisados a lo largo de este capítulo.

Tabla 5–6. Tabla métodos de resolución. Elaboración propia.

Autor/Artículo	Herramientas utilizadas	Problema a resolver
(Laporte & Pesant, 2004)	CP	Clasificación de clases de restricciones
(Ito et al., 2018)	IP	PDT en una guardería
(Türker & Demiriz, 2018)	1.IP 2.CP	PDT para centros de llamadas con turnos superpuestos
(Kabak et al., 2008)	MIP	PDT para maximizar beneficios de negocio minorista
(Álvarez et al., 2020)	1.Heurística 2.MIP	PDT para mejorar la cobertura de la demanda de personal
(Chu et al., 2013)	IP	PDT para reducir la fatiga de controladores aéreos
(Moreno et al., 2019)	Heurística	PDT para una red de autobuses
(Hernández-Romero et al., 2022)	MIP	Estudio de impacto de efecto meteorológicos en controladores aéreos
(Dantzig, 1954)	IP	PDT para cabinas de peaje
(Wang & Liu, 2014)	MIP	PDT para reducir fatiga de trabajadores
(Weng & Nah, 2019)	Heurística	Diseño de horarios en aerolíneas
(Knust & Schumacher, 2011)	MIP	Asignación de conductores de camiones factibles a cada turno
(Sifaleras et al., 2022)	MIP	Minimización de horas-hombre inactivas en una industria
(E. H. Özder et al., 2021)	CP	PDT en central de ciclo combinado
(Sungur et al., 2017)	GP	PDT con múltiples descansos
(Kaçmaz et al., 2019)	GP	PDT de una fábrica de vidrio
(Shuib & Kamarudin, 2019)	GP	PDT de una central eléctrica
(E. Özder et al., 2019)	GP	PDT a una planta de energía
(Kiermaier et al., 2020)	MIP	PDT con múltiples descansos a personal de aeropuerto

6 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha realizado una revisión bibliográfica de una serie de artículos-que tenían en común la misma temática, la planificación de turnos de trabajo. La revisión se ha realizado teniendo en cuenta distintos enfoques, ya que el ámbito laboral es un aspecto esencial de la vida cotidiana.

Tal como se ha descrito, esta planificación ha sido estudiada desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, dando lugar a infinidad de soluciones, variantes o enfoques para optimizar este aspecto. Con el paso de los años, los avances tecnológicos, acompañados del aumento de la competitividad de las empresas ha dado lugar a que los problemas a resolver hayan sido más complejos y con restricciones más exigentes.

El trabajo a turnos está en una amplia gama de sectores laborales, la mayoría de ellos resultan esenciales para la sociedad actual, trabajos en sistemas de transporte, sector sanitario o industrial han sido objeto de revisión en este estudio. Resulta interesante ver como cada artículo propone una resolución diferente en base a las exigencias tanto del personal como de los encargados o de la naturaleza del trabajo en sí. La demanda y el nivel de atención que precisan estos tipos de trabajo hacen que la planificación de los turnos sea aún más desafiante.

Las normativas y regulaciones laborales actuales han cambiado en gran medida en los últimos 70 años, esto ha ayudado a que las condiciones de trabajo hoy en día hayan mejorado. Para la planificación de turnos representa otra variante importante a tener en cuenta a la hora de resolver los problemas de planificación.

Otro tema importante que se ha tenido en cuenta en este trabajo constituye como afecta a la salud este tipo de trabajo a turnos, los conocidos como factores psicosociales. Resulta esencial imponer este tipo de restricciones a la hora de planificar los turnos de trabajo, ya que se debe intentar que un empleado tenga como lugar de trabajo un sitio tranquilo, cómodo y sano, en la medida de lo posible. Como se ha mencionado anteriormente, la mayoría de este tipo de trabajos supone un nivel de exigencia y estrés que pueden provocar que el trabajador no haga su trabajo correctamente o que el trabajador desarrolle algún tipo de enfermedad, en algunos casos, crónica.

Respecto a los métodos de resolución, si bien todos los encontrados en los artículos son útiles para encontrar una optimización de los turnos en un trabajo, también todos tienen sus pros y sus contras, la complejidad de ciertos problemas, ya sea por tamaño del propio problema, por la cantidad de restricciones y variantes a tener en cuenta o por la naturaleza aleatoria que pueden llegar a tener algunos trabajos, hacen que encontrar una planificación perfecta sea todo un reto.

Sin embargo, todo hace indicar que, en el futuro, con el actual exponencial crecimiento de la tecnología, la planificación de turnos para este tipo de trabajos con una casuística más aleatoria y difícil de predecir sea cada vez más exacta y ajustada a una solución que satisfaga a todos los implicados en ella.

7 REFERENCIAS

- Åkerstedt, T., & Folkard, S. (1997). The three-process model of alertness and its extension to performance, sleep latency, and sleep length. *Chronobiology International*, 14(2), 115-123. <https://doi.org/10.3109/07420529709001149>
- Álvarez, E., Ferrer, J.-C., Muñoz, J. C., & Henao, C. A. (2020). Efficient shift scheduling with multiple breaks for full-time employees: A retail industry case. *Computers and Industrial Engineering*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106884>
- Aykin, T. (1996). Optimal Shift Scheduling with Multiple Break Windows. *Management Science*, 42(4), 591-602. <https://doi.org/10.1287/mnsc.42.4.591>
- Baker, K. R. (1976). Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problems: A Survey. *Journal of the Operational Research Society*, 27(1), 155-167. <https://doi.org/10.1057/jors.1976.30>
- Bechtold, S. E., & Jacobs, L. W. (1990). Implicit Modeling of Flexible Break Assignments in Optimal Shift Scheduling. *Management Science*, 36(11), 1339-1351. <https://doi.org/10.1287/mnsc.36.11.1339>
- Becker, T., Steenweg, P. M., & Werners, B. (2019). Cyclic shift scheduling with on-call duties for emergency medical services. *Health Care Management Science*, 22(4), 676-690. <https://doi.org/10.1007/s10729-018-9451-9>
- Campbell, I. T., Minors, D. S., & Whitehouse, J. M. (1986). Are circadian rhythms important in intensive care? *Intensive Care Nursing*, 1(3), 144-150. [https://doi.org/10.1016/0266-612X\(86\)90092-1](https://doi.org/10.1016/0266-612X(86)90092-1)
- Chen, J.-G., & Yeung, T. W. (1992). Development of a hybrid expert system for nurse shift scheduling. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 9(4), 315-327. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(92\)90064-7](https://doi.org/10.1016/0169-8141(92)90064-7)
- Chu, T.-C., Wang, T.-Y., & Ke, G.-C. (2013). Fatigue Minimization Work Shift Scheduling for Air Traffic Controllers. *International Journal of Automation and Smart Technology*, 3(2), 91-99. <https://doi.org/10.5875/ausmt.v3i2.185>
- Dantzig, G. B. (1954). Letter to the Editor—A Comment on Edie’s “Traffic Delays at Toll Booths”. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(3), 339-341. <https://doi.org/10.1287/opre.2.3.339>
- Edie, L. C. (1954). Traffic Delays at Toll Booths. *Journal of the Operations Research Society of America*, 2(2), 107-138. <https://doi.org/10.1287/opre.2.2.107>
- EL-Rifai, O., Garaix, T., Augusto, V., & Xie, X. (2015). A stochastic optimization model for shift scheduling in emergency departments. *Health Care Management Science*, 18(3), 289-302. <https://doi.org/10.1007/s10729-014-9300-4>
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, 153(1), 3-27. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00095-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00095-X)
- European Commission. (2019). *Ageing Europe — looking at the lives of older people in the EU*. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/10166544/KS-02-19-681-EN-N.pdf/c701972f-6b4e-b432-57d2-91898ca94893?t=1631631350686>
- Gao, Y., Gan, T., Jiang, L., Yu, L., Tang, D., Wang, Y., Li, X., & Ding, G. (2020). Association between shift work and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and dose-response meta-analysis of observational studies. *Chronobiology International*, 37(1), 29-46. <https://doi.org/10.1080/07420528.2019.1683570>
- Gärtner, J. (2004). Conflicts between employee preferences and ergonomic recommendations in shift scheduling: regulation based on consent is not sufficient. *Revista de Saúde Pública*, 38(suppl), 65-71.

<https://doi.org/10.1590/S0034-89102004000700010>

- Härmä, M., Karhula, K., Puttonen, S., Ropponen, A., Koskinen, A., Ojajärvi, A., & Kivimäki, M. (2019). Shift work with and without night work as a risk factor for fatigue and changes in sleep length: A cohort study with linkage to records on daily working hours. *Journal of Sleep Research*, 28(3). <https://doi.org/10.1111/jsr.12658>
- Härmä, M., Karhula, K., Ropponen, A., Puttonen, S., Koskinen, A., Ojajärvi, A., Hakola, T., Pentti, J., Oksanen, T., Vahtera, J., Vahtera, J., & Kivimäki, M. (2018). Association of changes in work shifts and shift intensity with change in fatigue and disturbed sleep: A within-subject study. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 44(4), 394-402. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3730>
- Härmä, M., Shiri, R., Ervasti, J., Karhula, K., Turunen, J., Koskinen, A., Ropponen, A., & Sallinen, M. (2022). National recommendations for shift scheduling in healthcare: A 5-year prospective cohort study on working hour characteristics. *International Journal of Nursing Studies*, 134, 104321. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2022.104321>
- Hernández-Romero, E., Josefsson, B., Lemetti, A., Polishchuk, T., & Schmidt, C. (2022). Integrating weather impact in air traffic controller shift scheduling in remote and conventional towers. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 11, 100076. <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2022.100076>
- Hulsege, G., Loef, B., van Kerkhof, L. W., Roenneberg, T., van der Beek, A. J., & Proper, K. I. (2019). Shift work, sleep disturbances and social jetlag in healthcare workers. *Journal of Sleep Research*, 28(4). <https://doi.org/10.1111/jsr.12802>
- INSST. (s. f.). *¿Qué es la ergonomía?* - INSST. Portal INSST. Recuperado 24 de noviembre de 2022, de <https://www.insst.es/-/que-es-un-ep-2>
- Ito, M., Hirao, M., & Hamahara, H. (2018). A Support System for Nursery Staff Shift Scheduling —A Case Study at a Nursery School. *Journal of Information Processing*, 26(0), 294-300. <https://doi.org/10.2197/ipsjjip.26.294>
- Kabak, Ö., Ülengin, F., Aktaş, E., Önsel, Ş., & Topcu, Y. I. (2008). Efficient shift scheduling in the retail sector through two-stage optimization. *European Journal of Operational Research*, 184(1), 76-90. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.039>
- Kaçmaz, Ö., Alakaş, H. M., & Eren, T. (2019). Shift scheduling with the goal programming method: A case study in the glass industry. *Mathematics*, 7(6). <https://doi.org/10.3390/MATH7060561>
- Karhula, K., Hakola, T., Koskinen, A., Lallukka, T., Ojajärvi, A., Puttonen, S., Oksanen, T., Rahkonen, O., Ropponen, A., & Härmä, M. (2021). Ageing shift workers' sleep and working-hour characteristics after implementing ergonomic shift-scheduling rules. *Journal of Sleep Research*, 30(4). <https://doi.org/10.1111/jsr.13227>
- Kiermaier, F., Frey, M., & Bard, J. F. (2020). The flexible break assignment problem for large tour scheduling problems with an application to airport ground handlers. *Journal of Scheduling*, 23(2), 177-209. <https://doi.org/10.1007/s10951-019-00635-5>
- Kluger, D. M., Aizenbud, Y., Jaffe, A., Parisi, F., Aizenbud, L., Minsky-Fenick, E., Kluger, J. M., Farhadian, S., Kluger, H. M., & Kluger, Y. (2020). Impact of healthcare worker shift scheduling on workforce preservation during the COVID-19 pandemic. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 41(12), 1443-1445. <https://doi.org/10.1017/ice.2020.337>
- Knust, S., & Schumacher, E. (2011). Shift scheduling for tank trucks. *Omega*, 39(5), 513-521. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.10.009>
- Koole, G., & van der Sluis, E. (2003). Optimal Shift Scheduling with a Global Service Level Constraint. *IIE Transactions*, 35(11), 1049-1055. <https://doi.org/10.1080/07408170304398>
- Kostreva, M. M., Genevier, P., & Jennings, K. S. B. (1991). An algorithm for shift scheduling which considers circadian principles. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 7(4), 317-322. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(91\)90078-Z](https://doi.org/10.1016/0169-8141(91)90078-Z)
- Laporte, G., & Pesant, G. (2004). A general multi-shift scheduling system. *Journal of the Operational Research*

Society, 55(11), 1208-1217. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601789>

- Laske, M. M., Hinson, P. E., Acikgoz, Y., Ludwig, T. D., Foreman, A. M., & Bergman, S. M. (2022). Do employees' work schedules put them at-risk? The role of shift scheduling and holidays in predicting near miss and incident likelihood. *Journal of Safety Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.07.015>
- Lishan, H., Li, T., Lingna, Y., Yuelin, W., Zixiang, H., & Xiaobo, T. (2021). The Effect of Staggered Shift Scheduling Mode on Nurses in the COVID-19 Isolation Ward- A Cross Sectional Study. *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*, 58, 004695802199722. <https://doi.org/10.1177/0046958021997223>
- Moreno, C. A. M., Falcón, L. M. E., Escobar, J. W., Zuluaga, A. H. E., & Echeverri, M. G. (2019). Heuristic constructive algorithm for work-shift scheduling in bus rapid transit systems. *Decision Science Letters*, 519-530. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2019.4.002>
- Özder, E. H., Alakaş, H. M., Özcan, E., & Eren, T. (2021). Shift scheduling solution with hybrid approach in a power plant. *Alexandria Engineering Journal*, 60(6), 5687-5701. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.076>
- Özder, E., Özcan, E., & Eren, T. (2019). Staff Task-Based Shift Scheduling Solution with an ANP and Goal Programming Method in a Natural Gas Combined Cycle Power Plant. *Mathematics*, 7(2), 192. <https://doi.org/10.3390/math7020192>
- Rekik, M., Cordeau, J.-F., & Soumis, F. (2010). Implicit shift scheduling with multiple breaks and work stretch duration restrictions. *Journal of Scheduling*, 13(1), 49-75. <https://doi.org/10.1007/s10951-009-0114-z>
- Rico, B. C., Rojano, S. R., & García, J. M. G. (2022). Differences generated by work shifts in stress and temperament: National Police Corps | Diferencias generadas por los turnos de trabajo en el estrés y temperamento: Cuerpo Nacional de Policía. *Retos*, 46, 452-457.
- Rudin-Brown, C. M., Harris, S., & Rosberg, A. (2019). How shift scheduling practices contribute to fatigue amongst freight rail operating employees: Findings from Canadian accident investigation. *Accident Analysis and Prevention*, 126, 64-69. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.01.027>
- Sánchez-Sellero, M.-C. (2021). Impact of shift work on health and job satisfaction of workers in Spain | Impacto del trabajo a turnos sobre la salud y la satisfacción laboral de los trabajadores en España. *Sociedade e Estado*, 36(1), 109-131. <https://doi.org/10.1590/S0102-6992-202136010006>
- Shuib, A., & Kamarudin, F. I. (2019). Solving shift scheduling problem with days-off preference for power station workers using binary integer goal programming model. *Annals of Operations Research*, 272(1-2), 355-372. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2848-5>
- Sifaleras, A., Karakalidis, A., & Nikolaidis, Y. (2022). Shift scheduling in multi-item production lines: a case study of a mineral water bottling company. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 9(1), 75-86. <https://doi.org/10.1080/23302674.2020.1818144>
- Sungur, B., Özgüven, C., & Kariper, Y. (2017). Shift scheduling with break windows, ideal break periods, and ideal waiting times. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 29(2), 203-222. <https://doi.org/10.1007/s10696-015-9234-2>
- Thompson, G. M. (1997). Labor staffing and scheduling models for controlling service levels. *Naval Research Logistics*, 44(8), 719-740. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6750\(199712\)44:8<719::AID-NAV2>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6750(199712)44:8<719::AID-NAV2>3.0.CO;2-D)
- Topaloglu, S. (2009). A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 943-957. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.10.032>
- Torquati, L., Mielke, G. I., Brown, W. J., & Kolbe-Alexander, T. (2018). Shift work and the risk of cardiovascular disease. A systematic review and meta-analysis including dose-response relationship. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 44(3), 229-238. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3700>
- Türker, T., & Demiriz, A. (2018). An Integrated Approach for Shift Scheduling and Rostering Problems with

- Break Times for Inbound Call Centers. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1-19. <https://doi.org/10.1155/2018/7870849>
- van den Bergh, J., Beliën, J., de Bruecker, P., Demeulemeester, E., & de Boeck, L. (2013). Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 226(3), 367-385. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2012.11.029>
- Wang, T.-C., & Liu, C.-C. (2014). Optimal Work Shift Scheduling with Fatigue Minimization and Day Off Preferences. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2014/751563>
- Weng, L. K., & Nah, S. S. (2019). Real-Life Optimum Shift Scheduling Design. *Journal of ICT Research and Applications*, 13(1), 19-35. <https://doi.org/10.5614/itbj.ict.res.appl.2019.13.1.2>

ANEXO

Tabla 0–1 Resumen de los resultados hallados en los estudios seleccionados. Elaboración propia.

Título del artículo	Año de publicación	Revista	Autor/es	Objetivo del estudio	Metodología	Resultados del estudio
<i>A general multi-shift scheduling system</i>	2004	Journal of the Operational Research Society	Laporte, G. & Pesant, G.	Este artículo proporciona una clasificación de las principales clases de restricciones que rigen el diseño de horarios rotativos.	Programación con restricciones	Los resultados computacionales en varios ejemplos de la vida real confirman la eficiencia y solidez del enfoque propuesto
<i>A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare</i>	2009	European Journal of Operational Research	Topaloglu S.	Planificar los turnos de médicos residentes de una unidad médica teniendo en cuenta distintos niveles de antigüedad.	1. Método secuenciales y ponderados 2. Modelo de programación multiobjetivo	El modelo se probó en un caso real en la unidad pulmonar de un hospital local utilizando los enfoques de solución secuencial y ponderada. Durante el período de prueba de 6 meses, los horarios de los turnos también se prepararon manualmente. Los horarios generados por el modelo fueron considerados por el jefe de residentes de alta calidad. Se observó que las restricciones y los objetivos se cumplieron mejor en comparación con los manuales. Al final de este período de tiempo, la unidad comenzó a utilizar los

						horarios generados. Fue especialmente importante ver que la fricción, la amargura y el resentimiento entre los residentes se redujeron mediante el uso de este modelo propuesto.
<i>A stochastic optimization model for shift scheduling in emergency departments</i>	2015	Health Care Management Science	El-Rifai, O., Garaix, T., Augusto, V. & Xie, X.	Planificación de turnos para un departamento de emergencias	1. Problema multi-etapa estocástico 2. Planificación de enteros (mixta)	Se utilizan datos reales para evaluar la calidad y el rendimiento de los horarios obtenidos. El enfoque de optimización propuesto permite encontrar programas cíclicos prometedores.
<i>A Support System for Nursery Staff Shift Scheduling —A Case Study at a Nursery School</i>	2018	Journal of Information Processing	Ito, M., Hirao, M. & Hamahara, H.	Planificación de turnos para personal de una guardería	Planificación de enteros	El sistema da como resultado una reducción del número de personal que tiene que trabajar en el mismo turno, además de reducir el número de turnos consecutivos del mismo tipo (de mañana o de tarde)
<i>Ageing shift workers' sleep and working-hour characteristics after implementing ergonomic shift-scheduling rules</i>	2021	Journal of Sleep Research	Karhula, K., Hakola, T., Koskinen, A., Lallukka, T., Ojajärvi, A., Puttonen, S., Oksanen, T., Rahkonen, O., Ropponen, A. & Härma, M.	Aplicación de reglas ergonómicas en la planificación de turnos de trabajo para mejorar el bienestar y calidad de sueño en base al envejecimiento del personal	Aplicación de las reglas ergonómicas a un grupo de intervención y comparar con un grupo de control. Seguimiento de grupo de intervención (análisis estadístico)	La implementación de reglas ergonómicas de planificación de turnos dio como resultado cambios menores en las horas de trabajo objetivas de los empleados que envejecen y un efecto amortiguador constante contra el empeoramiento del sueño.

<i>An algorithm for shift scheduling which considers circadian principles</i>	1991	International Journal of Industrial Ergonomics	Kostreva, M. M., Genevier, P. & Jennings, K. S. B.	Aplicación de la teoría de los ritmos circadianos en horario de turnos de enfermeras	Implantación de restricciones relacionadas con la teoría de los ritmos circadianos	Este estudio muestra que la teoría de los ritmos circadianos se puede aplicar para programar enfermeras que trabajan por turnos en entornos hospitalarios realistas con restricciones realistas.
<i>An Integrated Approach for Shift Scheduling and Rostering Problems with Break Times for Inbound Call Centers</i>	2018	Mathematical Problems in Engineering	Türker, T. & Demiriz, A.	Planificación de turnos para centros de llamadas entrantes en los que se utilizan sistemas de turnos superpuestos.	1. Planificación de enteros (IP) 2. Programación con restricciones (CP)	Los resultados indican que el modelado CP es más preferible que el modelado IP en términos de facilitación, flexibilidad y alta velocidad en el tiempo de cómputo. Es más, se observa mediante el análisis de los resultados de referencia que CP también se puede utilizar de manera efectiva para resolver problemas generales de Planificación de mano de obra.
<i>Are circadian rhythms important in intensive care?</i>	1986	Intensive Care Nursing	Campbell, I.T., Minors, D.S. and Waterhouse, J.M.,	Evitar la sincronización de ritmos circadianos entre personas y personal de cuidados intensivos	Descripción de los ritmos circadianos en personas y en el personal de cuidados intensivos y los efectos de una desincronización de dichos ritmos.	Se hacen sugerencias para mantener los ritmos circadianos sincronizados las 24 horas.

<i>Association between shift work and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and dose-response meta-analysis of observational studies</i>	2020	Chronobiology International	Gao, Y., Gan, T., Jiang, L., Yu, L. I., Tang, D., Wang, Y., Li, X., & Ding, G.	Evaluar la asociación entre el trabajo por turnos y el riesgo de diabetes tipo 2.	Estudios observacionales, se estimó la relación usando métodos de tendencia regresiva de mínimos cuadrados	Se demostró un mayor riesgo de diabetes tipo 2 entre trabajadoras por turnos, los trabajadores de la salud mostraron mayor riesgo en comparación con funcionarios públicos y trabajadores manuales. Entre trabajadoras, con los años de exposición al trabajo por turno, el riesgo de diabetes tipo 2 podría aumentar.
<i>Association of changes in work shifts and shift intensity with change in fatigue and disturbed sleep: A within-subject study</i>	2018	Scandinavian Journal of Work, Environment and Health	Härmä, M., Karhula, K., Ropponen, A., Puttonen, S., Koskinen, A., Ojajärvi, A., Hakola, T., Pentti, J., Oksanen, T., Vahtera, J., Kivimäki, M.	Examinar si los cambios en los turnos de trabajo y la intensidad de los mismos están relacionados con cambios en la dificultad de conciliar el sueño, la fatiga y la duración del sueño.	Análisis de cuestionarios respondidos por empleados sanitarios, usando regresión logística.	Entre los trabajadores por turnos con fatiga o problemas de sueño, disminuir la proporción de turnos nocturnos y retornos rápidos y dar preferencia a los sistemas de turnos rotativos rápidos puede reducir la fatiga.
<i>Conflicts between employee preferences and ergonomic recommendations in shift scheduling: regulation based on consent is not sufficient</i>	2004	Revista de Saúde Pública	Gärtner, J.	Contribución a la discusión del rol de participación/consentimiento de los empleados en la regulación de horas de trabajo	Análisis entre las preferencias de los empleados y las recomendaciones ergonómicas en la planificación de turnos de trabajo.	El análisis mostró que, muy a menudo, la búsqueda de ingresos fue el motivo más determinante en el proceso de toma de decisiones de los empleados y los horarios de trabajo preferidos de los empleados entró en conflicto con los principios de salud y seguridad.

<i>Cyclic shift scheduling with on-call duties for emergency medical services</i>	2019	Health Care Management Science	Becker, T., Steenweg, P. M. & Werners, B.	Programación eficiente del personal médico de emergencia. Asegurar suficiente dotación de personal de ambulancia	Planificación de enteros	Los empleados ahora tienen garantizados dos fines de semana libres cada cinco semanas, en comparación con un fin de semana al mes con el plan manual no cíclico anterior. El tiempo y el costo de crear los horarios de los empleados se reducen considerablemente.
<i>Development of a hybrid expert system for nurse shift scheduling</i>	1992	International Journal of Industrial Ergonomics	Chen, J. & Yeung, T.	Análisis del efecto del turno de trabajo de enfermeras sobre los ritmos circadianos, el estrés laboral y otros criterios ergonómicos.	Programación por objetivos	La programación se ha demostrado con éxito, a través de los resultados de la prueba de verificación y validación, para diseñar un horario de enfermería rápido y preciso.
<i>Diferencias generadas por los turnos de trabajo en el estrés y temperamento: Cuerpo Nacional de Policía</i>	2022	Retos	Rico, B. C., Rojano, B. C. & García, J. M. G.	Investigación de las posibles diferencias generadas por el estrés de los diferentes turnos de trabajo de la policía	Tests para abordar parámetros de estrés y temperamento	La mayoría abordaba el estrés de forma similar, enfrentándose a los problemas con un alto grado de aceptación de estos y controlando las emociones.
<i>Do employees' work schedules put them at-risk? The role of shift scheduling and holidays in predicting near miss and incident likelihood</i>	2022	Journal of Safety Research	Laske, M., Hinson, P., Acikgoz, Y., Ludwig, T., Foreman, A. & Bergman, S.	Análisis del efecto de los turnos consecutivos y los turnos próximos a las vacaciones en los cuasi accidentes e incidentes	Regresión logística binaria	El análisis de regresión logística indicó que trabajar en turnos de días consecutivos aumenta la probabilidad de que ocurra un incidente, siendo el cuarto turno consecutivo el de mayor riesgo. El patrón de turnos consecutivos no se replicó en los empleados que trabajaban en el turno de

						noche. Sin embargo, el primer y segundo turno cuando se transfiere a un horario nocturno parece tener una mayor probabilidad de incidente. Los turnos cercanos a las vacaciones no tenían un riesgo significativamente mayor que otros turnos
<i>Efficient shift scheduling in the retail sector through two-stage optimization</i>	2008	European Journal of Operational Research	Kabak, Ö., Ülegin, F., Aktas, E., Önsel S. & Topcu, Y.	Planificación de turnos eficiente para un negocio minorista que maximice los beneficios.	Planificación de enteros (mixta)	El método propuesto maximiza la eficiencia de la programación y, por lo tanto, aumenta la realización de ventas.
<i>Efficient shift scheduling with multiple breaks for full-time employees: A retail industry case</i>	2020	Computers and Industrial Engineering	Álvarez, E., Ferrer, J. C., Muñoz, J. C. & Henao, C. A.	Planificación de turnos de trabajo que puede asignar turnos incorporando múltiples descansos, brindando la flexibilidad para reducir los excesos y la escasez de personal y, por lo tanto, mejorar la cobertura de la demanda de personal.	1. Heurística 2. Planificación de enteros (mixta)	Como resultado, el problema de planificación de turnos de trabajo que minimiza con éxito los niveles de falta o exceso de personal causada por la estacionalidad de la demanda en el transcurso de un día operativo.
<i>Fatigue Minimization Work Shift Scheduling for Air Traffic Controllers</i>	2013	International Journal of Automation and Smart Technology	Chung, T., Wang, T. & Ke, G.	Programación óptima de turnos de trabajo para reducir la fatiga del controlador de tránsito aéreo.	Planificación de enteros	Las simulaciones dan como resultado una disminución en la fatiga.
<i>Heuristic constructive algorithm for work-shift scheduling in bus rapid transit systems</i>	2019	Decision Science Letters	Moreno, C., Falcón, L., Escobar, J., Zuluaga, A. & Echeverri, M.	Planificación de turnos de trabajo en una red de autobuses	Heurística	Se reduce el costo de la nómina de los conductores frente al método manual que utiliza la empresa, que generó 82 turnos de trabajo. Es decir, antes la empresa

						requería 82 conductores, mientras que con la implementación de este método se requieren 78. El algoritmo puede encontrar una solución en menos de siete segundos. Así, los cambios de horario en las rutas se pueden realizar de forma rápida y sin afectar la operación del sistema de transporte.
<i>How shift scheduling practices contribute to fatigue amongst freight rail operating employees: Findings from Canadian accident investigation</i>	2019	Accident Analysis and Prevention	Rudin-Brown, C.M., Harris, S. & Rosberg, A.	Identificar los factores causales y contribuyentes de accidentes ferroviarios para que se puedan prevenir sucesos similares.	Análisis de como la fatiga del sistema de trabajo a turnos puede afectar a accidentes ferroviarios.	El estudio sugiere que la gestión de la fatiga y la planificación de turnos en la industria ferroviaria de carga es un tema complejo que a menudo no es propicio para los ritmos circadianos y los requisitos de sueño de los empleados. También sugiere que las prácticas actuales de planificación de turnos y gestión de la fatiga pueden ser insuficientes para mitigar el riesgo de seguridad operacional asociado.
<i>Impact of healthcare worker shift scheduling on workforce preservation during the COVID-19 pandemic</i>	2020	Infection Control & Hospital Epidemiology	Kluger, D. M., Aizenbud, Y., Jaffe, A., Parisi, F., Aizenbud, L., Minsky-Fenick, E., Kluger, J., Farhadian, S., Kluger, H. & Kluger, Y.	Reducir infecciones de COVID entre personal sanitario reduciendo la interacción entre distintos trabajadores sanitarios	Simulaciones Montecarlo	Hacer que todos los del personal sanitario trabajen al menos 3 días consecutivos reduce la posibilidad de falla del equipo, los turnos de enfermería más largos (12 frente a 8 horas) disminuyen la tasa de infección de los trabajadores sanitarios y

						evitar el escalonamiento de las rotaciones de asistentes, personal doméstico y enfermeras reduce la cantidad de trabajadores sanitarios infectados.
<i>Impacto del trabajo a turnos sobre la salud y la satisfacción laboral de los trabajadores en España</i>	2021	Sociedade e Estado	Sánchez-Sellero, M. C.	Este artículo analiza la satisfacción y la salud en los trabajadores a turnos, así como las posibles relaciones entre esos términos	1. Matriz de correlaciones 2. Análisis de correspondencias 3. Regresión logística	Los trabajadores a turnos rotativos presentaron porcentajes menores de estar satisfechos o muy satisfechos con su trabajo, siendo el efecto negativo más acusado en la satisfacción que en la salud. Se evidencia para todos los turnos de trabajo que los que gozan de “muy buena salud” son los que se encuentran “muy satisfechos” laboralmente.
<i>Implicit Modeling of Flexible Break Assignments in Optimal Shift Scheduling</i>	1990	Management Science	Bechtold, S. & Jacobs, L.	Este artículo presenta una formulación de planificación de turnos en la que incluye flexibilidad para la comida y descansos.	Planificación de enteros	Los resultados mostraron que el modelado parecía robusto con respecto a su capacidad para producir los horarios de trabajo óptimos deseados.
<i>Implicit shift scheduling with multiple breaks and work stretch duration restrictions</i>	2010	Journal of Scheduling	Rekik, M., Cordeau, J.F. & Soumis, F.	Este artículo analiza el problema de planificación de turnos con diferentes formas de flexibilidad en términos de horas de inicio de turnos, duración de los descansos y ubicación de los descansos	Programación con restricciones	Los resultados muestran que, en algunos casos, el uso de conceptos como descansos fraccionables y tramos de trabajo reduce considerablemente el tamaño de la fuerza de trabajo en comparación con otros enfoques tradicionales.

<i>Integrating weather impact in air traffic controller shift scheduling in remote and conventional towers</i>	2022	EURO Journal on Transportation and Logistics	Hernández-Romero, E., Josefsson, B., Lemetti, A., Polishchuk, T. & Schmidt, C.	Estudio del impacto de los fenómenos meteorológicos entre los controladores aéreos	Planificación de enteros (mixta)	Los resultados muestran que existen situaciones en las que la meteorología puede afectar a la seguridad teniendo en cuenta las restricciones legales y relacionadas con los turnos de trabajo.
<i>Labor staffing and scheduling models for controlling service levels</i>	1997	Naval Research Logistics	Thompson, G.	Introducir dos nuevos modelos de planificación de turnos que evitan las limitaciones de los existentes.	Heurística	Los modelos entregan un nivel mínimo aceptable de servicio en todos los períodos de planificación, equilibran períodos de servicio mejor que el deseado contra períodos con un servicio inferior al deseado. Ayuda a las empresas a ofrecer el nivel correcto de servicio al mejor precio.
<i>Letter to the Editor—A Comment on Edie's "Traffic Delays at Toll Booths"</i>	1954	Journal of the Operations Research Society of America	Dantzig, G.	El artículo plantea una alternativa para solucionar un problema de planificación de turnos en cabinas de peaje	Planificación de enteros	El método propuesto presenta las siguientes ventajas: a) Las soluciones serán en números enteros. b) La idea del patrón de trabajo es más general, en la medida en que no se obliga al trabajador a ajustarse exactamente al patrón de trabajo si no se le necesita.
<i>National recommendations for shift scheduling in healthcare: A 5-year prospective cohort study on</i>	2022	International Journal of Nursing Studies	Härmä, M., Shiri, R., Ervasti, J., Karhula, K., Turunen, J., Koskinen, A.,	Se investiga hasta qué punto se utilizan las recomendaciones en la planificación de turnos. En segundo lugar, se examina si	Se estudia durante 5 años la aplicación de recomendaciones en la	Aumentó la proporción de días libres sueltos y semanas laborales de >40 horas, así como la proporción de turnos de trabajo de ≥ 12

<i>working hour characteristics</i>			Ropponen A., & Sallinen, M.	el uso de la herramienta da como resultado cambios que están en línea con la recomendación.	planificación de turnos en personal sanitario.	horas. Los deseos de cambio realizados disminuyeron.
<i>Optimal Shift Scheduling with a Global Service Level Constraint</i>	2003	IIE Transactions	Koole, G. & van der Sluis, E.	Estudio de problema de planificación de turnos para centros de atención telefónica	Programación con restricciones	Los resultados mostraban que las mejoras se obtenían en los turnos simples, la programación más compleja requería una heurística más sencilla, ya que el algoritmo deja de ser exacto.
<i>Optimal Shift Scheduling with Multiple Break Windows</i>	1996	Management Science	Aykin, T.	Realizar un modelo de planificación de turnos de trabajo óptimo con varios descansos y paradas para comer.	Planificación de enteros	Los resultados mostraron una formulación propuesta muy útil para resolver problemas de planificación de turnos grandes de manera óptima.
<i>Optimal Work Shift Scheduling with Fatigue Minimization and Day Off Preferences</i>	2014	Mathematical Problems in Engineering	Wang, T. & Liu, C.	Programación óptima de turnos de trabajo para reducir la fatiga de los trabajadores por turnos.	Planificación de enteros (mixta)	Se propone un modelo de fatiga modificado, también se demuestra cómo incorporar el modelo de fatiga propuesto con un problema de programación óptima
<i>Personnel scheduling: A literature review</i>	2013	European Journal of Operational Research	van den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E. & De Boeck, L.,	Revisión de literatura de problemas de planificación de turnos	Clasificación de distintos estudios según sus métodos de resolución	Este artículo da como resultado la facilitación del rastreo del trabajo publicado, así como identificar tendencias e indicar áreas para futuras investigaciones
<i>Real-Life Optimum Shift Scheduling Design</i>	2019	Journal of ICT Research and Applications	Weng, L., & Nah, S.	Algoritmo para diseñar horarios de turnos y se aplicó con éxito a datos reales de aerolíneas	Heurística	El algoritmo propuesto demostró la capacidad de generar soluciones de muy alta calidad en un corto período de tiempo.

<i>Shift scheduling for tank trucks</i>	2011	Omega	Knust, S. & Schumacher, E.	Asignar un conductor factible a cada turno de los camiones cisterna	Planificación de enteros (mixta)	Los resultados computacionales muestran que el algoritmo es capaz de generar horarios factibles en una pequeña cantidad de tiempo
<i>Shift scheduling in multi-item production lines: a case study of a mineral water bottling company</i>	2022	International Journal of Systems Science: Operations & Logistics	Sifaleras, A., Karakalidis A. & Nikolaidis Y.	Minimización de horas-hombre inactivas sujetas al cumplimiento de la demanda de los clientes	Planificación de enteros (mixta)	El modelo proporciona un plan de planificación de turnos óptimo, el cual se puede utilizar para la asignación de empleados disponibles, al mismo tiempo que minimiza las posibles horas humanas inactivas y las cantidades potenciales de stock de productos.
<i>Shift scheduling solution with hybrid approach in a power plant</i>	2021	Alexandria Engineering Journal	Özder, E. H., Alakaş, H. M., Özcan, E. & Eren, T.	Este estudio se centra en los problemas de Planificación del personal en una central de ciclo combinado de gas natural con sistemas de turnos exigentes	Programación con restricciones	El modelo satisface la necesidad de generación de electricidad de la central de ciclo combinado estudiada. El modelo resultante da mejores resultados que la programación actual. Además, proporciona soluciones adecuadas en poco tiempo de cálculo.
<i>Shift scheduling with break windows, ideal break periods, and ideal waiting times</i>	2017	Flexible Services and Manufacturing Journal	Sungur, B., Özgüven, C. & Kariper, Y.	Se realiza una planificación de turnos con múltiples descansos de diferentes duraciones y ventanas de descanso, sin causar un aumento en el costo laboral	Programación por objetivos	Los resultados obtenidos en problemas de prueba generados aleatoriamente indican que el modelo extendido puede producir una mejora considerable en la ubicación de los descansos.

<i>Shift scheduling with the goal programming method: A case study in the glass industry</i>	2019	Mathematics	Kaçmaz, Ö., Alakaş, H. M., & Eren, T.	El objetivo del estudio es proporcionar un mejor servicio de una fábrica de vidrio mediante distribuyendo el personal por turnos de forma justa y equilibrada	Programación por objetivos	Las competencias de los departamentos mejoraron con el nuevo modelo propuesto. El personal se utilizó con mayor eficacia al estar mejor asignado, y los niveles de satisfacción del personal aumentaron. En consecuencia, se observó que el nuevo sistema ofrece mejores resultados.
<i>Shift work and the risk of cardiovascular disease. A systematic review and meta-analysis including dose-response relationship</i>	2018	Scandinavian Journal of Work, Environment and Health	Torquati, L., Mielke, G. I., Brown, W. J., & Kolbe-Alexander, T.	Evaluar el riesgo de eventos de enfermedad cardiovascular asociados con el trabajo por turnos y determinar si existe una relación dosis-respuesta en esta asociación.	Análisis de artículos relacionados con el objetivo. Se realizaron ratios de ajustes relativos, intervalos de confianza y análisis de meta-regresión.	La asociación entre el trabajo por turnos y el riesgo de una enfermedad cardiovascular no es lineal y parece que aparece solo después de los primeros cinco años de exposición al trabajo por turnos.
<i>Shift work with and without night work as a risk factor for fatigue and changes in sleep length: A cohort study with linkage to records on daily working hours</i>	2019	Journal of Sleep Research	Härmä, M., Karhula, K., Puttonen, S., Ropponen, A., Koskinen, A., Ojajarvi, A. & Kivimaki, M.	Se examina el trabajo por turnos, con o sin trabajo nocturno, como factor de riesgo de fatiga y sueño corto o largo.	Regresión logística tras realizar encuestas a personal sanitario	El estudio sugiere que el trabajo a turnos irregulares es un factor de riesgo para el sueño prolongado y el aumento de la fatiga, lo que refleja una mayor necesidad de recuperación.
<i>Shift work, sleep disturbances and social jetlag in healthcare workers</i>	2019	Journal of Sleep Research	Hulsegge, G., Loef, B., van Kerkhof, L. W., Roenneberg, T., van der Beek, A. J., & Proper, K. I.	El objetivo del estudio es comparar las alteraciones del sueño dependientes de la edad y el jetlag entre trabajadores por turnos rotativos y no rotativos, y entre distintos tipos de turnos.	Modelos mixtos y estimaciones	En conclusión, los trastornos del sueño en los trabajadores por turnos se destacaron por una duración del sueño que es más a menudo corta (< 7 h al día) y larga (\geq 9 h al día) en comparación con los

						trabajadores que no trabajan por turnos. La corta duración del sueño se observó con mayor frecuencia en los trabajadores de más edad. Además, el jetlag social debido a los turnos de noche aumentaba con la edad.
<i>Solving shift scheduling problem with days-off preference for power station workers using binary integer goal programming model</i>	2019	Annals of Operations Research	Shuib, A. & Kamarudin, F.I.	Este documento presenta el estudio sobre la planificación de turnos de los trabajadores en la central eléctrica más grande de Malasia. Los objetivos de este estudio son identificar los principales criterios y condiciones del problema de planificación de turnos en la central eléctrica, formular un modelo de programación por objetivos para el problema de planificación de turnos que optimice la preferencia de días libres de los trabajadores y determinar el horario óptimo para los trabajadores en función de la modelo	Programación por objetivos	En los resultados obtenidos se redujo significativamente el tiempo para obtener una programación mensual en comparación con la programación manual actual. En base al cronograma de 28 días obtenido, la satisfacción de los trabajadores con la preferencia de días libres ha aumentado en un 37,21%, es decir, del 43,02% en base al cronograma elaborado existente al 80,23%.
<i>Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models</i>	2004	European Journal of Operational Research	Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M. & Sier, D.	Revisión de literatura de problemas de planificación de turnos	Se revisan los problemas de asignación de turnos en áreas de aplicación específicas, y los modelos y algoritmos. Se examinan	En el artículo se concluye que, aunque se ha realizado una gran cantidad de trabajo en el área de la asignación de turnos y la Planificación del personal, todavía hay un margen significativo para mejoras en esta área.

					también los métodos comúnmente utilizados para resolver problemas de asignación de turnos	
<i>Staff Task-Based Shift Scheduling Solution with an ANP and Goal Programming Method in a Natural Gas Combined Cycle Power Plant</i>	2019	Mathematics	Özder, E.H., Özcan, E., Eren, T.	Este estudio presenta un programa de turnos aplicable de los trabajadores de una planta de energía de ciclo combinado de gas natural a gran escala. El modelo de programación propuesto se resolvió de acuerdo a las habilidades de los trabajadores, existiendo nueve criterios por los cuales se evaluó a los trabajadores por sus habilidades.	Programación por objetivos	Los resultados mostraron que el tiempo de adquisición mensual se redujo significativamente y la satisfacción de los empleados aumentó significativamente al usar el programa obtenido
<i>The Effect of Staggered Shift Scheduling Mode on Nurses in the COVID-19 Isolation Ward- A Cross Sectional Study</i>	2021	INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing	Lishan, H., Li, T., Lingna, Y., Yuelin, W., Zixiang, H. & Xiaobo, T.	Optimizar la disposición de los turnos en el área de aislamiento de COVID-19	Mediante un cuestionario, se compararon la satisfacción laboral global, la calidad de la enfermería y el consumo de equipos de protección de tres tipos distintos de turnos	Los resultados mostraron que la satisfacción general en el trabajo y la calidad de la atención de las enfermeras en el turno de 6 h (solapamiento de 1 h) eran mejores que en los otros turnos, y que el consumo de equipos de protección era menor.

<i>The flexible break assignment problem for large tour scheduling problems with an application to airport ground handlers</i>	2020	Journal of Scheduling	Kiermaier, F., Frey, M. & Bard, J.F.	El documento examina la complejidad de asignar múltiples descansos en personal de tierra de los aeropuertos en planificación de turnos a gran escala.	Planificación de enteros (mixta)	A medida que aumenta la flexibilidad de las pausas puede suponer una diferencia significativa en la cobertura de trabajadores
<i>The three-process model of alertness and its extension to performance, sleep latency, and sleep length</i>	1997	Chronobiology International	Akerstedt, T. & Folkard S.	El objetivo del artículo es desarrollar un modelo matemático para predecir el rendimiento en la vida diaria	Se realiza un modelo predictivo a partir de datos de entrada como el sueño, componentes circadianos o el rendimiento en tareas monótonas.	El modelo identifica niveles de deterioro del rendimiento/estado de alerta, predicción de la latencia del sueño y el tiempo de despertar de los episodios de sueño. Se sugiere que se utilice como modelo de evaluación en horarios de trabajo en términos de riesgos de seguridad.
<i>Traffic Delays at Toll Booths</i>	1954	Journal of the Operations Research Society of America	Edie, L. C.	Optimizar el servicio de cabinas de peaje, conociendo con antelación la cantidad necesaria en cada momento del día.	Gráfico tipo Gantt	El uso de este método permitió ahorrar en gastos de cobro de peaje y mejorar el servicio.
<i>Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problems: A Survey</i>	1976	Journal of the Operational Research Society	Baker, K. R.	Este documento examina los modelos matemáticos básicos para la Planificación de la fuerza laboral con demanda cíclica de personal.	Revisión de varias áreas en las que los modelos de planificación de turnos se han adaptado y aplicado con éxito.	Como conclusión, se reconoce que el área ha servido para anticipar la necesidad de resolver el problema mediante técnicas de solución eficientes. Como debilidad comenta la incapacidad de comprender totalmente el contexto en el que surge el problema de dotación del personal

