# ASIGNACION DE ENFERMERAS A TURNOS EN UN HOPSPITAL PÚBLICO MODELO Y HEURISTICA BASADA EN CONJUNTOS INDEPENDIENTES DE VERTICES

**Lorena Pradenas, Rosa Medina, Constanza Greig**
Universidad de Concepción, Chile.
lpradenas@udec.cl,, rosmedina@udec.cl, cgreig@udec.cl

**Manoel Campelo, Tatianne Fernandes**
Universidade Federal do Ceara, Brasil
mcampelo@lia.ufc.br, tf2.fernandes@gmail.com

**Thierry Mautor, Bertrand Le Cun**
Université de Versailles, Francia.
Thierry.Mautor@prism.uvsq.fr, blec@prism.uvsq.fr

**Victor Parada**
Universidad de Santiago de Chile, Chile.
victor.parada@usach.cl

**Resumen.**
En este estudio, se propone una heurística basada en el conjunto independiente de vértices para la asignación de turnos de enfermeras con afinidades en un Hospital Público de alta complejidad en Chile. Se dispone de 100 enfermeras que deben ser asignadas en diversas funciones. Se propone un modelo de generación de columnas y también se desarrolla una heurística. Los resultados se encuentran en desarrollo para un conjunto de instancias basadas en asignaciones reales.

**Palabras clave:** Conjunto independiente de vértices, turnos de enfermeras, generación de columnas, heurísticas, optimización combinatoria.

**Abstract.**
In this study, a heuristic based on the independent set of vertices is proposed to schedule nurses to shifts with affinities in a public hospital of high complexity in Chile. 100 nurses are available to be assigned to various functions. We propose a mathematical model by columns generation and a heuristic, the results are in development to a set of instances based on current real life shifts.

**Keywords:** Independent set of vertices, shift nurses, column generation, heuristics, and combinatorial optimization.

## 1. Introducción

El Hospital Regional de Concepción "Guillermo Grant Benavente", tiene la particularidad de ser el hospital base más grande del país, disponiendo de más de 1000 camas y un personal cercano a los 3000 funcionarios. Su infraestructura no es suficiente para atender a la población de la ciudad de Concepción y de sus alrededores, dado que incluso los centros de salud periféricos derivan a éste sus pacientes más complejos para exámenes y tratamientos de mayor tecnología y/o especialización o por la mayor capacidad resolutiva que dispone.

El problema a tratar es la asignación de turnos para enfermeras, más conocido en la literatura como el *shift nurses*, el problema se agudiza producto de la escasez de personal, ya que el existente no es capaz de cumplir todas sus labores con una alta calidad de servicio, se podría pensar que solo es necesario un aumento de personal para solucionar esto pero, es muy importante también considerar la calidad de las asignaciones. La falta de personal a su vez, provoca elevados gastos para el hospital en concepto de salarios debido a las numerosas horas extras que deben realizar sus trabajadores para cubrir los turnos y las licencias debido a las enfermedades laborales provocadas por el exceso de carga y sin afinidad, del grupo de personas. Actualmente la asignación de turnos se realiza en forma manual lo cual conlleva a una solución que en muchos casos no es la más adecuada generando, horarios para algunos trabajadores con semanas muy agotadoras y otras donde la carga en horas es inferior al número de horas de trabajo reglamentario.

Por lo anterior, es necesario diseñar e implementar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que permita planificar y programar de mejor manera la asignación de turnos del personal de enfermería de modo de mejorar los costos y maximizar la afinidad de los turnos del personal para así proporcionar un mejor servicio, también es importante reducir el tiempo en que se realizan estas asignaciones.

Por otro lado, sea un grafo G = (V, A) conteniendo un conjunto de vértices (V) y un conjunto de aristas (A). Un conjunto S de vértices de G es un conjunto independiente (CIV), si no existen dos vértices de S que sean adyacentes, o sea, el subgrafo de G inducido por S no tiene aristas. Encontrar el CIV de un grafo es un problema de tipo NP-Completo o sea, el número de independencia de un grafo es un problema NP- Completo, de hecho es tan difícil determinar el número de independencia de un grafo, como encontrar todos los conjuntos independientes maximales del mismo. Los algoritmos exactos que resuelven el primer problema resuelven en si el segundo.

Algunos estudios recientes de CIV son: revisión y recientes resultados uso en problemas multi agentes (Wang, Zhang, & Liu, 2012ª, Wang, Zhang, & Liu, 2012b); uso en redes inalámbricas (Hurink & Nieberg, 2008, Akbari Torkestani, 2013); algoritmos metaheurísticos híbridos (Potluri & Singh, 2013); generalización (Żak, 2014); algoritmos de búsqueda local (Andrade, Resende, & Werneck, 2012); coloreo de grafos (Wu & Hao, 2012b, Wu & Hao, 2012a); coloreo de grafos en campeonatos deportivos (R. Lewis & Thompson, 2011); comparaciones computacionales (R. Lewis, Thompson, Mumford, & Gillard, 2012); aplicación en detección de fraudes de votaciones (Araujo, Farinha, Domingues, Silaghi, & Kondo, 2011); revisión y recientes resultados (Goddard & Henning, 2013), etc.

Por otro lado en el estudio de Tatianne F. (2011), se busca resolver el problema de formación de equipos para una unidad de enfermería compuesta por 41 enfermeros y enfermeras en total. El objetivo es conformar 6 equipos de trabajo compuesto por 6 personas maximizando la cantidad de relaciones positivas y según las restricciones impuestas por el gerente: debe haber un enfermero en jefe y 5 ayudantes, puede haber un solo hombre por equipo y no pueden existir dos enfermeras con el mismo nombre en un equipo. Para esto se utilizó un algoritmo de búsqueda local con *hill climbing* que inicia sus iteraciones desde una solución inicial aleatoria. Para poder construir el grafo respectivo a las relaciones entre los enfermeros es que se les aplicó el test sociométrico de Moreno con resultados de 711 relaciones negativas y 493 positivas. Finalmente se llega a la formación de 6 equipos de trabajo que maximizan las relaciones positivas del sistema (suma de los 6 equipos), pero dada la respuesta de los individuos al test sociométrico (gran número de relaciones negativas) es que no se pudo conformar un equipo sin alguna relación negativa.

Por lo anterior, vamos a considerar que el problema del Conjunto Independiente consiste en determinar todos los conjuntos independientes maximales de un grafo. Otra forma de encontrar un Conjunto independiente, es encontrar una Clique dentro de un grafo, esto ya que siempre dentro de un grafo que contenga una clique esta estará acompañada por un conjunto independiente.

## 2. Materiales y métodos

Se propone un modelo de generación de columnas que considera la selección de los grupos minimizando la antipatía en el problema maestro y la agrupación de las personas en el problema esclavo.

Sea $S$ el conjunto de todos los posibles grupos de trabajo.

El problema maestro de define como:

$$Min \sum_{s \in S} d_s x_s \qquad (1)$$

$$s.a \sum_{s \in S: t_s = t} x_s = E_t \forall t \in T \qquad (2)$$

$$\sum_{s \in S} x_s \leq 1 \forall p \in P \qquad (3)$$

$$x_s \in \{0,1\} \qquad (4)$$

La variable de decisión $x_s$ toma el valor uno cuando el grupo $s$ es seleccionado en la solución. El parámetro $d_s$ representa la antipatía en el grupo s, considerando $d_{ij}$ la antipatía entre los integrantes $p_i$ y $p_j$:

$$d_s = \sum_{p_i \in s} \sum_{p_j \in s: p_i \neq p_j} d_{ij} \qquad (5)$$

La primera restricción indica el número de grupos de cada tipo que se necesitan. La segunda restricción indica que cada persona puede estar a lo más en un grupo seleccionado.

Para resolver el relajamiento continuo, utilizaremos la generación de columnas. Asociamos a la primera restricción, la variable dual $\mu_t$ y la variable $\pi_p$ a la segunda restricción y obtenemos el problema dual.

$$Max \sum_{p \in P} \pi_p + \sum_{t \in T} E_t \mu_t \qquad (6)$$

$$s.a \sum_{p \in S} a_{ps} \pi_p + \mu_t \leq d_s \ \forall s \in S \qquad (7)$$

$$\pi_p \leq 0, \mu_t \text{ irrestricto} \qquad (8)$$

Dada las soluciones óptimas para el problema restringido $\pi_p$* y $\mu_t$*, el problema de separación que debemos resolver para encontrar una restricción violada es:

$$\sum_{p \in S} a_{ps} \pi_p^* - d_s > -\mu_t^* \qquad (9)$$

Considerando las variables binarias $y_{ph}$ y $z_{pq}$ podemos escribir el problema esclavo por cada tipo de grupo.

$$Max \sum_{p \in P} \sum_{h \in H : w_{ht} > 0} \pi^*_p y_{ph} - \sum_{p \in P} \sum_{q \in P : p \neq q} d_{pq} z_{pq} \qquad (10)$$

$$s.a \sum_{p \in P} y_{ph} = w_{ht} \forall h \in H \qquad (11)$$

$$y_{ph} \leq r_{ph} \forall p \in P, h \in H \qquad (12)$$

$$\sum_{h \in H} y_{ph} \leq 1 \forall p \in P \qquad (13)$$

$$\sum_{h \in H} (y_{ph} + y_{qh}) \leq z_{pq} + 1 \forall p \in P, \forall q \in P : p \neq q (14)$$

$$y_{ph} \in \{0,1\}, z_{pq} \in \{0,1\} \qquad (15)$$

La variable $y_{ph}$ toma el valor 1 si la persona p realiza la actividad $h$ en el grupo y la variable $z_{pq}$ toma el valor 1 si la persona $p$ y la persona $q$ están en el grupo. La función objetivo maximiza las habilidades realizadas por cada persona de acuerdo al problema maestro y minimiza la antipatía entre personas en el mismo grupo.

La primera restricción indica el número de habilidades de cada tipo que tiene que tener ese grupo. La segunda restricción considera las habilidades que puede realizar cada persona. La tercera restricción indica que cada persona puede realizar a lo más una habilidad. Finalmente, la tercera restricción indica que personas están en el grupo para minimizar la antipatía en la función objetivo.

La segunda alternativa de solución es una heurística y los resultados se encuentran en desarrollo.

**Agradecimientos.** Este estudio tiene apoyo parcial de los proyectos: BASALCONICYT-FB0816 y STIC AMSUD/CONICYT Nº 13STIC-05.

**Referencias**

Andrade, D. V., Resende, M. G. C., & Werneck, R. F. (2012). Fast local search for the maximum independent set problem. *Journal of Heuristics*, *18*(4), 525-547. doi:10.1007/s10732-012-9196-4

Akbari Torkestani, J. (2013). Energy-efficient backbone formation in wireless sensor networks. *Computers & Electrical Engineering*, *39*(6), 1800–1811. doi:10.1016/j.compeleceng.2013.01.016.

Araujo, F., Farinha, J., Domingues, P., Silaghi, G. C., & Kondo, D. (2011). A maximum independent set approach for collusion detection in voting pools. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, *71*(10), 1356-1366. doi:10.1016/j.jpdc.2011.06.004.

Fernandes F. Tatiane (2011), Adaptação do algoritmo subida de encosta para resolução do problema de formação de equipes de trabalho, Monografia da Universidade Federal de Alfenas, Brasil.

Goddard W. & Henning M. (2013). Independent domination in graphs: Survey and recent results. *Discrete Mathematics*, 313, 839-854.

Hurink, J. L., & Nieberg, T. (2008). Approximating minimum independent dominating sets in wireless networks. *Information Processing Letters*, *109*(2), 155–160. doi:10.1016/j.ipl.2008.09.021.

Lewis, R., & Thompson, J. (2011). On the application of graph colouring techniques in round-robin sports scheduling. *Computers & Operations Research*, *38*(1), 190-204. doi:10.1016/j.cor.2010.04.012.

Lewis, R., Thompson, J., Mumford, C., & Gillard, J. (2012). A wide-ranging computational comparison of high-performance graph colouring algorithms. *Computers & Operations Research*, *39*(9), 1933-1950. doi:10.1016/j.cor.2011.08.010.

Potluri, A., & Singh, A. (2013). Hybrid metaheuristic algorithms for minimum weight dominating set. *Applied Soft Computing*, *13*(1), 76-88. doi:10.1016/j.asoc.2012.07.009.

Wang, Y., Zhang, C., & Liu, Z. (2012a). A matrix approach to graph maximum stable set and coloring problems with application to multi-agent systems. *Automatica*, *48*(7), 1227–1236. doi:10.1016/j.automatica.2012.03.024.

Wang, Y., Zhang, C., & Liu, Z. (2012b). A matrix approach to graph maximum stable set and coloring problems with application to multi-agent systems. *Automatica*, *48*(7), 1227–1236. doi:10.1016/j.automatica.2012.03.024.

Wu, Q., & Hao, J.-K. (2012a). An effective heuristic algorithm for sum coloring of graphs. *Computers & Operations Research*, *39*(7), 1593-1600. doi:10.1016/j.cor.2011.09.010.

Wu, Q., & Hao, J.-K. (2012b). Coloring large graphs based on independent set extraction. *Computers & Operations Research*, *39*(2), 283-290. doi:10.1016/j.cor.2011.04.002.

Żak, A. (2014). A generalization of an independent set with application to -stable graphs. Discrete Applied Mathematics, 162, 421-427. doi:10.1016/j.dam.2013.08.036