

Optimización de Horarios

Santiago Reinal Giménez
Máster en Técnicas Estadísticas

Curso 2024-2025

No presente documento realízase un resumo do Traballo de Fin de Máster titulado Optimización de Horarios realizado polo alumno Santiago Reinal Giménez a través do convenio de colaboración con empresas do Máster en Técnicas Estadísticas coordinado pola Universidade de Santiago de Compostela, a Universidade de Vigo e a Universidade de Vigo. Este foi titorizado por Ángel Manuel González Rueda, profesor axudante doutor da Universidade de Santiago de Compostela e Julio López Albín, *leader of Optimization and Robotics* de INDITEX.

O obxectivo do traballo consistiu na investigación da aplicación de técnicas avanzadas de optimización a un problema real de xestión de persoal. A planificación de quendas constitúe unha das tarefas máis críticas e recorrentes na operativa diaria dunha tenda, e malia ser un problema amplamente estudado noutros contextos, como o hospitalario, presenta desafíos específicos cando se traslada ao ámbito comercial.

Tomando como punto de partida un problema clásico na literatura do xénero, o *Nurse Scheduling Problem*, fíxose unha revisión da súa evolución histórica e metodolóxica, analizando tanto enfoques exactos como aproximados, e identificando os elementos máis relevantes para a súa adaptación ao novo contexto. Así, formulouse un modelo propio baseado en programación linear enteira mixta (MILP), cuxa finalidade é a de distribuír de forma eficiente e equilibrada as quendas do persoal dunha tenda, tendo en conta un conxunto amplo de restricións, preferencias e obxectivos organizativos.

O modelo desenvolvido ten en conta unha ampla variedade de condicionantes que xorden tanto do marco normativo como das dinámicas propias do espazo de traballo. Estes elementos, de natureza diversa, deben ser considerados de forma equilibrada para garantir solucións viables e coherentes co contexto. Unha das características distintivas da proposta é a consideración de elementos que, sen estar estritamente definidos por regras formais, inflúen de maneira significativa na calidade da solución final. Estes aspectos permiten incorporar matices relacionados co funcionamento interno do equipo e co equilibrio nas cargas de traballo, especialmente en períodos de maior intensidade. Esta dimensión adicional contribúe a construír horarios que melloran o contexto humano no que se aplican.

A implementación realizouse en linguaxe Python, empregando o solver CPLEX como motor de resolución. A estrutura do sistema inclúe distintas etapas: preprocesado das restricións, xeración inicial de solucións viables, axuste segundo criterios de robustez e filtrado final. Cada fase está deseñada para reducir a complexidade computacional e facilitar a adaptación

do modelo a diferentes tipos de tendas e condicións de contorno. A arquitectura modular do proceso permite, ademais, incorporar futuras melloras ou ampliacións sen alterar a estrutura global.

Para a validación do modelo, elaborouse un conxunto de instancias representativas baseadas en datos sintéticos, pero realistas, recollidos a partir de situacións observadas en diversas tendas da entidade colaboradora. Estas instancias permitiron simular múltiples escenarios, incluíndo casos de alta demanda, baixas inesperadas ou cambios nas disponibilidades do persoal. Os resultados amosan que o modelo é capaz de xerar horarios de alta calidade, cumprindo rigorosamente as restricións obrigatorias e optimizando, na medida do posible, os criterios brandos definidos.

Alén dos resultados obtidos desde o punto de vista técnico, analizouse tamén o comportamento da proposta nun contexto aplicado, prestando atención á súa capacidade de adaptación a escenarios diversos, así como ao impacto que pode ter sobre certos aspectos organizativos e operativos menos cuantificables, pero relevantes no día a día do entorno de traballo.. Todo isto reflicte o potencial transformador das ferramentas de optimización cando se deseñan con coñecemento profundo do problema e atención ás necesidades reais do entorno no que se aplican.

O traballo finaliza cunha reflexión sobre as posibles liñas de continuidade. Entre elas, destacan a incorporación de técnicas de aprendizaxe automática para o axuste dinámico de preferencias, o deseño de heurísticas específicas que melloren os tempos de cálculo en grandes instancias, e a integración do sistema nunha contorna real de produción. Tamén se contempla a creación dunha interface amigable que permita o seu uso directo por parte de persoal non técnico, facilitando así a súa transferencia efectiva ao ámbito empresarial.

En definitiva, este proxecto supón unha achega significativa ao problema da planificación de quendas no sector servizos, combinando a formalización matemática cunha implementación práctica e aplicable. O modelo desenvolvido destaca pola súa flexibilidade, adaptabilidade e capacidade para xestionar un equilibrio delicado entre eficiencia operativa e benestar do persoal. A experiencia acumulada permite concluír que a colaboración entre universidade e empresa pode xerar solucións innovadoras cun impacto medible, sempre que se afonden as pontes entre o coñecemento teórico e as necesidades da práctica profesional.

Referencias

- [1] Steve Awodey. *Category Theory*. Oxford, England: Oxford University Press, 2006.
- [2] Norman T. J. Bailey. “Statistics in Hospital Planning and Design”. En: *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)* 5.3 (1956), págs. 146-157. ISSN: 00359254, 14679876.
- [3] Stephen Boyd y Lieven Vandenberghe. *Convex Optimization*. Cambridge University Press, 2004.
- [4] Edmund Burke et al. “The State of the Art of Nurse Rostering”. En: *J. Scheduling* 7 (nov. de 2004), págs. 441-499.

- [5] Lonnie Golden. *Irregular Work Scheduling and Its Consequences*. Briefing Paper #394. Economic Policy Institute, 2015. URL: <https://www.epi.org/publication/irregular-work-scheduling-and-its-consequences/>.
- [6] Gurobi Optimization LLC. *Gurobi Optimizer Reference Manual*. 2025. URL: <https://docs.gurobi.com/projects/optimizer/en/current/>.
- [7] Jürgen Habermas. *Problemas de legitimación en el capitalismo tardío*. spa. Colección teorema. Madrid: Cátedra, 1999. ISBN: 9788437617534.
- [8] Leonard D. Heaton. *Medical Supply in World War II*. Washington, D.C.: Office of the Surgeon General, Department of the Army, 1968.
- [9] IBM. *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 22.1.2*. 2022. URL: <https://www.ibm.com/docs/en/icos/22.1.2>.
- [10] Bart Jacobs. “Objects And Classes, Co-Algebraically”. En: *Object Orientation with Parallelism and Persistence*. Ed. por Burkhard Freitag et al. Boston, MA: Springer US, 1996, págs. 83-103. ISBN: 978-1-4613-1437-0.
- [11] J. Jaffar y J.-L. Lassez. “Constraint logic programming”. En: *Proceedings of the 14th ACM SIGACT-SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages*. POPL ’87. Munich, West Germany: Association for Computing Machinery, 1987, págs. 111-119. ISBN: 0897912152.
- [12] Thomas J. Jech. *Set theory*. eng. 6. print. Pure and applied mathematics. San Diego, Calif.: Acad. Pr, 1993. ISBN: 9780123819505.
- [13] Judith S. Liebman, John P. Young y Mandell Bellmore. “Allocation of nursing personnel in an extended care facility”. En: *Health services research* 7.3 (1972), págs. 209-220.
- [14] Holmes E. Miller, William P. Pierskalla y Gustave J. Rath. “Nurse Scheduling Using Mathematical Programming”. En: *Operations Research* 24.5 (1976), págs. 857-870. issn: 0030364X, 15265463.
- [15] Chong Man Ngoo et al. “A Survey of the Nurse Rostering Solution Methodologies: The State-of-the-Art and Emerging Trends”. En: *IEEE Access* 10 (ene. de 2022), págs. 1-1.
- [16] Nuffield Provincial Hospitals Trust. *Studies in the Functions and Design of Hospitals*. 1955.
- [17] Takayuki Osogami e Hiroshi Imai. “Classification of Various Neighborhood Operations for the Nurse Scheduling Problem”. En: vol. 1969. Dic. de 2000, págs. 72-83. ISBN: 978-3-540-41255-7.
- [18] Martin Reddy. *API Design for C++*. 1st. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2011. ISBN: 9780123850034.
- [19] Mark Richards y Neal Ford. *Fundamentals of software architecture: an engineering approach*. 1.^a ed. O’Reilly Media, 2020.

- [20] Daniel Schneider y Kristen Harknett. *It's About Time: How Work Schedule Instability Matters for Workers, Families, and Racial Inequality*. Research Brief. The Shift Project, 2019. URL: <https://shift.hks.harvard.edu/its-about-time-how-work-schedule-instability-matters-for-workers-families-and-racial-inequality/>.
- [21] Adam Smith. *La riqueza de las naciones*. Trad. por Carlos Rodríguez Braun. Madrid: Alianza Editorial, 1776. ISBN: 84-206-0665-0.
- [22] Nick Srnicek y Laurent De Sutter. *Platform capitalism*. Theory redux. Cambridge, UK; Malden, MA: Polity, 2017. ISBN: 9781509504862.
- [23] D. Michael Warner. "Scheduling Nursing Personnel according to Nursing Preference: A Mathematical Programming Approach". En: *Operations Research* 24.5 (1976), págs. 842-856. ISSN: 0030364X, 15265463.
- [24] D. Michael Warner y Juan Prawda. "A Mathematical Programming Model for Scheduling Nursing Personnel in a Hospital". En: *Management Science* 19.4 (1972), págs. 411-422.
- [25] Harvey Wolfe y John P. Young. "STAFFING THE NURSING UNIT: Part I. Controlled Variable Staffing". En: *Nurshing Research* 14.3 (Summer 1965), págs. 236-242.
- [26] Harvey Wolfe y John P. Young. "STAFFING THE NURSING UNIT: Part II. The Multiple Assignment Technique". En: *Nurshing Research* 14.4 (Fall 1965), págs. 299-303.
- [27] Farzeen Zehra et al. "Comparative Analysis of C++ and Python in Terms of Memory and Time". En: *Preprints* (dic. de 2020). DOI: 10.20944/preprints202012.0516.v1.