



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# Herramienta de calendarización de parciales FING

Patricio Neri Carrera

Florencia Peirano Pereyra

*Proyecto de Grado de Ingeniería de Producción presentado ante la  
Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República*

## **Tutor**

Prof. Adrián Ferrari

## **Tribunal**

A definir

*Montevideo, Uruguay*

*Marzo 2024*

# Índice

<b>Glosario de términos.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>13</b>
2.1. Antecedentes.....	13
2.1.1. Métodos utilizados.....	14
2.1.1.1. Teoría de grafos.....	14
2.1.1.2. Enfoque heurísticos.....	16
2.1.1.3. Programación lineal y entera mixta.....	18
2.1.1.4. Metaheurísticas.....	18
2.1.1.5. Algoritmos genéticos.....	20
2.1.1.6. Algoritmos de aprendizaje automático.....	20
2.1.2. PATAT.....	20
2.1.3. Desarrollo de un benchmark.....	21
<b>3. Definición del Problema.....</b>	<b>23</b>
3.1. Planes de estudio y calendario lectivo FING.....	23
3.2. Descripción método actual.....	24
3.3. Descripción del caso.....	26
3.3.1. Elementos del problema.....	26
3.3.1.1 Horarios disponibles.....	26
3.3.1.2 Recursos disponibles.....	27
3.3.1.3 Conjunto de unidades curricuales.....	27
3.3.1.4 Restricciones.....	28
3.3.2. Factibilidad del problema.....	29
3.4. Importancia de calendarios en los estudiantes: Resultados de la encuesta.....	30
3.4.1. Conclusiones de la encuesta.....	37
3.5. Deserción en la FING.....	37
3.4. Modelado de la realidad.....	38
3.5. Simplificaciones y suposiciones.....	39
<b>4. Diseño del modelo.....</b>	<b>41</b>
4.1. Formulación.....	41
4.1.1. Parámetros.....	41
4.1.2. Variables.....	45
4.2. Evolución del modelo.....	47
4.2.1. Coloración de grafos.....	47
4.2.2. Modelo matemático.....	47
4.2.3. Modelo por fases.....	48
4.3. Estructura.....	56
4.3.1. Fase 1.....	56
4.3.2. Fase 2.....	60
4.3.3. Fase 3.....	63
4.4. Excepciones.....	64

4.5. Validación del modelo.....	69
<b>5. Relevamiento y generación de datos.....</b>	<b>75</b>
5.1. Metodología.....	75
5.2. Datos obtenidos.....	75
5.3. Dificultades encontradas.....	76
<b>6. Análisis de resultados.....</b>	<b>79</b>
6.1. Análisis del modelo completo.....	79
6.1.1 Inputs.....	79
6.1.2 Performance del modelo.....	80
6.1.2.1 Fase 1.....	80
6.1.2.2 Fase 2.....	85
6.1.3. Outputs.....	86
6.2. Análisis de sensibilidad.....	90
6.3. Análisis complementarios.....	92
6.3.1 Comparación calendario manual y computacional semestre impar.....	92
6.3.2 Comparación calendario manual y computacional semestre par.....	99
<b>7. Aplicación en la realidad.....</b>	<b>107</b>
7.1 Herramienta para la toma de decisiones.....	107
7.2 Recomendaciones.....	107
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>109</b>
<b>9. Trabajos futuros.....</b>	<b>111</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>113</b>
<b>10. Anexos.....</b>	<b>115</b>
10.1 Matrices del proyecto.....	115
10.1.1. Matriz RACI.....	115
10.1.2. Matriz de riesgos.....	116
10.1.3. Matriz de interés poder.....	117
10.1.4. Matriz de comunicaciones.....	117
10.1 Conjunto de datos.....	117
10.2 Instructivo de uso.....	118
10.3 Diagrama de Gantt de proyecto.....	118
10.4 Actas de reunión.....	118

# Resumen ejecutivo

El proyecto de grado trata la problemática inherente a la asignación de un conjunto específico de unidades curriculares a turnos y días, definidos por el usuario, en un calendario de parciales.

El problema de confeccionar un calendario de evaluaciones conlleva la necesidad de proporcionar a los estudiantes asignaciones que faciliten una planificación efectiva del tiempo de estudio. Esto implica considerar restricciones de carácter *duras* y *suaves*, tales como la capacidad de los turnos o posibles conflictos entre las unidades curriculares.

Este problema ha persistido en su relevancia a lo largo del tiempo, experimentando diversas aproximaciones: desde métodos manuales anteriores a la era computacional, hasta estrategias heurísticas y modelos matemáticos respaldados por técnicas de inteligencia artificial. En este proyecto, se adopta un enfoque heurístico con el propósito de comprender exhaustivamente el comportamiento del modelo y facilitar la mejora continua mediante ajustes paramétricos del modelo o en las salidas, de manera iterativa.

La inclusión de las preferencias estudiantiles adquiere un papel crucial en la metodología. Para garantizar la utilidad de la solución propuesta, se implementan encuestas dirigidas a comprender las limitaciones y preferencias de los estudiantes, contribuyendo así a evitar conflictos en la programación. Además, se colabora estrechamente con el equipo de asistentes académicos y la unidad de enseñanza para comprender los procedimientos actuales y el comportamiento deseado de la herramienta.

La salida del modelo proporciona asignaciones sugeridas y matrices que posibilitan un análisis detallado de la calidad del resultado. Este análisis incluye la evaluación de la diferencia de días y turnos entre unidades curriculares, así como una métrica escalar que expresa la calidad del resultado al evaluar de forma conjunta el grado de conflictividad de las unidades curriculares y el distanciamiento que hay entre ellas. Asimismo, se permite al usuario iterar e incidir sobre la salida del modelo, con el fin de perfeccionar el resultado propuesto.

Se lleva a cabo un análisis de sensibilidad para examinar la variabilidad del calendario de salida y las matrices frente a modificaciones en parámetros específicos, tales como la disponibilidad y capacidad de los turnos, o la conflictividad entre unidades curriculares.

Se destaca que en ninguna etapa del proceso se excluye la intervención humana, el modelo computacional propuesto se adopta a un enfoque que permite la replanificación según sea necesario. Se reconoce la posibilidad de que surjan imprevistos, como paros o reclamos estudiantiles, y se contempla la necesidad de ajustar el plan original en consecuencia.

El objetivo principal del proyecto es entonces programar un modelo que tome las siguientes 3 entradas:

- Datos maestros de las unidades curriculares, como cantidad de inscriptos y currícula sugerida.
- Estructura del calendario de parciales vacío o parcialmente completado, indicando capacidad de salones para cada turno.

- Matriz que indique las relaciones entre las unidades curriculares con inscriptos en común.

Y, a partir de las mismas, devuelva un calendario tentativo de salida, sujeto a posibles modificaciones posteriores efectuadas por el usuario, además de matrices que faciliten el análisis de calidad del calendario.

Se selecciona el conjunto constituido por las unidades curriculares obligatorias y electivas de Ingeniería de Producción ofrecidas durante el semestre impar, según la currícula actualizada al año 2023, como caso de estudio primario. Tras la validación del modelo, el análisis se extiende al total de unidades curriculares de grado ofrecidas en la Facultad de Ingeniería.

Adicionalmente, se realiza un estudio comparativo entre un calendario real y aquel resultante del modelo computacional al utilizar como base la métrica escalar y matrices mencionadas.

**Palabras clave:** *calendarización de exámenes, métodos heurísticos, replanificación, métricas ponderadas.*

**Keywords:** *exam scheduling, heuristic methods, replanning, weighted metrics.*

# Bibliografía

- [1] Agencia de gobierno electrónico y sociedad de la información y del conocimiento. "Los datos personales y su protección". 2008.  
<https://www.gub.uy/agencia-gobierno-electronico-sociedad-informacion-conocimiento/comunicacion/publicaciones/guia-didactica-sobre-proteccion-datos-personales/guia-didactica-sobre-0>.
- [2] Alba, E., & Dorronsoro, B. "El problema de la asignación cuadrática (QAP) y el algoritmo de la colonia de hormigas (ACO). En *Computación Evolutiva*" (pp. 1-38). Editorial DYKINSON, S.L. 2005.
- [3] Alba, F. "Deep Learning". 2019.  
<https://es.mathworks.com/help/optim/multiobjective-optimization.html>
- [4] Arbaoui, T. *Modeling and Solving University Timetabling Problem using the Constraints Satisfaction Model: A Case Study*. <https://doi.org/10.1109/ECAI52376.2021.9515060>. 2014
- [5] Asmuni, H., Burke, E., Garibaldi J. & McCollum B. *Fuzzy Multiple Heuristic Orderings for Examination Timetabling*. PATAT. 2005.
- [6] Ayob, Masri, Ariff Md. Ab. Malik, Salwani Abdullah, Abdul Razak Hamdan. *Solving a Practical Examination Timetabling Problem: A Case Study*. 2007.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-74484-9\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74484-9_53)
- [7] Boado, M., Custodio, L. y Ramírez, R. *La deserción estudiantil universitaria en la Udelar y en Uruguay entre 1997 y 2006*. CSIC. 2011.
- [8] Coello Coello, C. A., Lamont, G. B., & Van Veldhuizen, D. A. "Evolución multiobjetivo: Aspectos teóricos y algoritmos" Acento Editorial. 2007.
- [9] Corne, D., Dorigo, M., & Glover, F. (Eds.). "Nuevas ideas en optimización". 2008.
- [10] Dirección general de planeamiento Universidad de la República. *Ingresos a Carrera según Área y Servicio por Localización y Sexo – 2020*.  
[https://planeamiento.udelar.edu.uy/publicacion\\_generica/ingresos-a-carrera-segun-area-y-servicio-por-localizacion-y-sexo-2020/](https://planeamiento.udelar.edu.uy/publicacion_generica/ingresos-a-carrera-segun-area-y-servicio-por-localizacion-y-sexo-2020/).
- [11] Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. "Carreras de Grado". 2023.  
<https://www.fing.edu.uy/es/ensenanza/carreras-de-grado-old>.
- [12] Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. "Historia de la Udelar".  
<https://udelar.edu.uy/portal/institucional/historia-de-la-udelar/>
- [13] Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. "Currículas Sugeridas por Carreras". <https://www.fing.edu.uy/es/node/38243>
- [14] Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. "Parciales". 2023.  
<https://www.fing.edu.uy/es/bedelia/parciales>.

- [15] Gasparotti, C. "Resource Allocation Within A Project Using Heuristic Algorithm". 2011. [https://www.researchgate.net/publication/260085658\\_Resource\\_allocation\\_within\\_a\\_project\\_using\\_heuristic\\_algorithm/link/5486c5540cf2ef34478c2656/download?tp=eyJjb250ZXh0ljp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/publication/260085658_Resource_allocation_within_a_project_using_heuristic_algorithm/link/5486c5540cf2ef34478c2656/download?tp=eyJjb250ZXh0ljp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19)
- [16] Islam, T., Shahriar, Z., Perves, M.A. and Hasan, M. *University Timetable Generator Using Tabu Search*. Journal of Computer and Communications, 4, 28-37. (2016) <http://dx.doi.org/10.4236/jcc.2016.416003>
- [17] ITC 2019: International Timetabling Competition. 2019. (n.d.). <https://www.itc2019.org/home>
- [18] Jensen, Tommy R. *Graph coloring problems*. Wiley-Interscience publication. 1995.
- [19] Khan Academy. *Algoritmos de aprendizaje automático* (artículo). (n.d.). <https://es.khanacademy.org/computing/ap-computer-science-principles/data-analysis-101/x2d2f703b37b450a3:machine-learning-and-bias/a/machine-learning-algorithms>
- [20] KeepCoding. "¿Qué son los modelos de caja negra? | KeepCoding Bootcamps. KeepCoding Bootcamps". 2023 <https://keepcoding.io/blog/que-son-los-modelos-de-caja-negra/>.
- [20] Kenekayoro. "Incorporating Machine Learning to Evaluate Solutions to the University Course Timetabling Problem." 2019.
- [21] Kennedy, J., Eberhart, R. C., & Shi, Y. "Enjambre de partículas: conceptos básicos y experimentos con el algoritmo de enjambre de partículas". 2001.
- [22] Kraraup, J., y de Werra, D. *Chromatic Optimization: Limitations, Objectives, Uses, References*. European Journal of Operational Research. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(82\)80002-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(82)80002-7). 1982.
- [23] Laporte, G., y Desroches, S. *Examination Timetabling by Computers*. Comput. & Operational Research. 1984. [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(84\)90036-4](https://doi.org/10.1016/0305-0548(84)90036-4).
- [24] Martino, T. "Heuristics, Biases, and Decisions in Resource Allocation for Home Care Packages under Consumer Directed Care: A Systematic Review and Thematic Synthesis". 2023. [http://eamo.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto\\_1463.pdf](http://eamo.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto_1463.pdf).
- [25] MathWorks España. Optimización multiobjetivo - MATLAB & Simulink. (n.d.). <https://es.mathworks.com/help/optim/multiobjective-optimization.html>
- [26] McCollum, B. *University Timetabling: Bridging the Gap between Research and Practice*. PATAT. 2006.
- [27] Open Library UBC. "Constraint Programming Models For Real-World Examination Scheduling". 2022. <https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0417561>
- [28] Poder Legislativo de Uruguay. "Ley N° 18331: Protección de Datos Personales y Acción de Habeas Data". 2008. <https://www.impo.com.uy/bases/leyes/18331-2008>.

- [29] Qu, R., Burke, E. K., McCollum, B., Merlot, L. T. G., & Lee, S. Y. *A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling*. *Journal of Scheduling*, 12(1), 55–89 (2008). <https://doi.org/10.1007/s10951-008-0077-5>.
- [30] Seijas, S. *"El problema de coloración de grafos"*. 2017.  
[http://eamo.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto\\_1463.pdf](http://eamo.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto_1463.pdf)
- [31] Taha, H. A. *Investigación de operaciones: Una introducción (10ª ed.)*. Pearson. 2017.
- [32] Werra, D. *An Introduction to Timetabling*. *European Journal of Operational Research*. 1984. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(85\)90167-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(85)90167-5)