



Búsqueda en entorno variable para un modelo bi-objetivo de turnos de personal sanitario en una residencia

*XIV Reunión del GEDM
Zaragoza 11 – 12 de Septiembre 2022*

PAULA ANTÓN, JOAQUÍN PACHECO
UNIVERSIDAD DE BURGOS

Indice

Introducción

Literatura previa

Nuestro modelo

VNS. Esquema general

Constructivo

Búsqueda local

Shaking

Instancias reales y pseudo-reales

Comparación con otros métodos

Variante bi-objetivo

Introducción

El problema de programación de turnos del personal de enfermería (Nurse Scheduling Problem, NSP), es un caso particular del labor scheduling.

El objetivo es asignar turnos de trabajo al personal de enfermería, de manera que se satisfagan algunas restricciones (garantizar niveles mínimos de asistencia requeridas),

Los objetivos son variados (equilibrio en horas trabajadas, preferencias de turnos, habilidades de enfermeras, etc).

El NSP es un problema NP-difícil

Literatura previa (sobre preferencias)

Azaiez, Hariga & Al-Harkan (2005) consideran 5 objetivos: Minimizar las desviaciones entre la suma de los días reales de trabajo y los días mínimos requeridos; tener más turnos de día que de noche para todas las enfermeras; Evita asignar a una enfermera un turno de día y el turno de noche del día siguiente; minimizar turnos aislados y minimizar los días libres aislados

Bard y Purnomo (2007). El objetivo es lograr un equilibrio entre la satisfacción de las preferencias individuales y la minimización de los costes de personal de enfermería. El coste se divide en tres partes. La primera es el coste de los turnos normales de las enfermeras; la segunda parte es el coste de las horas extras de las enfermeras, mientras que la tercera parte es el coste de las enfermeras jefe.

Maenhout & Vanhoucke (2010) considera los objetivos de eficiencia en los costes y la satisfacción personal del trabajo (preferencias de las enfermeras).

Lim, Mobasher & Côté (2012) consideran minimizar los costes laborales de las enfermeras, minimizar la insatisfacción de los pacientes, minimizar el tiempo de inactividad de las enfermeras y maximizar la satisfacción laboral (no agregan)

Literatura previa (sobre preferencias)

M'Hallah & Alkhabbaz (2013) analizan un caso real donde hay que minimizar la minimiza la subcontratación de enfermeras, y consideran las preferencias de éstas como restricción

Constantino, Landa-Silva, de Melo, de Mendonça, Rizzato & Romão, W. (2014) proponen como objetivo maximizar las preferencias de las enfermeras y minimizar la violación de algunas restricciones blandas

El-Rifai, Garaix, Augusto & Xie (2015) maximizan las preferencias de los empleados y minimizar el tiempo total de espera esperado de los pacientes en los servicios de urgencias. Usan un enfoque estocástico

Jafari & Salsami (2015) desarrollaron un modelo que maximiza la suma de preferencias de las enfermeras por los turnos de trabajo y los fines de semana libres. Agregados

Legrain, Bouarab & Lahrichi, N (2015) consideran dos tipos de equipos de enfermería, equipos regulares y equipos flotantes. Los equipos flotantes se utilizan para cubrir las carencias del hospital. Proponen un modelo en el que minimizaba el coste total y maximizaba las preferencias de las enfermeras. Agregados

Literatura previa (sobre preferencias)

Michael, Jeffery & David (2015) formulan un modelo en que se consideran separadamente (aunque se después se agregan) las preferencias por los turnos de noche y de día

Lin, Kang & Hsu (2015) el objetivo es priorizar a los miembros del personal de enfermería que no están satisfechos con los horarios del período de planificación anterior

Jafari, Bateni, Daneshvar, Bateni & Mahdioun (2016) propusieron un modelo matemático que maximizaba las preferencias de las enfermeras y minimizaba el total de enfermeras subcontratadas para cubrir las demandas de cada día

El Adoly, Gheith & Fors (2018) considera los objetivos de minimizar los costes del hospital y maximizar las preferencias del personal de enfermería. El coste se divide en tres partes. La primera es el coste de los turnos normales de las enfermeras; la segunda parte es el coste de las horas extras de las enfermeras, mientras que la tercera parte es el coste de las enfermeras jefe. Agregados

Aktunc & Tekin (2018) formulan un modelo donde el objetivo es mejorar la satisfacción laboral de las enfermeras, así como reducir los errores médicos causados por la fatiga, resultado de una asignación de turnos desproporcionada

Literatura previa (sobre preferencias)

Chiang, Jeang, Chiang, Chiang & Chung (2019) En este estudio, se adopta la programación de compromiso considerando medidas de rendimiento, uso eficiente, preferencias y costes. (No agregado)

Nuestro modelo

HT = días del horizonte temporal

T = Conjunto de turnos, cada turno $t \in T$ es combinación de {M,T,N} con los días de $d \in \{0, \dots, HT - 1\}$

ntt = número de turnos ($ntt = 3 \times HT$)

P = Conjunto de patrones, cada patrón en un conjunto de turnos, o un vector de incidencias (0/1), 1 corresponde a los turnos incluidos

n = número de patrones $P = \{P_0, P_1, \dots, P_{n-1}\}$ (j)

R = Número de personal requerido por cada turno (R o R_t es decir un número de requerimientos diferente por turno)

m = número de enfermeras (i)

q_{it} preferencia de la enfermera i al turno t -> f_{ij} preferencia de la enfermera i al patrón P_j

Nuestro modelo

Objetivos:

Maximizar las preferencias de las enfermeras

Maximizar el equilibrio: -> minimizar la diferencia entre máximo y mínimo
 maximizar el mínimo

Restricciones:

Al menos ***R*** enfermeras en cada turno

(Como mucho) Un patrón asignado a cada enfermera

Ambas restricciones se saturan

Variable Neighborhood Search.

Esquema general

Cerca de una buena solución (óptimo local) es probable encontrar otro(s) buenos óptimos locales

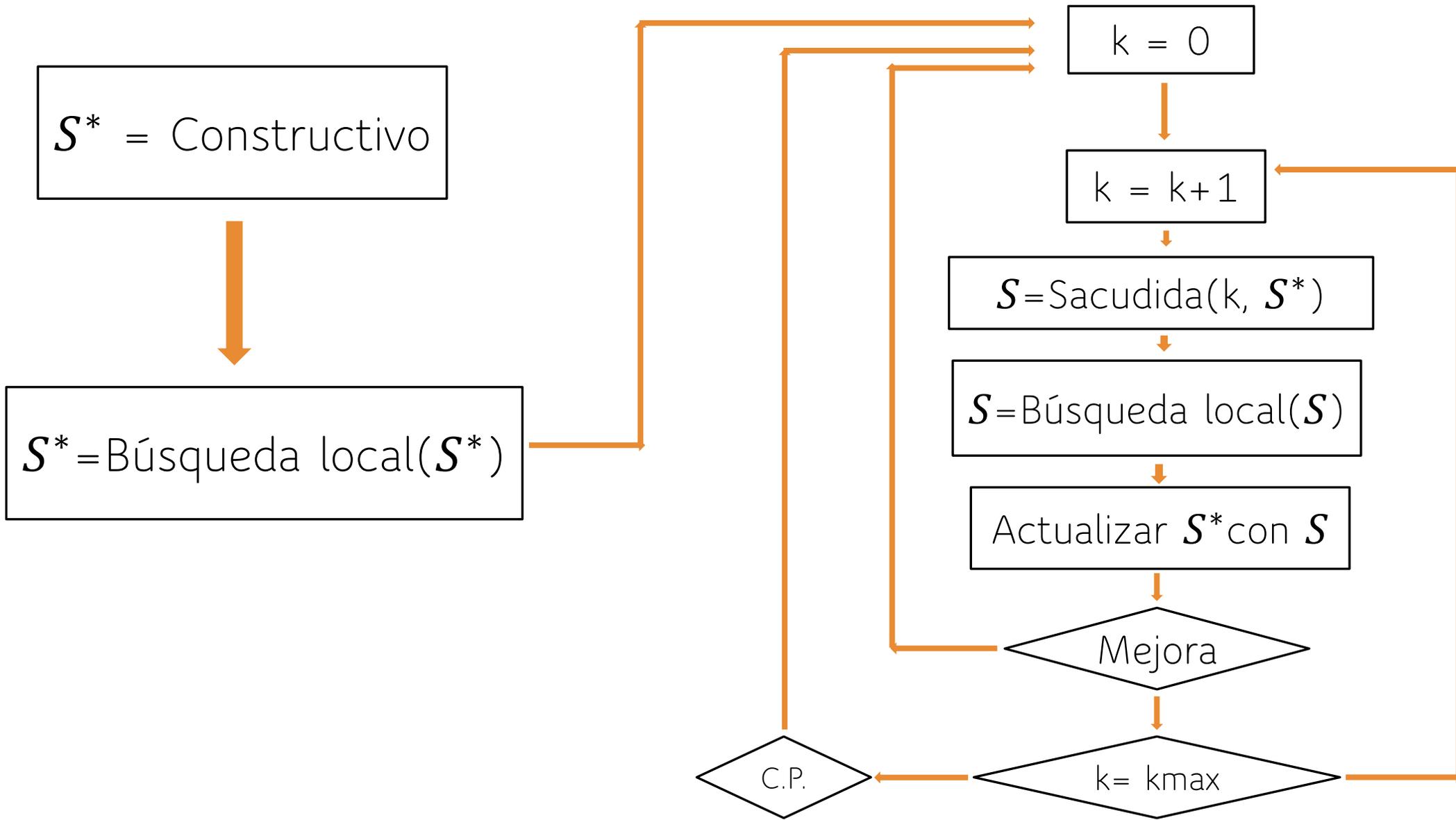


Hacemos pequeñas “sacudidas” en torno a la mejor solución encontrada S^* y aplicamos búsqueda local

Si no encontramos mejora, nos vamos alejando gradualmente de la región actual



Hacemos “sacudidas” cada vez mayores (+ búsqueda local)



VNS – Esquema general

Solución $S = (s(0), s(1), \dots, s(m-1))$ $s(i)$ = patrón asignado a la enfermera i

Vamos a permitir visitar soluciones infactibles -> Dar flexibilidad al proceso
-> Comunicar zonas factibles aisladas entre si

Permitir que existan turnos donde no hay el numero de enfermeras requeridos

Medidas de infactibilidad:

- $asig(t)$ = número de enfermeras asignadas al turno t
- $Infac(t) = \max\{0, R - asig(t)\}$ Infactibilidad de turno t
- $InfP(j) = \sum_{t \in P_j} Infac(t)$ Infactibilidad de patron P_j
- $InfSol(S) = \sum_{t \in T} Infac(t)$ Infactibilidad de solución S

VNS – Esquema general

Preferencias

$$Pref(i) = f_{i S(i)}$$

$$PrefSol(S) = \sum_{i=0}^{m-1} Pref(i)$$

$$minPref(S) = \min\{ Pref(i) : i = 0..m - 1 \}$$

Preferencia de una enfermera

Preferencia total de una solución

Mínima preferencia de una solución

Constructivo

Sel = Conjunto de enfermeras con patrón asignado

Inicialmente

$$Sel = \emptyset \quad asig(t) = 0$$

En cada paso:

Calcular $InfP(j) \forall j$ y $maxInfP = \max\{InfP(j); j = 0..n - 1\}$

Construir $L = \{j : InfP(j) = maxInfP\}$

Calcular $(i^*, j^*) = argmax\{f_{ij} : i \notin Sel, j \in L\}$

Asignar P_{j^*} a $i^* : s(i) = j^*$

Actualizar variables auxiliares $Sel = Sel \cup \{i^*\}$, $asig(t) = asig(t) + 1, \forall t \in P_{j^*}$,

hasta $|Sel| = m$

Búsqueda Local

Leemos una solución inicial

En cada paso buscamos la mejor solución vecina

Si esa solución vecina es mejor que la actual la reemplazamos

Repetimos el proceso hasta que no haya ninguna solución vecina mejor que la actual

Solución vecina es la que se llega por pequeños movimientos (fáciles de evaluar)

En este caso consideramos dos tipos de movimiento:

Cambios de patrón (de una enfermera)

Intercambios de patrones de dos enfermeras

Criterios para comparar dos soluciones: 1) Infactibilidad; 2) Preferencias

Shaking

Elegimos k enfermeras aleatoriamente y “borramos” la asignación de sus patrones

Definimos V como el conjunto de esas enfermeras y actualizamos $asig(t)$

En cada paso:

Calcular $InfP(j) \forall j$ y $maxInfP = \max\{InfP(j); j = 0..n - 1\}$

Construir $L = \{j : InfP(j) = maxInfP\}$

Calcular $(i^*, j^*) = argmax\{f_{ij}; i \in V, j \in L\}$

Asignar P_{j^*} a $i^* : s(i) = j^*$

Actualizar variables auxiliares $V = V - \{i^*\}$, $asig(t) = asig(t) + 1, \forall t \in P_{j^*}$,

hasta $V = \emptyset$

Instancias reales y pseudo-reales

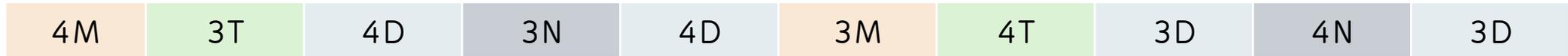
Obtenidos de una residencia de ancianos y referidas a enfermeras y asistentes de apoyo

Número de enfermeras requeridas 1 por turno, asistentes 5

Planificación 35 días

- Patrones:
- bloques de días consecutivos (M, T, N, L)
 - cada bloque de 3 días mínimos (3, 4)
 - no se trabajan más de 7 días seguidos
 - Antes y después de bloques de noche hay bloque de descanso
 - Cada día de la semana (L - ... - D) se trabaja, una vez por la mañana, tarde, noche
 - En total se trabajan 3 semanas (1M, 1T, 1N, pero no necesariamente seguidas) y 2 descanso

Instancias reales y pseudo-reales

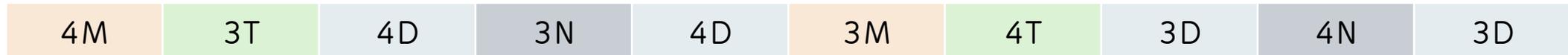


Instancias reales y pseudo-reales

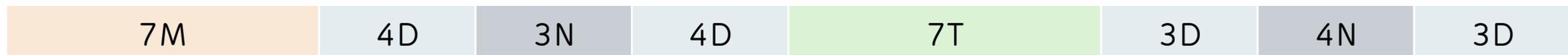
4M	3T	4D	3N	4D	3M	4T	3D	4N	3D
4T	3D	4N	3D	4M	3T	4D	3N	4D	3M
4N	3D	4M	3T	4D	3N	4D	3M	4T	3D
4D	3M	4T	3D	4N	3D	4M	3T	4D	3N
4D	3N	4D	3M	4T	3D	4N	3D	4M	3T

Por cada enfermera requerido por turno, es necesario 5 enfermeras en plantilla
(patron = 21 turnos, *ntt* = 35*3 = 105)

Instancias reales y pseudo-reales



10 rotaciones



En total .. 30 patrones

Se consideran 5, 10, 20, 100 y 200 enfermeras ($R = 1, 2, 4, 20, \text{ y } 40$)

Los valores de q_{it} se generan entre 0 y 4

Comparación con otros métodos

m	CPLEX*	GRASP	MSTabu	VNS
5	247	236	247	236
10	504	497	504	504
20	1039	1045	1045	1045
100	2115	5244	5249	5251
200	-	10695	10695	10707

CPLEX* : Mejor solución encontrada con 3600" tiempo máximo

Variante bi-objetivo

Hacer $SetND = \emptyset$

Considerar el problema mono-objetivo añadiendo la restricción $minPref(S) \geq nivel$, para diferentes valores de $nivel$ (desde 0 vamos incrementando)

En el procedimiento búsqueda local (tabú) considerar:

Infactibilidad con respecto a los recursos ($asig(t) < R$)

Infactibilidad con respecto a la preferencia mínima ($minPref(S) < nivel$)

Preferencias totales

Actualizar $SetND$ con cada una de las soluciones factibles ($asig(t) \geq R$)

