



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY**

# **Soluciones Metaheurísticas al problema del Job Shop Scheduling**

Ing. Alejandra Alcira Díaz.

Director: Dr. Guillermo Leguizamón.

Co-Director: Mg. Ing. Andrés Pascal.

Tesis para optar al grado de  
Magister en Ciencias de la Computación  
con Orientación Bases de Datos.

**2.023**

# **Soluciones Metaheurísticas al problema del Job Shop Scheduling**

Ing. Alejandra Alcira Díaz.

Entre Ríos – Argentina.

*A mis hijos, Ignacio y Marcos que son la luz de mi alma,  
a Mariano por su apoyo incondicional,  
a mis padres por ser un vivo ejemplo del  
esfuerzo y perseverancia.*

# Agradecimientos

A Dios, que nunca me deja sola a lo largo de mi vida...

Al Dr. Guillermo Leguizamón, quiero expresar mi más sincero agradecimiento por haber confiado en mi persona, por la paciencia y por la dirección de este trabajo. Gracias por su apoyo incondicional al abordar este proyecto, su persona me inspira respeto y me brinda mucha seguridad. Agradezco su constante apoyo y motivación, el haber puesto a mi disposición su experiencia y tiempo.

Mi consideración hacia todas las personas que han colaborado en la recolección de datos y la construcción de este trabajo.

A la Lic. Ivana Vence, a Mauricio Toufini y a Víctor Thea, por su apoyo constante.

Mi más cálido GRACIAS a Ignacio, Marcos y Mariano, por acompañarme en este desafío, a mis padres, a mi hermana y amiga María, mi hermano Facundo, sin olvidarme de mis siete sobrinos.

# Glosario

ACO	Algoritmos de Colonias de Hormigas
AG	Algoritmos Genéticos
AUTO	Forma Automática
BIA	Búsqueda Inicial Aleatoria
BLB	Búsqueda Local Básica
CB-CTT	Curriculum-Based Course Timetabling – (Calendarización por Materia Basado en Plan de Estudios)
CSP	Constraint Satisfaction Problem
DCU	Día Curso una Hora Asignada
EB-CTT	Enrollment-Based Course Timetabling – (Calendarización por Materia Basado en Inscripciones)
ET	Educational Timetabling
FO	Función Objetivo
FRCU	Facultad Regional Concepción del Uruguay
IC	Ingeniería Civil
ID	Identificador de evento
IE	Ingeniería Electromecánica
ISI	Ingeniería en Sistemas de Información
JSS	Job Shop Scheduling
LOI	Licenciatura en Organización Industrial
MANUAL	Modo parámetro fijo
N	Neighborhood – Vecindario
ORD	Ordenanza
PATAT	Practice and Theory of Automated Timetabling
RES	Resolución
SA	Simulated Annealing
TSP	Travelling Salesman Problem - Problema del viajante
TS	Tabu Search
UTN	Universidad Tecnológica Nacional
VNS	Variable Neighborhood Search - Búsqueda por Vecindarios Variables

# Índice General

## 1. Introducción

1.1. Conceptos Generales. . . . .	8
1.2. Aportes de la Tesis. . . . .	12
1.2.1. Timetabling de la Universidad UTN FRCU. . . . .	15
1.2.1.1. Requerimientos Basados en Restricciones Básicas. . . . .	15
1.2.1.2. Requerimientos Basados en Restricciones Adicionales. . . . .	16
1.2.1.3. Requerimientos Basados en Preferencias. . . . .	16
1.2.2. Especificación del problema. . . . .	16
1.2.3. Formulación del Problema . . . . .	18
1.2.3.1. Hipótesis. . . . .	20
1.2.3.2. Objetivos del Trabajo de Tesis. . . . .	21
1.2.3.3. Justificación. . . . .	21
1.2.4. Diseño de Investigación . . . . .	23
1.2.4.1. Universo de Referencia . . . . .	24
1.2.4.2. Selección de Casos: Muestra. . . . .	24
1.3. Organización del Informe. . . . .	25

## 2. Marco de Referencia

2.1. Definición de Términos. . . . .	27
2.2. Antecedentes Históricos. . . . .	42
2.3. Fundamentos Teóricos. . . . .	46

## 3. Timetabling de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay

3.1. Esquema de la Solución. . . . .	49
3.2. Función Objetivo. . . . .	54
3.3. Tiempos Computacionales. . . . .	57
3.4. Restricciones Básicas (Obligatorias). . . . .	57

### *Propuesta Algorítmica*

## 4. Modelo de Solución Inicial Aleatoria

4.1. Algoritmo Inicial Aleatorio. . . . .	60
4.2. Presentación Experimental. . . . .	63
4.3. Conclusión. . . . .	73

## 5. Modelo de Solución con Búsqueda Local Básica

5.1. Búsqueda Local Básica. . . . .	75
-------------------------------------	----

5.2. Algoritmo de la Búsqueda Local Básica. . . . .	77
5.3. Presentación Experimental. . . . .	80
5.4. Relación del Algoritmo Inicial Aleatorio vs Búsqueda Local Básica. . . . .	88
5.5. Conclusión. . . . .	89
<b>6. Modelo de Solución con Búsqueda por Vecindarios Variables (VNS)</b>	
6.1. Metaheurística Búsqueda por Vecindarios Variables. . . . .	91
6.2. Algoritmo de la Búsqueda por Vecindarios Variables. . . . .	94
6.3. Presentación Experimental. . . . .	97
6.4. Relación de la Búsqueda Local Básica vs VNS. . . . .	105
6.5. Conclusión. . . . .	107
<b>7. Asignación de Horarios y Aulas</b>	
7.1 Características. . . . .	109
7.2 Forma Manual. . . . .	111
7.3 Forma Automática. . . . .	111
7.1.1. Aplicación. . . . .	112
7.4 Conclusión. . . . .	121
<b>8. Conclusiones del informe</b>	
8.1. Conclusiones Finales. . . . .	124
8.2. Trabajo Futuro. . . . .	128
Bibliografía. . . . .	130

## **Anexos**

Anexo I Entrevista. . . . .	137
Anexo II Documentación. . . . .	143

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Conceptos Generales

El pensamiento optimizador del hombre va acompañado de su creatividad, al enfrentar problemas y necesidades que impulsan el avance tecnológico. Desde siempre, se ha buscado mejorar la forma de dar solución a los problemas de la vida cotidiana aprovechando los recursos con los que se cuenta, para lograr un objetivo específico o llevar a cabo una tarea de manera eficiente.

Los problemas de planificación o programación de tareas son muy importantes en diversas aplicaciones del mundo real. Por ejemplo, en las líneas de producción de una fábrica, en los aeropuertos para despachar los vuelos, en los hospitales para atender a los pacientes, en las instituciones educativas para distribuir las actividades de los alumnos y profesores, etc.

El Scheduling es una tarea extremadamente difícil con una significativa necesidad de cálculo. Esta gran importancia práctica lo convierte en un área activa de investigación. Consecuentemente, determina problemas que poseen estructuras más complejas al tener que incorporarse en el sistema de información de la organización o de la empresa.

Si bien, el desarrollo actual de las computadoras, y la aparición de nuevas técnicas de simulación y optimización aprovechan plenamente las disponibilidades de cálculo intensivo que estas proporcionan, dejan una nueva oportunidad de abordar los problemas de secuenciación o problemas de planificación (Scheduling), Blazewicz J. et al. [15].

El problema de Job Shop Scheduling (JSS, usaremos sus siglas en inglés de aquí en más) se encuentra categorizado dentro de los problemas NP-completos por Even S. et al. [27]. Su complejidad radica en que no existe algoritmo conocido que pueda resolverlo en una cantidad razonable de tiempo polinómico.

En líneas generales al JSS, se lo encuadra dentro de un tipo específico de planificación cuyo objetivo principal es la minimización del tiempo de ejecución de las tareas, conocido como el "makespan". El problema consiste en planificar un conjunto de  $n$  trabajos  $\{J_1, J_2, \dots, J_n\}$  sobre una lista de  $m$  recursos o máquinas físicas  $\{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ . Cada trabajo  $J_i$  consta de una serie de operaciones  $\{\mu_{i1}, \dots, \mu_{im}\}$  que deben ser ejecutadas de forma secuencial. Cada operación  $\mu_{ir}$  tiene asociado un tiempo de procesamiento sin interrupción  $d_{\mu_{ij}}$ , durante el cual requiere del uso exclusivo de un único recurso. Por lo que, es necesaria una óptima planificación de estas tareas por parte de las organizaciones y/o de las empresas.

Atendiendo este criterio se puede precisar que un problema de planificación consiste en usar un gran número de recursos limitados para realizar un conjunto de tareas en un cierto periodo cuya finalidad es la optimización de uno o más objetivos; vale decir, que por analogía se piensa implícitamente en el concepto de Timetabling, el mismo hace referencia a la calendarización<sup>1</sup>, a la organización específicamente de los horarios de las distintas instituciones, por ser conocido en la literatura de habla hispana, como un problema de Planificación horaria; en él existen recursos que deben ser asignados, en instantes o bloques de tiempo determinados, teniendo en cuenta ciertos requisitos y condiciones (“restricciones”). El Timetabling pertenece a un problema específico del JSS, ambos se enmarcan en la planificación de tareas y corresponde a un área ampliamente estudiada.

En efecto, es objeto de estudio por parte de los grupos de investigación y de diversos sectores, como lo es la serie de congresos internacionales PATAT<sup>2</sup>, que dio a conocer la tipología propuesta para el área de estudio de éste, la cual se incorpora al área de Educational Timetabling ofrecida en el ámbito educativo y establece la planificación de horarios tanto en colegios (School Timetabling) como en universidades (University or Course Timetabling).

En relación a lo expuesto, se manifiesta que el Timetabling de la Universidad representa una actividad administrativa importante para las instituciones académicas, donde en la mayoría de las universidades, la responsabilidad de construir el horario está condicionada por las instalaciones físicas y otros recursos necesarios ofrecidos por ella. Por tal motivo, es poco probable que dos organizaciones tengan las mismas necesidades a la hora de buscar un calendario.

Garey M. y Johnson D. [31], clasifica al Timetabling como un problema intratable: NP-completo, de acuerdo a la categorización definida en la teoría de la complejidad de los problemas. Su naturaleza dinámica, trae aparejada una serie de condiciones de eficiencia, tiempo y oportunidad que deben ser tenidas en cuenta, más allá de la correctitud en la asignación, debido a que presenta mucha dificultad para optimizar los resultados y lograr soluciones automatizadas de buena calidad en tiempo polinómico.

La habilidad de resolver este tipo de problema es uno de los principales desafíos a la hora de automatizar el proceso de creación de horarios, los mismos deben ser evaluados desde varios puntos de vista. En base a esto, se plantean tres dimensiones elementales, como subproblemas que presentan diferentes características y un determinado grado de cohesión, los mismos son:

- La asignación de estudiantes (qué año de la carrera tomará clase en cada curso).
- La asignación de docentes (qué docentes enseñan en cada curso y sus preferencias -cursos favoritos, los días y los períodos de tiempo-).
- La asignación de aulas (qué capacidad se adecúa a la cantidad de estudiantes que tiene el curso ya asignado).

---

<sup>1</sup> Fijación anticipada de fechas para alguna actividad a lo largo de un período.

<sup>2</sup> Practice and Theory of Automated Timetabling <http://www.patat2012.com/index.html> (Serie de Congresos Internacionales).

Estas tres dimensiones determinan la manera de llevar a cabo la planificación de horarios, es decir, el tiempo a disponer del espacio físico (aulas) en la distribución justa de las horas semanales entre los cursos (estudiantes y docentes), estableciendo condiciones adicionales que se deben cumplir, como es el caso del problema de optimización con restricciones, el cual permite hallar resultados que se aplican a un determinado criterio.

La programación por restricciones es una metodología utilizada para la descripción y posterior resolución efectiva de diversos problemas, entre ellos, el de optimización, por ejemplo, las aplicaciones en Scheduling, planificación, etc. A menudo muestran gran complejidad, requiriendo procesos de búsqueda apoyados en métodos heurísticos para alcanzar dicha resolución en un tiempo razonable. Es una importante técnica para enfrentar un sinnúmero de problemas y permiten eliminar aquellos valores o elementos (del dominio) que nunca formarían parte de un resultado o que no conducen a ninguna solución; en efecto, se definen las variables que al ser instanciadas deben satisfacer cada una de las restricciones planteadas, si esto se logra, se está en presencia de una solución (no necesariamente óptima -con características propias del problema-).

En este trabajo se plantea el problema de optimización con restricciones, y se divide a las restricciones en tres tipos: Básicas, Adicionales y de Preferencia. La primera, se debe satisfacer para dar un horario que sea viable por lo que siempre se deben cumplir, mientras que, la segunda y tercera -llamadas no Básicas- permiten evaluar la calidad de las soluciones, ya que, atienden determinadas particularidades de docentes, de departamentos y de la propia institución, no son absolutamente esenciales, pero sí deseable, podrían ser violadas. Las restricciones Adicionales, pretenden alcanzar ciertas metas no individuales; y las de Preferencia, responden a alcanzar ciertos deseos individuales. Sin embargo, cuanto más se cumplen, más se gana en optimalidad de la solución, Aarts E. y Lenstra J. [1].

De acuerdo a estas especificaciones, se plantean:

- Restricciones Básicas, describen los requisitos mínimos para alcanzar una solución, es decir, ante la falta de alguno de estos, la solución no sería factible; son restricciones de obligación, las cuales definen un espacio de resultados factibles y deben satisfacerse siempre.
- Restricciones Adicionales, mejoran la solución considerando condiciones propias de la reglamentación institucional, pueden ser o no satisfechas, aunque previamente, deben cumplir con las restricciones Básicas.
- Restricciones de Preferencias, pretenden cumplir con las preferencias de los docentes y de los departamentos, siempre deben respetar las restricciones Básicas, además, pueden o no atender las Adicionales.

El propósito de un problema de optimización es obtener un valor máximo o mínimo de alguna variable involucrada, en líneas muy generales e intuitivas. Para ello, uno de los recursos más básicos e importantes dentro de los métodos de programación, es la búsqueda, normalmente conduce a "resolver un problema", encontrando ciertos resultados dentro un espacio de búsqueda (este espacio define dónde se puede encontrar soluciones y en términos de optimización es el dominio de la función a ser optimizada).

Cuando se hace referencia al término de optimización; se lo asocia a la concreción de un objetivo utilizando la menor cantidad de recursos disponibles, o en una visión similar, la obtención del mejor objetivo posible utilizando todos los recursos con lo que se cuenta.

Entonces, para encontrar la mejor solución (óptima) se debe mencionar el concepto de algoritmo de búsqueda, el cual es un conjunto de instrucciones que están diseñadas para localizar un elemento con ciertas propiedades dentro de una estructura de datos, el mismo varía de acuerdo a la complejidad del problema, en la medida que éste aumenta, se hace necesario contar con herramientas adicionales.

Para problemas de planificación, las metaheurísticas juegan un rol fundamental y permiten obtener buenos resultados con un costo computacional razonable. La selección de la metaheurística más adecuada no siempre es una tarea fácil, por su gran variedad. La misma es una técnica que se caracteriza por integrar de diversas maneras procedimientos de mejora local, con estrategias de alto nivel capaces de crear procesos para escapar de los óptimos locales, y realiza una búsqueda robusta en el espacio de búsqueda del problema. En función del tipo de procedimientos a los que se refiere, la bibliografía distingue entre tres clases principales de algoritmos heurísticos: constructivos, basados en trayectoria y poblacional [1, 58].

El problema de Planificación Horaria, plantea realizar el proceso de asignación de espacios y de tiempo donde los encuentros (dictado de materia) entre docentes y estudiantes, son incluidos dentro de la semana en uno o más días con sus respectivos horarios, dentro de un determinado salón (aula) –de acuerdo con la cantidad de horas definida en la materia por el Plan de estudio de cada carrera-, y que dicho encuentro cumpla con las restricciones básicas, anteriormente citadas. La problemática de asignación de tareas y su programación conforman los pilares fundamentales que son la base de este documento aquí presentado. Como la principal línea de esta investigación es la resolución del problema de Timetabling de la Universidad que se encuadra dentro de una clase específica del Job Shop Scheduling, en el contexto de la Universidad Tecnológica Nacional de la Facultad Regional Concepción del Uruguay; a la cual se le entrega como producto final: el horario por carrera, que es el resultado de un método compuesto que parte de un algoritmo diseñado denominado Búsqueda Inicial Aleatoria, cuyo fin es crear un horario factible, el cual es punto de partida para el siguiente algoritmo llamado Búsqueda Local Básica, el mismo recibe como entrada ese horario y produce una mejora, solución que se la entrega al otro algoritmo designado como Búsqueda por Vecindarios Variables - Variable Neighborhood Search (VNS) [36, 51] - el que logra escapar del óptimo local alcanzado por BLB, con el objetivo de optimizarlo y proporcionar el mejor calendario para UTN FRCU. Dicho método compuesto es implementado en una aplicación: “Gestión de Horarios y Aulas”, desarrollada para tal fin.

Es preciso destacar, que el énfasis se puso en la elaboración del horario, es decir, en desarrollar una aplicación que permita resolver el problema desde el punto de vista del usuario y no tanto en mostrar aspectos de implementación o proponer nuevas metaheurísticas para el problema.

## 1.2 Aportes de la Tesis

Este trabajo tiene la impronta de desarrollar una herramienta que resuelve el calendario de UTN FRCU, una vez que esté implementado en el área involucrada - académica – se ha pensado y analizando presentar publicaciones derivadas del mismo.

### Descripción de Problema

El apartado plantea la forma de generar el horario por la Regional al inicio de cada cuatrimestre.

Es una herramienta necesaria que es presentada en el ámbito académico, sin ella la principal actividad de organizar las rutinas diarias, no se podrían llevar a cabo. La generación de los horario y asignación de las aulas en esta Facultad se realiza en forma manual, esta tarea en sí, es muy tediosa, requiere de una gran cantidad de tiempo, asimismo, debe satisfacer los requerimientos impuestos por políticas de la Institución.

La información se elaboró a partir de la recopilación de datos utilizando la técnica de la encuesta<sup>3</sup> y el cuestionario como instrumental; se llevó a cabo, tanto a los/as responsables de la Secretaría Académica personal no docente administrativos, como a los directores de cada departamento de la Institución, la misma se muestra en el Anexo I.

Previo al comienzo de cada cuatrimestre, cada departamento de la Regional decide la oferta de materias y qué docentes estarán a cargo de cada uno de sus cursos. Junto a esta información, los docentes avisan su disponibilidad horaria, así como también el máximo de veces por semana que desean dedicar a la enseñanza.

La Facultad Regional Concepción del Uruguay de UTN imparte en total cuatro (4) carreras de grado: Ingeniería Civil -I.C.-, duración seis (6) años, cuarenta y siete (47) materias; Ingeniería Electromecánica - I.E.-, duración cinco (5) años, cuarenta y nueve (49) materias; Ingeniería en Sistemas de Información - I.S.I.-, duración cinco (5) años, con cuarenta y cuatro (44) materias y Licenciatura en Organización Industrial - L.O.I.-, con cuatro (4) años, treinta y seis (36) materias. Las materias podrían ser cuatrimestrales o anuales, con su carga semanal determinada. Cabe destacar que existe una malla curricular, la cual determina el orden en que los alumnos deben tomar los distintos cursos para cada carrera.

El año académico está dividido en dos cuatrimestres donde sus horarios se programan en forma independiente. Desde el 2017 rige la Ordenanza N° 1549, la cual se expone en el Anexo II - Capítulo 3 inciso 3.1- la misma determina el horario de cursado entre 17:30 y 23:30

---

<sup>3</sup> La encuesta es el “método de investigación capaz de dar respuestas a problemas tanto en términos descriptivos como de relación de variables, tras la recogida de información sistemática, según un diseño previamente establecido que asegure el rigor de la información obtenida” (Buendía y otros, 1998, Pág.120). Así, puede ser utilizada para entregar representaciones de los objetos de estudio, detectar patrones y relaciones entre las características descriptas, además, establecer relaciones entre eventos específicos.

hs., de esta manera, se plantea que cada día de la semana está dividido en ocho (8) bloques horarios, además, a una hora cátedra le corresponden cuarenta y cinco (45) minutos hora reloj y un horario semanal se repite durante todo el cuatrimestre. Se identifica a cada curso por el cuatrimestre en que se ubica dentro del plan de estudio de la carrera (en el Anexo II). Esta información es útil a la hora de definir qué cursos no pueden ser dictados en forma simultánea en un mismo bloque horario.

Además, las materias están divididas en comisiones. Cada comisión tiene sus propias clases que siguen el mismo esquema del curso. Los alumnos pueden estar inscriptos en una única comisión, no se permite el cruce entre diferentes comisiones para una misma materia, la cual tiene un cupo determinado.

La Facultad de referencia cuenta con aulas compartidas por todos los cursos de las carreras dictadas. Las aulas tienen una capacidad definida como el número máximo de alumnos que es posible asignar para un bloque horario. Estas salas se clasifican en dos grupos: veintitrés (23) salas estándares y veinte (20) laboratorios que permiten dictar las clases de acuerdo a una comisión específica, dependiendo de los requerimientos, las comisiones deben ser asignadas a ciertos tipos de aulas. Cada docente se caracteriza por los cursos que dicta y por su disposición horaria.

## **Situación Actual**

En este apartado, se presenta cómo se realiza en actualmente la operación de planificación de los horarios y asignación de las aulas, la cual es calificada como Artesanal.

El proceso usual de construir el horario de esta Institución está bajo la responsabilidad de dos personas, quienes usando su conocimiento y potenciales de memoria determinan en forma manual una asignación horaria por carrera, la cual se va cotejando y aprobando por el departamento de la especialidad. Generalmente, el calendario se repite de año en año; y, cuando se debe hacer alguna modificación, se debe considerar la disponibilidad del equipo docente y sus horarios actuales, se prevé realizar los cambios en aquella banda horaria a la cual se desea establecer, se dialoga con el departamento en cuestión; el mismo, a su vez habla con el equipo docente y, de ser factible, se realiza el cambio. Por el contrario, si no es posible, se buscan cursos posibles para aquellos docentes que estén disponibles, generalmente son los que tienen dedicación exclusiva en la Facultad.

Éste es un proceso complejo e iterativo que contempla la disponibilidad de recursos y evita conflictos en los horarios con el objetivo de asegurar una buena planificación.

Tienen prioridad los docentes concursados, según su categoría, a saber: Titular, Asociado, Adjunto, JTP y Auxiliares, se suma la prioridad a los docentes que tienen domicilio en otra ciudad.

Con respecto a las materias del área Básica, se intenta que no haya adyacencia entre Análisis Matemático y Álgebra, y viceversa; mientras que se comparte la asignatura de Química entre Ingeniería Electromecánica e Ingeniería Civil. Lo mismo ocurre con la Ingeniería en Sistemas de Información y la Licenciatura en Organización Industrial. Se recomienda que no exista más de dos días de la semana entre una clase y otra para cumplir con las horas semanales.

Inicialmente, se forma un diagrama inicial para verificar la veracidad de los datos, y, si hubiera algún conflicto o cierto curso quedará fuera del número requerido de materias, esas personas administrativas serán las responsables de consultar a los docentes acerca de la posibilidad de modificar sus horarios, este trabajo se repite hasta lograr una programación adecuada.

Existen algunos puntos débiles. En primer lugar, consume mucho tiempo, ya que no es humanamente posible considerar todas las alternativas. Además, el trabajo depende exclusivamente de estas dos personas quienes deben llegar a tiempo, conformar a los docentes y respetar todos los recursos que están disponibles.

De esta manera, el desarrollo de la aplicación, deberá asignar cada comisión que corresponde al cuatrimestre que se está programando a un determinado año de carrera, se identificará la hora de comienzo y la hora de finalización, dispuesta en una cierta aula. Tal programación será factible en tanto se contemplen los recursos disponibles ya mencionados. Se trata de extender de manera más equilibrada posible el horario en el día y la semana, y de administrar las inscripciones de los estudiantes, respetando la disponibilidad de los docentes en la franja horaria establecida y las horas de descanso - recreo- esta información se encuentra en la Ordenanza N° 1549 UTN/2017 (en el Anexo II).

Para lograr un calendario factible debe ser condición necesaria y suficiente que los alumnos de un mismo año de carrera no deben estar asignados en más de un curso en el mismo momento; también se debe cumplir que un docente no se disponga a dictar clases para más de un curso dentro de la misma franja horaria; asimismo, se debe verificar que un aula no esté destinada a más de un curso en mismo tiempo, por otro lado, no se podrá asignar un aula cuya capacidad sea inferior a la cantidad de alumnos inscriptos en el curso. A todos estos requisitos y/o condiciones, se le puede sumar que las asignaciones de los años de carrera se presenten en intervalos de horarios contiguos; que se respete el tiempo del recreo, y que se distribuya equilibradamente en toda la semana las horas de cursado por cada año de carrera, con el fin de mejorar su calidad. Una vez comprobadas las condiciones y los requisitos recientemente expresados, se pueden incorporar preferencias que ayudan a incrementar aún más la calidad, entre ellas están los cursos del Departamento de Materias Básica, especialmente primer y segundo año de las carreras, podrían tener prioridad en su asignación debido a que existe un porcentaje elevado de recursantes. Así también, los docentes que viajan, podrán elegir días y determinar una banda de horarios contiguos, en esos días.

Ante esta situación, se deben nivelar los puntos de vista encontrados entre administrativos y directores de departamentos, ya que los administrativos buscaban una asignación de recursos más eficiente y los directores de departamento tienden a lograr las preferencias de los docentes, aunque coinciden en que es una tarea indispensable que demanda mucho tiempo, el cual se puede reducir con la ayuda de una herramienta automática de software.

## **1.2.1. Timetabling de la Universidad Tecnológica Nacional Regional Concepción del Uruguay**

En esta sección se dispone de ciertas características que aportan a la formulación del problema, se incluyen los requerimientos y condiciones que afectan a la asignación de los horarios y de las aulas de esta Facultad.

El problema de planificación horaria (Timetabling), como ya se mencionó, es una actividad académica que se lleva a cabo por el personal administrativo, y representa una cuestión de asignación de recursos. La habilidad de resolverlo es uno de los principales desafíos a la hora de automatizar el proceso de construcción del calendario universitario. La calidad en los resultados se debe evaluar desde varios puntos de vista por tratarse de un sistema complejo en el que se deben contemplar muchos recursos.

En consecuencia, se debe enfrentar un gran número de variables y una compleja relación entre ellas a efecto de incorporar las combinaciones de los cursos con los bloques de horarios y los docentes de la Regional, así como sus aulas, evitando la superposición; para conseguir soluciones confiables. Una programación restrictiva se utiliza para lograr un calendario factible.

Las restricciones contribuyen a la complejidad del Timetabling de la Universidad, y en esta tesis, se las dividen en tres: las Básicas, las Adicionales y las de Preferencia, de las cuales son obligatorias las llamada Básica ya que se deben satisfacer para entregar un horario que sea viable, tal como se citó en el apartado anterior y las otras dos son restricciones deseables, que pueden o no cumplirse, aunque para alcanzar calidad en las soluciones, deben satisfacer la mayor cantidad de condiciones no indispensables.

A continuación, se definen los diferentes requerimientos que se usan en esta investigación, que condicionan los recursos involucrados, y los mismos son situaciones que obedecen simultáneamente a un conjunto de variables con un dominio finito.

### **1.2.1.1. Requerimientos Basados en Restricciones Básicas**

Estos requerimientos, se plantean para obtener soluciones factibles aunque no garantizan la calidad<sup>4</sup> de dichas soluciones. Bajo este contexto se define a una solución factible, como aquella que está sujeta a verificar las siguientes restricciones básicas a la vez:

- Un docente no puede estar en más de un curso en el mismo horario (superposición de horarios de algún docente).
- Dos o más cursos del mismo año de carrera no pueden estar en el mismo horario (superposición de horarios de algún curso de estudiante).
- Un aula no puede ser asignada para más de un curso en el mismo horario (superposición de horarios de algún aula).

---

<sup>4</sup> Para comprender el efecto sobre la calidad de la solución se usa la descomposición del problema en varias partes, comprobando cada generación de horarios.

### 1.2.1.2. Requerimientos Basados en Restricciones Adicionales

Los requerimientos basados en restricciones adicionales permiten obtener soluciones factibles que mejoran la calidad de los resultados por eso son deseables, pero no garantizan ser óptimas. Las mismas, deben verificar las restricciones básicas, para lograr alcanzar las siguientes restricciones adicionales (no obligatorias):

- Un horario más equilibrado<sup>5</sup> durante la semana, los estudiantes deberían tener al menos un curso por día; en caso de tener un solo curso con una hora en un día debería ser reasignado en otro día, o incrementar la carga horaria de dicho curso.
- Bloques horarios contiguos.
- Espacios de descanso (recreos).

### 1.2.1.3. Requerimientos Basados en Preferencias

Se proyectan para obtener soluciones con buena calidad, es decir, deben cumplir con las restricciones básicas y pueden o no satisfacer las adicionales del problema. Se consideran a los requerimientos del docente, del departamento, y de la institución, los cuales no son indispensables:

- Requerimientos específicos de los docentes, días de preferencia para el docente, si viaja, si tiene dedicación exclusiva, en cuántos días se puede dividir la carga horaria del curso.
- Requerimientos específicos de los departamentos, los cursos que no pueden dictarse determinados días, cursos que preferentemente no pueden ser contiguos.
- Requerimientos específicos de la institución, Ordenanza N° 1549 (en el Anexo II Capítulo 3, inciso 3.1), Capítulo 6, inciso 6.3 "Horario Lectivo", la cual determina el horario de cursado. Un docente puede tener como máximo tres (3) cursos por día.

## 1.2.2. Especificación del problema

Este apartado proporciona una especificación general del problema y una presentación de cómo se modelaron las restricciones que son utilizadas, atendiendo a las características básicas de todo modelo:

- Variables: Son los conceptos u objetos que se busca entender o analizar. Sobre todo, con respecto a su relación con otras variables.
- Parámetros: Se trata de valores conocidos o controlables del modelo.
- Restricciones: Son determinados límites que nos indican que los resultados del análisis son razonables.
- Relaciones entre las variables: El modelo establece una determinada relación entre las variables apoyándose en teorías.

---

<sup>5</sup> o balanceado si en todos los días existe al menos un curso asignado.

- Representaciones simplificadas: Es la representación de las relaciones entre las variables estudiadas a través de elementos de las matemáticas tales como: funciones, ecuaciones, fórmulas, etc.
- Invariantes:  $t_s = \{1,2\}$  y  $h = \{1,2\}$ , ambos son dos parámetros de entrada, donde  $t_s$  representa los turnos del horario siendo (1=mañana, 2= tarde-noche) y  $h$  el cuatrimestre a programar (1= '1º Cuat', 2= '2º Cuat'), además, el equipo docente se conoce de antemano.

Las variables utilizadas están asociadas a la definición de un horario universitario representado semanalmente. Permiten ayudar a agilizar los procesos de análisis y evaluación.

Un modelo matemático es una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de la relación entre dos o más variables, según la "teoría de los modelos". Aunque parezca un concepto teórico, en realidad hay muchos aspectos de la vida cotidiana regidos por modelos matemáticos. Lo que ocurre es que no son modelos matemáticos enfocados a teorizar. Al contrario, son modelos formulados para que algo funcione; esta apreciación tiene la intención que se manifiesta en este trabajo.

Como se ha detallado anteriormente, el problema a modelar consiste en obtener una asignación de horarios para  $n$  docentes que participen en los  $m$  cursos y que dichos cursos se ubiquen en las determinadas aulas, a su vez, los estudiantes deben estar inscritos en dichos cursos y se debe acomodar según la capacidad del aula. Se divide al año académico en dos cuatrimestres que se programan en forma independiente. El horario de cursado se representa por los días  $d$  representados por números del uno al cinco que expresan días de la semana de tal manera que (1=Lunes, 2=Martes, 3=Miércoles, 4=Jueves, 5=Viernes), cada día está dividido en  $b$  horas cátedras en el periodo de tiempo formando ocho (8) bloques horarios, cada hora cátedra es cuarenta y cinco (45) minutos de reloj; semanalmente se repite durante todo el cuatrimestre, a su vez, se pueden programar para los turnos que se simbolizan como (1=mañana, 2= tarde-noche); las materias pueden ser anuales y cuatrimestrales, las anuales se programan en ambos cuatrimestres, el cuatrimestre puede ser 1= '1º Cuat', 2='2º Cuat', en el presente trabajo se toma como parámetro de entrada el turno  $t_s = 2$  y el cuatrimestre  $h=1$  de acuerdo a lo especificado en la sección 1.2.4.1.

Cada curso del cuatrimestre se ubica dentro del plan de estudio de la carrera; un curso es el registro de inscripciones de estudiantes a una determinada materia perteneciente al programa de una carrera, la cual tiene una cantidad predeterminada de horas semanales, y el equipo docente establecido es el responsable de dicho curso; si cada materia está dividida en comisiones, entonces una comisión sigue el esquema del curso, por ejemplo, la asignatura del departamento de Materias Básicas, Análisis Matemático I tiene dos comisiones, por lo tanto, se hará referencia a un Curso denominado "Análisis Matemático I A" y el otro curso, "Análisis Matemático I B", dos cursos diferentes.

### 1.2.3. Formulación del problema

El primer paso para estudiar problemas de optimización es construir un modelo matemático. Durante mucho tiempo, los modelos matemáticos sólo se utilizaron para expresar todas las características de un problema. Pero como se trata de un problema intratable debido a que no se ha probado la existencia de algún algoritmo eficiente que devuelva solución en tiempos polinómicos: resolverlo mediante el modelo matemático no es un método de solución eficaz. La teoría de la complejidad computacional formaliza dicha aseveración, introduciendo modelos de computación matemáticos para el estudio de estos problemas y la cuantificación de la cantidad de recursos necesarios para resolverlos, como tiempo y memoria.

Solo se proyecta construir un modelo matemático como punto de partida para plantear la resolución de este problema, el cual por su condición de "intratable" requiere del estudio detallado de otros autores, enfoques y perspectivas para lograr consolidar una propuesta.

En cuanto al desarrollo del modelo matemático, es relevante mencionar que este se posibilita gracias a la revisión de la literatura acerca del concepto de "University Course Timetabling", ya que fue necesario identificar, comprender y conocer los métodos de solución en general a la hora de abordar la problemática. Se puede citar la bibliografía: Naderi B. [53], el cual define como objetivo: maximizar la preferencia de los docentes y minimizar el número de aulas utilizadas; y establece los siguientes parámetros e índices:

#### Parámetros

$n$ = cantidad de docentes.

$m$ = cantidad de cursos.

$e$ = cantidad de aulas.

$d$ = cantidad de días.

$a_{i,k}$  toma el valor en uno (1) si puede impartir el docente  $i$  el día  $k$ , y cero (0) en caso contrario.

$g_{i,j}$  toma el valor en uno (1) si el docente  $i$  puede enseñar el curso  $j$ , y cero (0) de lo contrario.

$c_{i,l}$  toma el valor en uno (1) si el curso  $j$  puede presentarse en el aula  $l$ , y cero (0) de otra manera.

#### Índice

$k$  para días donde  $K=\{1, 2, \dots, d\}$ .

$j$  para cursos donde  $J=\{1, 2, \dots, m\}$ .

$i$  para docentes donde  $I=\{1, 2, \dots, n\}$ .

$l$  para aulas donde  $L=\{1, 2, \dots, e\}$ .

$t$  para periodo de tiempo  $T=\{1, 2, \dots, b\}$ , con  $b=\{1, 2, \dots, 8\}$ .

## Preferencias

1.  $pr^1_{i,j}$  La preferencia del docente  $i$  para impartir el curso  $j$ .
2.  $pr^2_{i,k}$  La preferencia del docente  $i$  por ocupar el día  $k$ .
3.  $pr^3_{j,k}$  La preferencia del curso  $j$  por presentarse el día  $k$ .

## Variables de Decisión

Una variable de decisión es un elemento desconocido de un problema de optimización. Tiene un dominio, que es una representación compacta del conjunto de todos los valores posibles de la variable. Los tipos de variables son referencias a objetos cuya naturaleza exacta depende del optimizador subyacente de un modelo.

Para este caso de estudio se plantean las siguientes variables:

$X_{i,k}$  Variable binaria que toma valor uno (1) si el docente  $i$  es asignado al menos un curso en el día  $k$ , y cero (0) en caso contrario.

$$X_{i,k} \in \{0, 1\} \quad \forall_{i,k}$$

$Z_{i,j,k,l,t}$  Variable binaria que toma valor uno (1) si el docente  $i$  imparte el curso  $j$  el día  $k$  en el aula  $l$  en  $t$  periodos de tiempo, y cero (0) en caso contrario.

$$Z_{i,j,k,l,t} \in \{0, 1\} \quad \forall_{i,j,k,l,t}$$

## Modelo Matemático

Considera la linealidad en la Función Objetivo y de las ecuaciones/inecuaciones.

La primera ecuación es la Función Objetivo que calcula la utilidad total, es expresada en tres términos que involucran las variables de decisiones ( $Z$ ,  $X$ ) y presentan una ponderación  $pr^1$ ,  $pr^2$  y  $pr^3$ , su función es dar peso a cada término de la sumatoria, eventualmente para que tengan implicancia final deben valer UNO (1). Se presentan el conjunto de restricciones declarados "Sujeto a:"

La ecuación (1) garantiza que cada curso sea presentado.

La desigualdad (2) establece los días en que un docente tiene cursos para impartir, asegurando que cada docente imparte como máximo un curso en cualquier horario.

La desigualdad (3) restringe el curso de los docentes a los días que prefieran

La restricción (4) asegura que en cada aula solo se puede presentar un solo curso a la vez, evitando la asignación cruzada.

La desigualdad (5) especifica que cada docente se asigna a los cursos que puede impartir.

La ecuación (6) garantiza que a cada curso se le asigne equipo docente.

Las restricciones (7) y (8) definen las variables de decisión.

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^d X_{i,k} * pr2_{i,k} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^d \sum_{l=1}^e \sum_{t=1}^b Z_{i,j,k,l,t} * pr1_{i,j} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^d \sum_{l=1}^e \sum_{t=1}^b Z_{i,j,k,l,t} * pr3_{j,k}$$

**Sujeto a:**

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^d \sum_{l=1}^e \sum_{t=1}^b Z_{i,j,k,l,t} = 1 \quad \forall j \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^e Z_{i,j,k,l,t} \leq X_{j,k} \quad \forall i, k, t \quad (2)$$

$$X_{i,k} \leq a_{i,k} \quad \forall i, k \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Z_{i,j,k,l,t} \leq 1 \quad \forall i, k \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^d \sum_{l=1}^e \sum_{t=1}^b Z_{i,j,k,l,t} \leq g_{i,j} \quad \forall j, i \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^d \sum_{t=1}^b Z_{i,j,k,l,t} \leq c_{j,l} \quad \forall j, l \quad (6)$$

$$X_{i,k} \in \{0,1\} \quad \forall i, k \quad (7)$$

$$Z_{i,j,k,l,t} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k, l, t \quad (8)$$

Este modelo fue presentado por Naderi B. [53], es un referente para Timetabling de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional ya que es el que más se adecua, no en su totalidad pero sí para expresar las relaciones entre las variables y los parámetros definidos. Desde esta tesis, se formula como base para dar respuesta al problema (se pretende encontrar soluciones) y se utiliza como instrumento que permite evitar ambigüedades; no tiene como función trasladarlo al desarrollo de la misma, por tratarse de un problema NP-completo origina la necesidad de implementar ciertos algoritmos heurísticos para su resolución, capaces de dar soluciones en tiempos computacionales razonables.

### 1.2.3.1. Hipótesis

Es posible proporcionar un calendario viable<sup>6</sup> para UTN FRCU al implementar la metaheurística VNS desde el problema conocido como Timetabling de la Universidad, por medio de una aplicación desarrollada, la cual aporta significativamente en la optimización de la selección y planificación de horarios, minimizando la violación de las restricciones no Básicas, para lograr una estandarización de los requerimientos.

<sup>6</sup> Un horario factible o viable es aquel en el cual todos los eventos han sido asignados a un espacio de tiempo y a un aula de tal manera que las restricciones básicas se satisfacen.

### **1.2.3.2. Objetivos del Trabajo de Tesis**

#### **Objetivo General**

Resolver el problema real de planificación de los horarios y asignación de las aulas, en el ambiente académico de la Universidad Tecnológica Nacional de la Facultad Regional Concepción del Uruguay, de forma que se cumpla con los requerimientos y condiciones, para minimizar las violaciones de las restricciones planteadas como no Básicas, mediante una aplicación se integran los algoritmos heurísticos desarrollados y se analizan sus resultados para comprender el comportamiento de los mismos, de esta manera, se pretende alcanzar una resolución para este problema de forma eficaz y eficiente.

#### **Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos que se esperan alcanzar son:

- Analizar los problemas de ambiente Timetabling, con el fin de comprender las técnicas existentes en el área de estudio.
- Examinar los posibles métodos de resolución heurísticos y razonar la elección del método escogido.
- Alcanzar un conocimiento profundo del manejo del horario y asignación de aulas en UTN FRCU.
- Diseñar, implementar y evaluar modelos algorítmicos que incluyan conocimiento del problema en cuestión y de las heurísticas que permita mejorar su performance.
- Modelar el problema de asignación de los horarios y de las aulas incluyendo criterios, restricciones y todas las variables asociadas en el diseño.
- Desarrollar una aplicación: “Gestión de Horarios y Aulas” que sea amigable al usuario y que cumpla los requerimientos planteados, mediante el ingreso de los datos y la ejecución de los algoritmos implementados.
- Medir la calidad y eficiencia del algoritmo.
- Proveer una implementación funcional y pública de la aplicación.
- Presentar resultados experimentales que permitan corroborar la eficiencia lograda con las distintas variantes presentadas respecto de los resultados obtenidos para la comunidad científica.

### **1.2.3.3. Justificación**

Existe una gran variedad de trabajos previos que han abordado el problema de Timetabling desde diversos enfoques. Sin embargo, cada uno de ellos presenta una solución

particular al problema que plantea, de forma tal que no existe un sistema estándar general para resolver este problema. Esto se debe principalmente a que las políticas y restricciones de horarios varían de una institución a otra.

Como personal docente y nodocente de esta Institución, y ante la presencia reiterada en cada inicio de cuatrimestre de resolver el conflictivo horario y la respectiva asignación de las aulas, se tomó el compromiso de poner en marcha este proyecto, como retribución y agradecimiento por todos los servicios recibidos tanto laborables como educativos. De allí, surge la inquietud de desarrollar una aplicación con el objetivo de resolver automáticamente el horario de todas las carreras dictadas en esta Facultad, asimismo, la asignación dinámica de sus aulas. Se considera al Timetabling de la Universidad, ya que es una clase particular del Job Shop Scheduling, ambos pertenecen al problema de planificación o de asignación de recursos (Scheduling).

El JSS, consiste en determinar la forma en que se deben utilizar un conjunto de recursos para realizar una lista de trabajos con el objetivo de minimizar el tiempo requerido para procesar los mismos respetando una serie de restricciones. Es un problema de optimización, abarca un sinnúmero de casos específicos de aplicación como lo es la programación de horarios de la universidad (conocido como "University Course Timetabling") que según Wren A. [75] lo define: "la planificación es la asignación sujeta a restricciones de los recursos otorgados, con el propósito de ser establecidos en un espacio de tiempo, de tal manera que satisfaga lo más cercanamente posible el conjunto de objetivos deseado".

Según la literatura consultada ese problema es clasificado como NP-Completo, consecuentemente, para resolverlo se deben utilizar algoritmos aproximados (métodos heurísticos). Para elegir esta técnica se buscó la bibliografía existente sobre el tema y esta demostró que los Algoritmos Genéticos (A.G.), Búsqueda Tabú, Simulated Annealing (S.A.) y Algoritmos de Colonias de Hormigas (A.C.O.), son las más empleadas. En controversia a estos, se optó por seleccionar aquellas que se mostraban poco probada, de manera que se escoge la línea de las metaheurísticas basadas en trayectoria, en discordancia a los autores Zhipeng L. y Jin Kao H. [79], se prefiere a la Búsqueda Local Básica y a la Búsqueda por Vecindario Variable. Con esta base, se pone como meta: construir un horario para UTN FRCU, a partir de la correcta administración de los recursos involucrados (cursos, profesores, alumnos, aulas, días y espacios de tiempo), quienes deben cumplir ciertas condiciones que deben ser respetadas.

Todo producto presenta cierta calidad y este no es la excepción, por eso, la misma es evaluada por medio de una función lineal llamada Función Objetivo, y tiene como misión penalizar las violaciones de las restricciones planteadas como no Básicas, por lo tanto el mínimo valor logrado por esta, será el mejor horario entregado para la Regional; los algoritmos propuestos se implementan mediante una aplicación desarrollada a medida para esta Institución denominada: "Gestión de Horarios y Aulas", la misma requiere de la intervención del usuario para validar la bondad de la solución proporcionada, además, pretende disminuir la carga administrativa de las personas encargadas de la planificación de los horarios y asignación de las aulas realizadas manualmente, de modo que se consiga un calendario automatizado con la opción de modificarlo cada vez que se necesite.

Para arribar a la resolución de este trabajo se emplean varios algoritmos producto de un método compuesto; como la idea es utilizar las metaheurísticas elegidas y ambas parten de

una solución inicial; para esto, se diseña el primer algoritmo de Búsqueda Inicial Aleatoria con características especiales propias del problema a resolver que le entrega a la Búsqueda Local Básica, la mejor solución alcanzada para que ésta la optimice y lo devuelva; ese resultado (de BLB) será la solución inicial para que opere el algoritmo de Búsqueda por Vecindario Variable (VNS), del cual se espera que proporcione soluciones de alta calidad, superiores a las obtenidas del método de Búsqueda Local Básica. La aplicación será probada y evaluada con datos reales suministrados por la Secretaría de TIC's. Las pruebas experimentales son más bien prácticas propias del desarrollo de la aplicación y no apuntan a ser análisis experimental desde el punto de vista científico.

#### **1.2.4. Diseño de Investigación**

Una vez concebida la idea de investigación, delimitado el problema en términos concretos y explícitos, se plantea la hipótesis y se da lugar al diseño del trabajo que hace referencia al tratamiento que recibirán las variables, en el sentido de cómo se sistematiza su manipulación en función del nivel de estudio, considerando el grado de control que ejerce el investigador sobre las variables que se relacionan íntimamente con el tipo de investigación, hipótesis y técnicas de recolección de datos.

El enfoque apropiado para llevar adelante el proceso de esta investigación y ampliando lo señalado es el enfoque cuantitativo, debido a que busca explicar la realidad que se quiere conocer considerándola objetiva y única, la cual no cambia por las observaciones y mediciones realizadas. Solo se observa el fenómeno tal y como se da en su contexto natural para después analizarlo, es decir, usa la recolección de datos para probar hipótesis, sobre las bases en la medición numérica y el análisis de los datos, de modo que permite establecer el comportamiento y probar teorías. Hernández Sampieri R. et al. [38].

Con el mismo criterio, para conseguir los objetivos planteados se establece un alcance exploratorio ya que su propósito es pretender examinar un tema o problema de investigación definido como NP-Completo.

El tipo de investigación a utilizar en los algoritmos diseñados para la asignación de horarios académicos, corresponde a una investigación aplicada, de tipo descriptivo, ya que explora las técnicas de optimización requeridas para un problema real y describe la mejor solución aplicable a un entorno específico con condiciones particulares previamente definidas.

Los procesos de recolección de datos para relevar información y encauzar el problema son la entrevista personal programada dirigida a los diferentes directores de carrera y al personal responsable de la Secretaría Académica de esta Facultad. Las preguntas son abiertas, asimismo, son aplicadas a todas las personas, en condiciones similares, la documentación y la observación son fuentes fundamentales para obtener datos. Luego se realiza el análisis de los datos científicos derivados, que son instrumentos para probar la hipótesis en base a la medición numérica y el análisis de los mismos. Hernández Sampieri R. et al. [38], de esta misma bibliografía se extraen las definiciones que a continuación se enuncian.

Una entrevista personal es aquella conversación cara a cara que se da entre el investigador (entrevistador) y el sujeto de estudio (entrevistado), en un determinado lugar (oficina de carrera). Este tipo de entrevista se centra en unos interrogantes puntuales, relacionados con un problema propuesto y se determina como tipo de entrevista mixto donde

el investigador cuenta con un derrotero de interrogatorios destinado a sujetos involucrados en el caso de estudio. Como las preguntas son abiertas, permiten al entrevistado dar una respuesta más libre, profunda y completa. Es una entrevista semiestructurada de investigación que otorga al sujeto una forma de matizar sus respuestas y ahondar en temas que no fueron planteados inicialmente en el devenir del proceso. Dichas entrevistas se pueden ver en el Anexo I.

A través de la observación, se incluyen cuestiones de comunicación no verbal como control de gestos, manejo de silencios, etc. Esta técnica consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. La observación es un elemento fundamental de todo proceso de investigación; en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos. Los resultados se construirán desde el aporte de una significación teórica a la información empírica obtenida, respaldada en los fundamentos teóricos del trabajo.

La investigación documental se encarga de recopilar y seleccionar información por medio de la lectura de documentos, grabaciones, bibliografías, etc. En este caso puntual de estudio se obtuvieron los planes de estudios de cada una de las cuatro carreras y el calendario actual del primer cuatrimestre, formulado manualmente por cada director de carrera, y la Ordenanza que respalda la banda horaria, los recreos de cada turno, etc. Estos documentos se pueden ver en el Anexo II.

Con la metodología, se realiza un análisis de los datos cotejándolos con los horarios suministrados y los planes de cada carrera; a su vez, se da fundamento mediante la comprobación de las soluciones de otros estudios científicos; y, finaliza con la elaboración de las conclusiones.

El presente estudio aborda una solución a un problema que afecta a la Universidad Tecnológica Nacional de la Facultad Regional Concepción del Uruguay (tanto directores de carrera, docentes, alumnos, como personal no docente administrativo), debido a que ellos son partícipes en la asignación de los horarios académicos.

#### **1.2.4.1. Universo de Referencia**

Universo es el conjunto de individuos o elementos que tienen una o más características en común y que se someten a un estudio, desde la perspectiva de este trabajo como fenómeno tecnológico, el conjunto que se toma como referencia es: "todas las materias del primer cuatrimestre para las cuatro (4) carreras de grado de la UTN FRCU, con sus respectivos años, en el turno (tarde/Noche), considerando los tiempos y recursos necesarios como los docentes, los estudiantes, las materias y las aulas, en el ámbito de la misma Regional".

#### **1.2.4.2. Selección de Casos: Muestra**

En este caso, se tiene en cuenta características para seleccionar los sujetos.

Para la presente investigación se distinguió como muestra a las personas relacionadas con el proceso de asignación de horarios (directores de carrera y personal administrativo académico) para algunas de las materias del plan de estudio actual de la Facultad en cuestión

en sus cuatro carreras de grado: Ingeniería en Sistemas de Información, Ingeniería Civil, Ingeniería Electromecánica y Licenciatura en Organización Industrial, quienes contemplan una determinada cantidad de años y planifican un conjunto de materias distribuidas en dos cuatrimestres, donde las materias anuales se programan en ambos cuatrimestres, y cada una de ellas presenta una cierta carga horaria denominadas horas semanales. En el Anexo II de planes de estudios se puede leer cada plan de carrera.

- A la Ingeniería en Sistemas de Información le corresponden cinco años de carrera con una cantidad de cuarenta y cuatro materias.
- La Ingeniería Civil contempla seis años con un total de cuarenta y siete materias.
- La Ingeniería Electromecánica contiene cinco años con cuarenta y nueve materias.
- La Licenciatura en Organización Industrial es de cuatro años y contiene treinta y seis materias.

Criterios de inclusión: el turno es tarde/noche, y se incorporaron las cuatro carreras de grado anteriormente citadas, de cada una se tomaron materias anuales y del primer cuatrimestre, dejando un total de materias igual a ciento seis (106), las cuales están distribuidas de la siguiente forma:

- A la Ingeniería en Sistemas de Información le pertenece una cantidad de veintisiete materias.
- La Ingeniería Civil contempla un total de treinta materias.
- La Ingeniería Electromecánica incorpora veintiocho materias.
- La Licenciatura en Organización Industrial contiene veintiuna materias.

Criterios de exclusión: quedaron fuera de la investigación las carreras de pre grado y de posgrado, porque tales carreras solo se dan en cohortes no consecutivas. Y por otro lado, las materias de las carreras de grado que corresponden al segundo cuatrimestre, cuyo total es de sesenta y nueve (69), además, se excluye la programación del turno de mañana ya que en él recaen las materias que llevan varias comisiones. Esta exclusión se determina por el solo hecho de que corresponde a un parámetro de entrada configurable.

### **1.3. Organización del Informe**

Este informe de tesis está organizado en dos partes: La primera, es el “Marco de Referencia”, corresponde al Capítulo 2 y al Capítulo 3, este último desarrolla el Timetabling de la Universidad Tecnológica Nacional de la Facultad Regional Concepción del Uruguay. Ambos capítulos conforman el marco teórico de este trabajo.

En el Capítulo 2 se presentan las producciones científicas valoradas como antecedentes relevantes, tanto del marco conceptual como de las ideas que orientaron el proceso de investigación, los conceptos teóricos referentes a los cuestionamientos planteados de Metaheurísticas, el problema de Timetabling de la Universidad, además, se definen las representaciones que intervienen en los distintos enfoques para la construcción de algoritmos en este modelo.

En el Capítulo 3 se aborda la Timetabling de la UTN FRCU, se define el Esquema de la solución, la Función Objetivo, los Tiempos Computacionales y las restricciones Básicas (Obligatorias) específicas para este problema particular.

La Segunda Parte pertenece a la “Propuesta Algorítmica”, aquí se plantean las posibles soluciones al problema: algoritmos propuestos y las variantes para resolver la cuestión abordada, brindando detalles sobre los mecanismos planteados para lograr las diferentes variantes que se usan en esta tesis. Se establece una relación entre los conceptos teóricos desarrollados con anterioridad y su modelado para ser tratados con metaheurísticas a través de un experimento computacional; la metodología de trabajo consiste en equiparar todas las pruebas de las tres propuestas algorítmicas generando treinta instancias de resultado por cada método, las cuales se representan en una tabla con un aspecto similar, así pues, se sugiere la posibilidad de una variedad de horarios de cursada, ordenados según su penalidad; del mismo modo se presentan las Figuras que son producto de los reportes que se exhiben según los Resultados por Carrera y los Resultados por Aula; para los Capítulos 4, 5 y 6, presentan los aportes novedosos de esta tesis, sin apuntar directamente a dar análisis experimental desde el enfoque científico, sino más bien práctico, desde el punto de vista del usuario.

En el Capítulo 4 se desarrolla un algoritmo diseñado para resolver el problema práctico de asignación de los horarios de clases y de las aulas. Mediante el modelo Inicial Aleatorio se crea el horario de la Facultad - una solución inicial (factible) -, la cual, da pie a la puesta en marcha de la búsqueda local básica (BLB) debido a que requiere de una solución para su funcionamiento.

En el Capítulo 5 se centra en el algoritmo diseñado con la Búsqueda Local Básica (BLB), el cual toma de la solución dada en el Apartado anterior para poder desempeñarse y pretende mejorar la solución; al igual que en el Capítulo 4, se desarrolla la parte formal teórica, después, se hacen las pruebas experimentales, las cuales se relacionan con los resultados de ambos Capítulos, y luego, se realiza una somera conclusión del algoritmo como cierre del mismo.

En el Capítulo 6 se explica la Metaheurística de Búsqueda por Vecindarios Variables (VNS) y el modelo de algoritmo diseñado y efectuado para resolver el problema de Timetabling para esta Regional; seguidamente, se detallan los resultados experimentales, y luego, se hace una relación con las soluciones de dicho algoritmo y las del algoritmo Búsqueda Local Básica (BLB) planteado en el Capítulo 5. Por último, se concluye sobre el algoritmo de VNS implantado.

A continuación, en el Capítulo 7 se declara mediante una aplicación: “Gestión de Horarios y Aulas”, donde se valoran algunas características importantes. Seguidamente, se plantea la forma manual (actual) de llevar a cabo esta actividad; inmediatamente, se desarrolla la forma de implementar la aplicación diseñada para resolver en forma automática este problema. Para cerrar el Capítulo, se da una apreciación del desarrollo realizado.

Finalmente, en el Capítulo 8, se presentan las conclusiones del informe y se propone el trabajo futuro.

# Capítulo 2

## Marco de Referencia

En este apartado se plantea el marco teórico y conceptual de la investigación, para darle respaldo a la hipótesis del problema trazado. Se explica la problemática en que se encuentra inmerso el objeto de estudio planteado, introduciendo la postura de los autores más relevantes, sus teorías, su producción, tanto del marco conceptual como respecto de la resolución metodológica. Se proyecta en tres partes: 2.1 Definición de términos, 2.2 Antecedentes históricos y 2.3 Fundamentos teóricos.

### 2.1. Definición de términos

Se detalla un glosario de palabras técnicas que orientarán conceptualmente las variables que son objeto del estudio.

Desde los primeros años de la existencia del ser humano hasta ahora. Este, se ha visto en la necesidad de usar su intelecto para resolver sus problemas del día a día, donde se puede notar la evolución de su ingenio. El mismo razonamiento, conlleva a definir qué es el problema: Cuestión que se plantea para hallar un dato desconocido a partir de otros datos conocidos, o para determinar el método que hay que seguir para obtener un resultado dado.

Por su naturaleza, tiene la capacidad de ser solucionado por uno o varios métodos, pero si bien es importante llegar a la respuesta, lo más importante es evaluar su viabilidad.

La solución de problemas consiste en la generación de opciones o posibles rutas a seguir para hacer cambios alrededor de una situación. El término “Solución”: proviene del latín Solutio que se refiere a la acción o efecto para resolver dificultades, dudas o problemas.

El hombre como ser racional, en la vida cotidiana, en la tecnología, en las ciencias naturales, en las ciencias sociales y obviamente en la matemática misma, con frecuencia está afrontando variados problemas de optimización, muchas veces con los criterios suministrados por la experiencia y la intuición, aunque no necesariamente se encuentra la solución óptima. Si se evoca el pensamiento optimizador, se puede decir que va acompañado de la creatividad al enfrentar problemas y necesidades que impulsan el avance tecnológico; probablemente, el pensamiento optimizador de cazar animales, dio origen a la búsqueda de la mejor manera de cazar una presa; el mismo pensamiento, lo guio a cruzar los ríos e ingenió balsas, canoas, puentes; y así sucesivamente se puede enumerar inventos que el hombre produjo: la rueda, la carreta, los vehículos motorizados, el telégrafo, el teléfono, los satélites, la Internet; ese mismo

razonamiento optimizador, también lo condujo ante la necesidad de guardar información, de examinarla, de procesarla; seguidamente, a la estadística y la informática. Los avances tecnológicos y científicos continúan y con certeza, el pensamiento optimizador genera en cada campo de la tecnología una dinámica propia para su avance.

Es pertinente determinar que un problema de optimización es todo problema en el cual el objetivo fundamental es obtener un valor máximo o un valor mínimo de alguna variable. Ciertamente, éste es un nivel intuitivo y muy general de referencia a los problemas de optimización.

En cuanto a optimización y matemática, se da una idea de ellas mencionando: la programación lineal, iniciada por Leonid Kantoróvich en 1939 (Kantoróvich L. [42]) y ampliada con los grandes aportes de George B. Dantzig en 1947 con su método del simplex (Dantzig G.[22]); en el mismo año, John von Neumann con la teoría de la dualidad; años más tardes, en 1983 (Von Neumann J. [73]) , Narendra Karmarkar presentó su método del punto interior para resolver problemas de programación lineal, y muchos más estudiosos en este tema (Karmarkar N. [43]); se cita además, la teoría de control óptimo, cuyos orígenes se puede relacionar al Cálculo de Variaciones, como el problema de la braquistócrona, vinculado fuertemente a Johann Bernoulli (Bernoulli J. [13]) y su alumno Leonhard Euler (Euler L. et al. [26]); básicamente, se trata de encontrar una función que optimice considerando restricciones dadas por ecuaciones diferenciales. En 1957 Richard Bellman (Bellman R. [12]) da valiosos aportes de su programación dinámica y años después, Pontryagin con su “principio del máximo”, etc. (Pontryagin L. [59]).

Queda claro que, desde siempre, se ha buscado mejorar la forma de dar solución a los problemas que surgen con mayor frecuencia en la vida diaria, se intenta aprovechar los recursos con los que se cuenta, para lograr un objetivo específico o llevar a cabo una tarea de manera eficiente. El problema se determina por medio de un espacio de soluciones  $S$  y la Función Objetivo  $f$ . Para resolver el problema de optimización  $(S, f)$  consiste en determinar una solución óptima, es decir, una solución factible  $x_0 \in S$  tal que  $f(x) \leq f(x_0)$ , para cualquier  $x_0 \in S$ . Sea el universo de soluciones identificado con el conjunto  $U=U_1 \times \dots \times U_n = \{x=(x_i: i=1,2,\dots,n): x_i \in U_i\}$ . Melián B. et al. [49].

Si desea encontrar la mejor solución de acuerdo a un criterio dado, una forma es establecer condiciones adicionales que se deben cumplir, mediante el problema de optimización con restricciones (método que se emplea en este trabajo). Dicho problema es complejo y variado, a la vez, es de prominente atractivo tanto en el aspecto científico-técnico como en el aplicado.

En 1963 se hacía alusión al uso de restricciones por medio del estudio realizado por Ivan Sutherland para su tesis doctoral: A Man-Machine Graphical Communications System. En los años 80s se hizo más fuerte, donde se llegó a utilizar lenguajes para el desarrollo como LISP - Sutherland I. [70]-. Tomando en cuenta parte de la historia, hoy es posible mencionar que es aplicable en diversas áreas llegando incluso con cuestiones cotidianas, que pueden ser expresadas de esta manera.

La Programación con Restricciones es una tecnología emergente dedicada a la resolución eficiente de problemas de satisfacción de restricciones, comúnmente conocidos como CSP (en inglés Constraint Satisfaction Problem). Un CSP se compone de una secuencia de variables, cada una asociada a un dominio y un conjunto de restricciones sobre esas variables. Para su resolución se usan varios tipos de algoritmos, y se hace necesario utilizar de forma adecuada algunas técnicas como: de búsqueda, de inferencia, y de ciertas heurísticas (esta última es la que se aplica en este trabajo), las cuales van a permitir ordenar, ya sea las variables, valores y/o restricciones, logrando resolver los problemas de forma más efectiva. Cuando cada una de las restricciones sea satisfecha, se estará en presencia de una solución.

El problema se determina por medio de un espacio de soluciones  $S$  y la Función Objetivo  $f$ , se expresa formalmente la definición de Función Objetivo para un problema de optimización con restricciones:

Dada una función  $f : S \rightarrow R$ , llamada Función Objetivo, un problema de optimización con restricciones consiste en encontrar el argumento que minimiza  $f$  dentro del conjunto de soluciones factibles, lo que podemos enunciar con la siguiente expresión.

$$\min_{s \in S} f(x)$$

$$\text{sujeto a} \\ s \in X$$

donde:  $S$  es el conjunto de todas las soluciones, también llamado espacio de soluciones. La función  $f$  determina el criterio de optimización, es decir, que tan buena es una solución.  $X$  representa el conjunto de soluciones factibles. La definición presentada sólo considera los problemas de minimización.

$$\max f(x) = \min -f(x).$$

En caso de maximizar una función, se pueden representar como un problema de minimización, tal como: se dice que una solución  $s^* \in S$  es un óptimo (o mínimo global) de  $f$  si se cumple que  $f(s^*) \leq f(s)$ ,  $\forall s \in S$ , donde,  $s^*$  pertenece al conjunto de las mejores soluciones de todo el espacio de búsqueda.

Cabe mencionar que en algunos métodos heurísticos se utiliza el concepto de vecindario, el mismo usa movimientos simples que involucran la búsqueda, la cual permite ordenar: las variables, valores y/o restricciones, consiguiendo resolver el problema. (Glover F. y Kochenberger G. [32]).

El vecindario es una función  $N: S \rightarrow 2S$  que asigna a cada solución  $s \in S$  un conjunto de soluciones (vecinos) en el espacio de búsqueda.

Sea  $N_k$  ( $k=1, \dots, k_{\max}$ ), un conjunto finito de vecinos preseleccionados, y con  $N_k(s)$  el conjunto de soluciones en la  $k$ -ésima vecindad de  $s$ . Se consideran Vecindarios:  $N_k(s)$  o  $N'_k(s)$  ( $k=1, \dots, k'_{\max}$ ) introducidos en un espacio de la solución  $S$ .

Una solución óptima  $s^*$  (o mínimo global) es una solución factible donde se alcanza un mínimo de problema. Se llama  $s' \in S$  un mínimo local de problema con respecto a  $N_k(s)$ , si no hay solución  $s \in N'_k(s) \subseteq S$  tal que  $f(s) < f'(s)$ .

Es decir, un vecindario de una solución es el conjunto de todas aquellas soluciones que se obtienen a partir de una solución  $s'$ , a través de un movimiento  $\sigma$ , dicho movimiento puede ser un intercambio entre vecinos que conforman la solución  $s$ . Se representa con  $N(s)$ ,  $s$  es una solución del espacio total de soluciones  $S$  y siendo  $s'$  el vecino de  $s$  generado a partir de movimientos. Cruz Chávez M. y Díaz Parra O. [21].

En toda tarea existe un criterio de planificación, como, por ejemplo: qué rumbo va a buscar el resultado del problema, qué orden deben seguir los eventos para la construcción de la solución. Los resultados a los problemas de la programación y planificación, son clasificados en dos categorías: las soluciones exactas y las soluciones de aproximación.

Las soluciones exactas son soluciones óptimas, pero generalmente sólo son útiles cuando el tamaño del espacio de búsqueda del problema es pequeño, generalmente la complejidad del algoritmo es exponencial, lo que indica que el tiempo requerido para encontrar la solución crece de manera exponencial con respecto al tamaño de la entrada y depende del número de variables que intervienen en el problema, Werra D. [74]. Procedimentalmente, se recorre todo el espacio de búsqueda, y se encuentran todas las soluciones al problema. Se las identifica como métodos tradicionales, por ejemplo: la Programación Lineal, la Programación Entera, Backtracking, entre otras.

En contraste con las anteriores, están las soluciones de aproximación: son técnicas no tradicionales, no encuentran todos los posibles resultados a un problema, solo acotan o reducen el espacio de búsqueda, por lo tanto, se dice que son métodos incompletos, según Burke E. et al. [16]. Logran hallar la o las soluciones en un tiempo razonable, en general, presentan buena calidad y se adecuan en problemas de gran magnitud y en general son soluciones no óptimas. Algunas de las técnicas más usadas son los algoritmos metaheurísticos.

En el plano de la ingeniería y las matemáticas aplicadas, encontrar la mejor opción entre muchas alternativas de solución para un problema específico, se denomina Optimización. Cuando un mayor número de variables o la cardinalidad del dominio de cada variable son muy grandes, el tamaño del espacio de búsqueda aumenta, y muchos problemas se vuelven más complejos al momento de encontrar el mejor resultado en tiempos admisibles. Una manera de enfrentar esta problemática es mediante el uso de metaheurísticas.

Un algoritmo de búsqueda es un conjunto de instrucciones que están diseñadas para localizar un elemento con ciertas propiedades dentro de una estructura de datos.

Para arribar al problema en cuestión se debe hacer referencia a ciertos términos que incluyen este documento e involucran directamente a la planificación, los mismos son Schedule y Timetable.

Schedule es un sustantivo que se puede traducir como "el horario", esta palabra viene del latín Schedule que significa: da el origen a cédula (en castellano), en general, hace

referencia a planificar algo, en el sentido ponerlo explícitamente en un plan o propuesta, con un horario o fecha para su cumplimiento.

Al hablar de Planificación (Scheduling), se hace referencia a un proceso de toma de decisiones donde el objetivo es el de asignar recursos limitados a diferentes tareas que se realizan en el transcurso del tiempo - es un trabajo difícil con una excesiva necesidad de cálculo, lo cual establece estructuras más complejas al momento de automatizar-. El Scheduling, fundamentalmente, tiene que ver con la asignación óptima de recursos a actividades a través del tiempo.

Los recursos pueden ser dispositivos o máquinas en una planta, rutas en un aeropuerto, equipos en una construcción, unidades de procesamiento en un entorno computacional, cursos, docentes estudiantes, aulas en una institución educativa, etc. Las actividades pueden ser operaciones en un proceso de producción, despegues y aterrizajes en un aeropuerto, etapas en un proyecto de construcción, ejecuciones de un programa de computador, un calendario entre otras. Determinando así, una gran variedad de diversos tipos de problemas presentados en una situación real, Wren A. [75].

Timetable es un sustantivo que se puede traducir como "el horario" (al igual que Schedule); se lo utiliza como una lista de actividades o compromisos, en las cuales están programados ciertos eventos que incluye la hora de comienzo y fin.

De hecho, este particular problema es objeto de estudio en diferentes escenarios en el mundo, así como los deportes, empresas, transporte aéreo, educación, entre otros; de tal manera PATAT<sup>7</sup> estableció grandes áreas de estudio y dio a conocer algunos tipos de Timetabling, los más conocidos:

Transport Timetabling: bajo las diferentes problemáticas en la asignación de rutas de los conductores de buses de transporte público o privado, trenes, por ejemplo, De Leone R. et al. [25] y/o aviones, conocido como Airline Schedule, el autor Barnhart C. [9].

Sports Timetabling (Sports Scheduling), se aplica en los deportes en especial, a los diferentes tipos de enfrentamientos entre equipos de fútbol, ya que requieren un tipo de programación de encuentros diferente, donde se debe tener en cuenta, por ejemplo, Navidad y Año Nuevo debido a que se realizan encuentros muy seguidos, en Schönberger J. et al. [68].

Employee Timetabling and Rostering: considera a los turnos particularmente en el sector de la salud (Nurse Rostering en Bai R. et al. [8]), puesto que, enfermeras y médicos deben cumplir diferentes turnos de trabajo, se deben equilibrar las cargas de trabajo. En este encuadre se pueden incluir algunas empresas que imparten horarios de trabajo a sus empleados en turnos y/o horarios, determinando distintas restricciones y considerando según Adamuthe A. y Bichkar R. [4], el límite máximo de horas o turnos, la existencia de interrupciones, la existencia de trabajadores temporales y de tiempo completo, el periodo de planificación, la disponibilidad y las preferencias del trabajador, entre otras.

---

<sup>7</sup> Practice and Theory of Automated Timetabling – (Serie de Congresos Internacionales)  
<http://www.patat2012.com/index.html>.

Educational Timetabling: en el ámbito educativo, los principales problemas son los de planificación de horarios tanto en colegios (School Timetabling) como en universidades (University or Course Timetabling), este tipo de programación de materias es subdividida por Cabezas Garcia J. [17] en EB-CTT<sup>8</sup> y CB-CTT<sup>9</sup> cuya resolución requiere de una eficiente asignación de recursos respetando instantes de tiempo establecidos, lo cual implica una serie de restricciones y preferencias derivadas de personas, instituciones, reglamentos u otras. Otro campo de la educación tiene que ver con la carga de exámenes y su calendarización (Exam o Examination Timetabling).

Zhipeng L. y Jin Kao H. [79] definen Timetabling como: "Asignar un número de eventos, cada uno con ciertas características, a un número limitado de recursos sujeto a restricciones".

Anterior a ellos Wren A. [75], determina el Timetabling, como un caso especial de Programación (Scheduling), a ésta la define como "la asignación, sujeta a restricciones, de un grupo de recursos a objetos ubicados en tiempo y espacio, de tal manera que se satisfagan un conjunto de objetivos deseados".

Si se pone foco en esta categorización y en aquellos recursos que involucran a los cursos, a los docentes, a los estudiantes y a las aulas, donde las operaciones deben asignar estos recursos en determinados espacios de tiempos, se manifiesta el Problema de Timetabling que es conocido en la literatura de habla hispana, como un problema de Programación horaria o Calendarización.

En este trabajo, se determina a Timetabling de la universidad, y se hace uso de la definición de Wren A. [75] "el problema de asignar ciertos recursos a un número limitado de bloques horarios y lugares, sujeto a diversas restricciones, con la intención de satisfacer un conjunto de objetivos en el mayor grado posible"; se trata de un sistema complejo en el que se deben considerar varios temas. La práctica de solucionar estos tipos de dificultades resulta un reto a la hora de automatizar el proceso de creación de horarios y su eficacia en los resultados. Su resolución depende de las necesidades específicas que la institución tenga, por esta razón es poco probable que dos universidades tengan las mismas necesidades a la hora de buscar una solución a la asignación de horarios.

A modo de clasificación Carter M. y Laporte G. [18], descompusieron el problema de programación de cursos en cinco subproblemas, es decir, horarios de cursos, horarios de profesores de clase, horarios de estudiantes, asignación del maestro y asignación del salón de clases, a su vez, para cualquiera de éstos, plantean resolver por diferentes técnicas divididas en cuatro categorías: métodos de clúster, métodos secuenciales, métodos basados en restricciones y metaheurísticas. Posteriormente Burke E. et al. [16] añade las categorías: multicriterio, razonamiento basado en casos e hiperheurísticas.

Las restricciones del problema reducen el universo de soluciones a un subconjunto de soluciones  $S \subseteq U$ , denominado espacio factible.

---

<sup>8</sup> Enrollment-Based Course Timetabling – (Calendarización por Materias Basado en Inscripciones).

<sup>9</sup> Curriculum-Based Course Timetabling – (Calendarización por Materias Basado en Plan de Estudios).

Las restricciones son límites impuestos a las variables de decisión, comúnmente, son una parte integral de la formulación de cualquier problema, según lo define Dhar V. y Ranganathan N. [24] que, a su vez, determinan el espacio de búsqueda del mismo y lo dividen en dos subconjuntos, el espacio de soluciones factibles y el espacio de soluciones no factibles.

Dentro del contexto de Timetabling, Corne D. et al. [20] propuso cinco categorías de restricciones ante la gran variedad que existe para este tipo de planificación:

- Restricciones unarias, implican un solo evento. Ejemplo “se deben programar los cursos en cierto intervalo de tiempo”.
- Restricciones binarias, involucran dos eventos y un orden en las restricciones, como por ejemplo “Un profesor que dicta más de una materia no las puede impartir a la misma hora en el mismo día a diferentes comisiones”.
- Restricciones de capacidad, se dan usualmente por tamaño, como “la capacidad de alumnos que puede contener un aula”.
- Restricciones de separación de eventos, son aquellas que requieren que los eventos estén separados o siguen algún patrón en el tiempo. Por ejemplo, las políticas de la institución en lo que respecta a las asignaciones de horarios en patrones predefinidos o las condiciones de no tener horas intermedias vacías.
- Restricciones asociadas a los agentes, se imponen con el fin de promover preferencias, por ejemplo: “a un profesor le gusta enseñar después de las 19 hs.”

En optimización, la selección de movimientos y el criterio de parada se llevan adelante según uno, o más, indicadores de la calidad de los resultados hallados en el recorrido. La calidad se evalúa mediante una o varias funciones objetivo, de acuerdo a las restricciones del problema y los objetivos planteados teniendo en cuenta si hay que maximizar o minimizar dichas funciones. Los mecanismos que guiarán el recorrido son establecidos por la estrategia de búsqueda.

La búsqueda de una solución requiere una exploración organizada a través del espacio de búsqueda.

Las búsquedas son uno de los recursos más básicos e importantes dentro de las técnicas de programación. Normalmente, “resolver un problema” hace referencia a encontrar un conjunto de datos  $S$  a partir de una lista de datos inicial  $D$  que cumpla con ciertas características que se estipulan en el planteamiento de éste. Además, considera al espacio de búsqueda, como aquellos lugares en donde pueda encontrarse una solución, o bien, en términos de optimización se expresa como el dominio de la función a ser optimizada.

Es usual hacer otra categorización de las restricciones, la cual es la elegida en esta investigación. Consiste en dividir en tres tipos, las Básicas, las Adicionales y las de Preferencia; la primera se debe satisfacer para dar un calendario que sea viable. A su vez, se pueden identificar las restricciones Adicionales y de Preferencias como no Básicas, para evaluar la calidad de las soluciones:

- Restricciones Básicas, los algoritmos que sólo cumplan las restricciones básicas, tendrán soluciones factibles, por lo que definen un espacio de solución.

- Restricciones Adicionales, si se satisfacen estas restricciones mejoran la calidad de la solución, pueden ser o no satisfechas.
- Restricciones de Preferencias, al igual que las Adicionales pueden o no obedecer, los algoritmos que cumplan con las restricciones básicas, adicionales y también con las preferencias, arrojarán soluciones de calidad, donde las Adicionales y de Preferencia dan calidad a la solución, y no son obligatorias.

En general, el problema de asignación de los horario y de las aulas planteado por restricciones, debe encontrar una combinación de variables tal que todas las restricciones sean satisfechas, lo cual, lo convierte en un objetivo muy alto y su complejidad se torna aún superior. Por esta razón, su espacio de búsqueda está constituido por soluciones que violan algunas restricciones y se expresan como parte de la Función Objetivo, lo que permite una cierta flexibilidad en la asignación de un determinado número de eventos en una cantidad limitada de espacios de tiempo.

Los problemas usualmente se resuelven utilizando la lógica y fórmulas matemáticas, aunque pueden manifestar complejidad, o bien, se presentan con una elevada magnitud, por lo cual se ha de recurrir al uso de las computadoras. Esta dificultad se expresa principalmente en sus cálculos y la duración de los mismos, en algunas ocasiones el tiempo de resolución está limitado. Cuando los espacios de búsqueda son muy extensos, los métodos completos son incapaces de encontrar una solución en un tiempo aceptable, por lo que se opta utilizar las técnicas metaheurísticas.

El término metaheurística se introdujo por primera vez en Glover F. y Kochenberger G. [32]. Se lo define como "una estrategia maestra que guía y modifica otras heurísticas para producir soluciones más allá de las que normalmente son generadas en una búsqueda de optimalidad local".

Es necesario citar el concepto de algoritmo si se quiere encauzar el problema usando estos métodos. Un algoritmo es un procedimiento, paso a paso para conseguir un fin. A partir de un estado e información iniciales, se siguen una serie de pasos ordenados para llegar a la solución de una situación. Las instrucciones describen un cómputo (número finito de estados sucesivos bien definidos) que cuando se ejecuta, dan una salida y terminan con un estado final. La transición de un estado a otro no es necesariamente determinista<sup>10</sup>. Algunos algoritmos, conocidos como algoritmos aleatorios, incorporan aleatoriedad en el procesamiento. Los programas computacionales contienen sentencias que especifican las instrucciones que se deben llevar a cabo en un orden específico para realizar una tarea determinada.

Por sus características y propiedades los algoritmos se pueden diferenciar en: determinísticos y no determinísticos.

- Es determinístico si se conocen sus entradas, entonces el algoritmo, siempre producirá la misma salida, y la máquina interna pasará por la misma secuencia de estados.

---

<sup>10</sup> Es un algoritmo que es completamente predecible, es decir, las entradas determinan la salida.

- Es no determinístico si se introduce algo de aleatoriedad en el proceso de encontrar la solución, por lo que los resultados no necesariamente tienen que coincidir.

Si la clasificación se basa en la solución que produce, los algoritmos serían los siguientes:

- Exactos: son los algoritmos que entregan siempre una solución óptima; presentan la dificultad de tener un tiempo de procesamiento muy elevado, incluso cuando el conjunto de datos a procesar sea pequeño.
- Aproximados: Son los que producen una o varias soluciones que son cercanas a la óptima.
- Heurísticos: Son algoritmos que entregan soluciones sin ninguna garantía de ser óptimos, generalmente el tiempo de ejecución es mucho menor que los aproximados y los exactos. Adaptan comportamientos de la naturaleza para generar soluciones a problemas de optimización complejos, mediante procedimientos iterativos que guían una heurística subordinada, combinando de forma inteligente distintos conceptos para explorar y explotar adecuadamente el espacio de búsqueda, consiguen soluciones cercanas a la óptima.

Entre los algoritmos heurísticos [1, 27, 58] se suelen distinguir los siguientes tipos:

- Heurísticas Constructivas: este tipo de algoritmos trabajan con un conjunto de reglas (heurísticas) para generar una solución, habitualmente van tomando en cada paso ciertas decisiones sobre las características de la misma. Al considerar la información específica del problema, la calidad de los resultados mejora. Suelen ser muy rápidos.
- Heurísticas de Trayectoria: trabajan con una solución inicial (generada de manera aleatoria o con alguna heurística constructiva) y la van mejorando de manera iterativa, incorporan el concepto de vecindad al tener en cuenta aquellas resoluciones que se encuentran más cercanas.
- Heurísticas Poblacionales: mantienen un conjunto de soluciones (población) durante todo el proceso de optimización, incorporando diferentes tipos de operadores que actúan de manera iterativa sobre la población, con el fin de encontrar mejores resultados.

A estas técnicas se las puede aplicar en problemáticas de diferentes tipos sin mayores modificaciones, mostrando su robustez y su amplio espectro de uso. En el alcance de este trabajo se implementan las metaheurísticas que según su taxonomía se las distinguen como “de Trayectoria”; ya que se consideran adecuadas en cuanto a la resolución de conseguir el objetivo general y satisfacer las restricciones planteadas.

Dichas heurísticas adquieren las extensiones “inteligentes” de los métodos de búsqueda local. Son métodos de optimización en los cuales se mantiene una solución activa durante toda la búsqueda; en este proceso se realizan modificaciones o perturbaciones para alcanzar otros resultados, siendo habitual usar el concepto de vecindario. De esta manera, se construye un camino (o trayectoria), en el espacio de búsqueda con las soluciones que se van evaluando hasta encontrar los resultados de mejor calidad. El principal problema es que pueden fácilmente converger a una solución o una región, por más que se realicen ligeras perturbaciones no es

posible mejorarla. Con esta mirada, con el objetivo de evitar de alguna forma los mínimos locales y moverse a otras regiones prometedoras del espacio de búsqueda, se implementa la estrategia de Búsqueda con Vecindario Variable.

La Búsqueda Local es la metaheurística de Trayectoria más simple, en la cual se usa el concepto de vecindario. El procedimiento se inicia con una solución completa recorriendo parte del espacio de búsqueda hasta encontrar un óptimo local. El vecindario de una solución es el conjunto de soluciones que se pueden construir a partir de aquella aplicando un operador de modificación denominado movimiento. Estos métodos parten de una solución inicial, examinan su vecindario y eligen el mejor vecino continuando el proceso, de manera iterativa, hasta que encuentran un óptimo local. En función del operador de movimiento utilizado, el vecindario cambia y el modo de explorar el espacio de búsqueda también, pudiendo la búsqueda complicarse o simplificarse.

Glover F. y Kochenberger G. [32], la define como un procedimiento basado en la suposición de que es posible encontrar una secuencia de soluciones entre la solución inicial y la final, de modo que, cada una de ellas sea ligeramente diferente a la inmediatamente anterior. Corre con la ventaja de que, en poco tiempo, suele encontrar soluciones suficientemente buenas para un conjunto amplio de problemas. Este procedimiento puede ofrecer una medida de bondad de la solución encontrada, pero no garantiza que el resultado obtenido sea el óptimo global del problema. Para escapar o evitar los óptimos locales, se han propuesto diferentes métodos dentro de la misma clasificación de metaheurísticas de trayectoria, entre las principales se encuentran: Búsqueda Local Iterada; Recocido Simulado; Búsqueda Tabú; Búsqueda Local Guiada; Búsqueda por Vecindarios Variables -VNS.

Búsqueda Local Iterada. Una vez que se alcanza un óptimo local, el método dispone de una perturbación más grande, para lograr escapar de dichos óptimos. Esta perturbación presenta una dificultad a la hora de configurarla, ya que, si la perturbación es demasiado fuerte, simplemente se estarán explorando regiones al azar en el espacio de búsqueda, y difícilmente se logrará alcanzar las mejores soluciones, pues prácticamente no habrá intensificación. En cambio, si el valor es demasiado pequeño no podrá explorar diferentes zonas no alcanzadas, solamente intensificará la búsqueda en el mismo vecindario.

Recocido Simulado. En este método se permite elegir soluciones de una calidad inferior a la solución actual, con cierta probabilidad que estará determinada por un parámetro  $T$  el cual va cambiando durante la ejecución. La forma que se implementa es: se inicia, generalmente, con una alta probabilidad, la que empeora la solución con el fin de escapar de los óptimos locales, cuando la búsqueda concluye la probabilidad de optar una peor solución debería ser muy baja. Una de las principales dificultades de este método es el valor de dicho parámetro.

Búsqueda Tabú. Es un procedimiento metaheurístico cuya característica distintiva es el uso de memoria adaptativa y de estrategias especiales de resolución de problemas. Su filosofía se basa en la explotación de diversas estrategias inteligentes basadas en procedimientos de aprendizaje. El marco de memoria adaptativa exige la creación de estructuras para hacer posible la exploración. Para escapar de los óptimos locales, este algoritmo utiliza esa memoria cuya función es evitar volver a soluciones que ya han sido exploradas. El valor que se le da a la memoria juega un papel muy importante cuando se dirige la búsqueda; si el tamaño es pequeño, existe la dificultad de que no sea suficiente para escapar

de los óptimos locales y al final se termine ciclando la búsqueda; en cambio, si el tamaño es demasiado grande, podría ser demasiado restrictivo y dificultar el alcance de soluciones de buena calidad. Otro problema del método, es almacenar soluciones completas y compararlas en cada iteración puede ser muy costoso en memoria y tiempo de ejecución.

**Búsqueda Local Guiada.** De modo similar a la búsqueda Tabú, este método, también, utiliza una memoria, dicha memoria se utiliza para penalizar las características (atributos) que han aparecido de manera más frecuente en el proceso de búsqueda. La idea es forzar a explorar otras regiones del espacio para lograr escapar de los óptimos locales. La principal dificultad consiste en definir cuáles son los atributos que se deben penalizar de manera que sean útiles para realizar la exploración.

**Búsqueda por Vecindarios Variables.** Es una metaheurística que se puede utilizar para realizar una búsqueda local avanzada con mecanismos para escapar de óptimos locales, básicamente trabaja de la siguiente manera: parte de una solución inicial, intenta mejorarla visitando distintos vecindarios. Mediante la utilización de una búsqueda local explora, en cada vecindario, las posibles soluciones prometedoras, obteniendo un óptimo local en cada uno de ellos. Hansen P. y Mladenovic N. [36] considera tres observaciones realizadas por las que este método puede dar buenos resultados:

1. Un óptimo local con respecto a un vecindario no es necesariamente un óptimo local para otro vecindario.
2. Un óptimo global es un óptimo local con respecto a todos los posibles vecindarios.
3. Para muchos problemas, los óptimos locales, con respecto a uno o varios vecindarios están relativamente cerca unos de otros.

Esta última observación implica que un óptimo local a menudo ofrece algo de información sobre el óptimo global. Es interesante estudiar más en profundidad un óptimo local alcanzado para ver si se encuentra otro óptimo local cercano mejor.

Las búsquedas por vecindarios recorren el espacio de soluciones mediante una serie de movimientos o transformaciones. Dichas soluciones que se obtienen de otra mediante uno de los movimientos posibles se denominan vecinas de ésta y constituyen su vecindario, gráficamente se puede observar en la Figura 1. El conjunto de movimientos posibles da lugar a una relación de vecindad en el espacio de soluciones cuya elección es un aspecto trascendental en el éxito de los procesos de búsqueda. El vecindario de una solución está constituido por las soluciones a las que se puede acceder desde ella por uno de los movimientos posibles. Formalmente, un vecindario sobre un espacio o universo de búsqueda  $U$  es una función  $E: U \rightarrow \mathcal{P}(U)$  que asocia a cada solución  $x \in U$  un vecindario  $E(x) \subseteq U$  de soluciones vecinas a  $x$ , siendo  $\mathcal{P} = 2^U$ . (Pirlot M. [58])

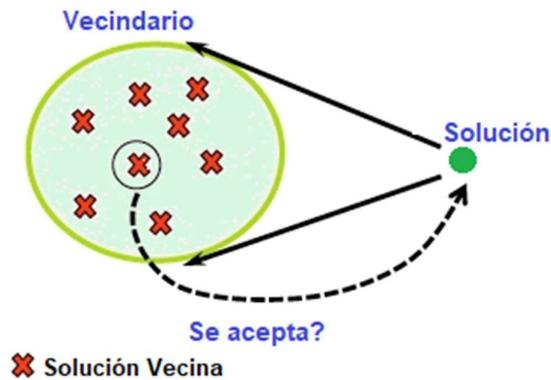


Figura 1: Representación del vecindario

En general, el procedimiento de búsqueda por vecindario consiste en una ligera variante de la búsqueda local detallada anteriormente: su forma algorítmica radica en tomar una solución inicial y, hasta que se cumpla el criterio de parada, seleccionar iterativamente un movimiento para modificar dicha solución. Los resultados son evaluados mientras se recorren y se propone la mejor solución encontrada del problema. Una característica muy interesante de VNS, es que éste requiere ajustar pocos parámetros, y produce soluciones de buena calidad. Las decisiones que exige elegir esta Metaheurística es: número de vecindarios que se van a utilizar, cuáles serán dichos vecindarios y en qué orden habrá que explorarlos. El inconveniente de este algoritmo es que también se quedará atascado en un óptimo local (aunque tenga que ser un óptimo local para todos los vecindarios considerados), aunque se podría resolver combinando este método con otro, por ejemplo, con alguna estrategia que permita elegir movimientos que empeoren a la solución actual, Hansen P. y Mladenovic N. [36]; González Fernández M. [34].

En la descripción de las diferentes metaheurísticas se ha expresado que los óptimos locales resultan ser una dificultad común ya que dan la impresión de haber encontrado el óptimo global. Atento a eso, dichas técnicas realizan un balance entre la exploración y la intensificación en el espacio de búsqueda, Melián B. et al. [49], y proporcionan muy buenas soluciones (no necesariamente la óptima pero sí aproximada) tanto en tiempo como con recursos razonables.

La exploración es también conocida como diversificación, tiene como objetivo encontrar zonas prometedoras en el espacio de búsqueda, es decir, donde se encuentran las soluciones de buena calidad. Se refiere a la capacidad del método para explorar las diferentes regiones de búsqueda con el fin de encontrar el lugar en la que se encuentra la solución del problema.

La intensificación o la explotación, consiste en realizar una búsqueda más exhaustiva en una zona específica del espacio de búsqueda. Habitualmente se intensifica en regiones promisorias que se encontraron mediante exploración. Se toma el mejor resultado entre el número o la proporción de soluciones vecinas a partir de la solución actual.

No siempre son aisladas ni únicas en el proceso de búsqueda, es común combinarlas. Existe un amplio consenso en que estas dos características deben modularse adecuadamente para conseguir el éxito práctico en sus técnicas y lograr un equilibrio entre ellas. Por ello, cada metaheurística utiliza una estrategia distinta para explorar la región, balanceando en forma

estática o dinámicamente el aprovechamiento de la experiencia acumulada de búsqueda (intensificación) y la exploración del lugar de búsqueda (diversificación).

Existen muchos resultados posibles para el mismo problema, por lo que es fundamental aplicar un proceso de resolución que conduzca a encontrar la mejor solución, o aquella que mejor se adapte a las necesidades de la situación específica. La esencia de los problemas varía con el ámbito o con el contexto donde están planteados.

La teoría de la complejidad computacional, a grandes rasgos, se encarga de clasificar los problemas que pueden, o no pueden ser resueltos con una cantidad determinada de recursos (tiempo y memoria), es decir, por una computadora. Pero la tarea de encontrar un algoritmo que resuelva con pocos recursos un problema, no es lo que realmente importa; el inconveniente es saber si existe una solución o no a esta problemática presentada y qué tan compleja resultará su solución.

La Ciencia de la Computación, entre otras cosas, trata cada vez más, de resolver problemas que son difíciles; o que generalmente, no tienen solución algorítmica conocida; o bien, es tan compleja que no tiene una implementación práctica computacional, mediante las técnicas computacionales. Involucra: el estudio de problemas, la solución de problemas y las soluciones que resultan del proceso de solución de problemas.

Cuando se determina que un problema puede ser resuelto con un cierto número de recursos y además, se dispone de un algoritmo que funciona de manera idónea, es necesario definir los criterios que permitan medir su rendimiento o comportamiento; para ello se debe considerar la simplicidad del algoritmo y su uso eficiente de los recursos, el cual se establece en función de dos indicadores: espacio y tiempo; según Santamaría Arana L. y Rabasa Dolado A. [66], un programa es eficiente si su costo es mínimo en cuanto a:

- El costo espacial (espacio), es la medida de la cantidad de memoria necesaria para ejecutarlo hasta su término.
- El costo temporal (tiempo), es una medida del tiempo empleado por el programa para ejecutarse y dar resultado a partir de los datos de entrada, y que considera una aproximación al número de pasos de ejecución que el algoritmo emplea para resolver un problema.

De esta manera, se puede determinar el rendimiento de un programa mediante la medición de dos variables: la memoria ocupada y el tiempo de ejecución. Cuando un cálculo necesita más tiempo que otro se dice que es más complejo, y se le llama a esto complejidad temporal; si requiere más espacio que otro es complejidad espacial, Joyanes Aguilar L. y Zahonero Martínez I. [41].

La eficiencia de la memoria o complejidad espacial de un algoritmo muestra la cantidad de memoria que ocupan todas las variables utilizadas por éste, es decir, la suma del almacenamiento necesario para ejecutarlo, que está constituida por la memoria estática y la memoria dinámica. Para el cálculo de la memoria estática solo hay que sumar la memoria ocupada por cada una de las variables declaradas en el algoritmo. El cálculo de la memoria dinámica depende de la ejecución del algoritmo y puede ser liberada, se modifica de forma permanente; concretamente, es un espacio de almacenamiento que se solicita en el tiempo de

ejecución. La complejidad en función de la memoria utilizada radica en el consumo del espacio de esta en la computadora. Un problema con costo espacial elevado gastará una cantidad de memoria con incremento exponencial conforme el problema aumente en tamaño, pues, el número de variables a utilizar también aumentará. Esto en algún momento causaría que el algoritmo no se realice correctamente por falta de memoria en la computadora.

Mientras que, la complejidad temporal de un algoritmo computacional se evalúa generando una función, llamada función temporal, la cual define el número de instrucciones ejecutadas por el programa cuando se resuelve un problema. De este número de instrucciones se puede obtener el tiempo aproximado si se conoce el tiempo que el equipo de cómputo en uso tarda en ejecutar una instrucción. De esa manera se puede representar el número de unidades de tiempo requeridas para que un programa o algoritmo de cualquier entrada de datos de tamaño  $n$  produzca un resultado. El tiempo de ejecución de un algoritmo depende del número de datos de entrada  $n$  del problema y de la velocidad que el equipo de cómputo posea.

Es importante entender la eficiencia de ejecución de los algoritmos que se usan, de acuerdo a cómo aumenta el número de pasos conforme crece el tamaño de su entrada.

En ciencias de la computación a menudo se clasifican los tiempos de ejecución en dos tipos:

- Tiempo polinomial<sup>11</sup> describe cualquier tiempo de ejecución que no crece más rápido que  $n^k$ , lo que incluye tiempo constante ( $n^0$ ), tiempo logarítmico ( $\log_2 n$ ) tiempo lineal ( $n^1$ ), tiempo cuadrático ( $n^2$ ), y otros polinomios de orden superior (como  $n^3$ ).
- Tiempo superpolinomial describe cualquier tiempo de ejecución que crece más rápido que  $n^k$ , e incluye tiempo exponencial ( $2^n$ ), tiempo factorial ( $n!$ ), y cualquiera más rápido.

Como ya se expresó, la teoría de la complejidad estudia la manera de clasificar problemas de acuerdo con la dificultad propia para resolverlos, basándose en los recursos necesarios y requeridos para establecer su grado de complejidad. Uno de los impedimentos es conocer si existe un resultado o no a dicha problemática, y consecuentemente, el nivel de complejidad que resultará al momento de obtener la solución. Se hace oportuno arribar a dos conceptos:

Complejidad Algorítmica: especifica cómo conocer qué tan bueno es un algoritmo y qué tan "rápidos" puede ser; para saber esto se debe determinar cómo crece el consumo de los recursos a medida que aumenta el tamaño del problema, básicamente está orientado a la complejidad de la solución. Dean W. [23].

Complejidad Computacional, se refiere al estudio de la complejidad propia del problema. Garey M. y Johnson D. [31], definen algunas de las clases de complejidad computacional, las

---

<sup>11</sup> En computación se dice que un problema se puede resolver en un "Tiempo polinómico", cuando el tiempo de ejecución de un algoritmo (mediante el cual se obtiene una solución al problema) es menor que un cierto valor calculado a partir del número de variables implicadas - generalmente variables de entrada- usando una fórmula polinómica.

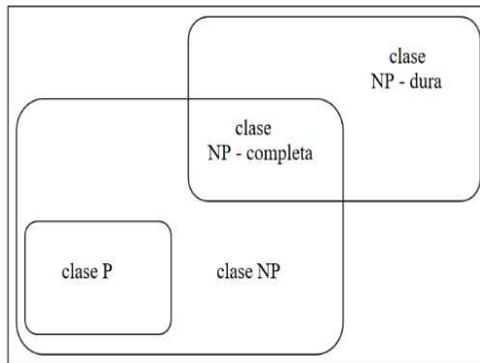
cuales se utilizan para agrupar los problemas de acuerdo con su “dificultad”, gráficamente se muestra en la Figura 2 y se describen a continuación:

- Clase P: dado un problema, se dice que pertenece a la clase de complejidad P si existe al menos un algoritmo que resuelve de manera óptima cualquier instancia del problema en tiempo polinomial.
- Clase NP: dado un problema, un algoritmo pertenece a la clase de complejidad NP si existe un algoritmo no determinista que encuentra una solución a problemas en tiempo polinomial. Su principal característica es que los algoritmos conocidos que solucionan de manera exacta el problema son exponenciales o factoriales, pero la verificación de una solución cuando ésta es válida se puede hacer en tiempo polinomial.
- Clase NP-completo: un problema es NP-completo si cualquier problema en clase NP se puede reducir a él en tiempo polinomial. Esta clase de problemas es muy importante porque de encontrarse un algoritmo polinomial para un problema NP-completo se demostraría que  $NP = P$ . Estos problemas NP son aquellos cuya solución no ha sido dada de manera exacta por medio de algoritmos deterministas<sup>12</sup> en tiempo polinomial. En su lugar, se tratan de resolver por algoritmos no deterministas acotados en tiempo polinomial, cuya solución deseable es de complejidad polinomial. Esta clase de algoritmos se conoce como heurísticas computacionales.
- Clase NP-duro: determina un conjunto de problemas de decisión que contiene los problemas D tales que todo problema C en NP puede ser transformado polinomialmente en D. Esta clase puede ser descrita como aquella que contiene a los problemas de decisión que son como mínimo tan difíciles como un problema de NP. Si se puede encontrar un algoritmo A que resuelve uno de los problemas D de NP-duro en tiempo polinómico, entonces es posible construir un algoritmo que trabaje en tiempo polinómico para cualquier problema de NP ejecutando primero la reducción de este problema en D y luego ejecutando el algoritmo A.

Entre las clases NP-completo y NP-duro se puede diferenciar que un problema puede ser NP-duro, sin pertenecer a la clase NP. En la siguiente Figura 2 se puede ver su clasificación.

---

<sup>12</sup> Es un algoritmo que está puramente determinado por sus entradas, donde no hay aleatoriedad involucrada en el modelo, es decir, si se conocen las entradas del algoritmo siempre producirá la misma salida, y la máquina interna pasará por la misma secuencia de estados.



Fuente: Weber, R. Mathematics for operational research. UK, 2000. p. 21.

*Figura 2: Problemas de Complejidad*

El impacto de esta teoría en la investigación computacional es significativo porque permite determinar el grado de complejidad de un problema para ser resuelto, así como saber si se puede encontrar un algoritmo eficiente para el problema, o bien, tratarlo por el camino de las heurísticas. De acuerdo con la teoría de la complejidad, si el problema se puede clasificar como P, entonces se podría hacer uso, encontrar o desarrollar algoritmos eficientes que comprueben si obtienen la mejor solución para dicho problema. En caso de que el problema estuviera clasificado como NP o NP-completo, entonces se perdería el tiempo tratando de encontrar algoritmos eficientes. En lugar de eso, el camino más adecuado es trabajar con heurísticas computacionales, por lo que solo quedaría tratar de proponer nuevas heurísticas de baja complejidad. En el ámbito internacional, enfocado al estudio de la complejidad computacional, se destaca Christos H. Papadimitriou, en Grecia; Kenneth Steiglitz (Papadimitriou C. y Steiglitz K. [54]) en Estados Unidos, entre otros.

## 2.2. Antecedentes históricos

En la sección anterior, se ha abordado cómo el hombre iba resolviendo problemas de optimización de acuerdo a los obstáculos que se le presentaban y a su vez, a la meta que perseguía. Por ejemplo, se busca el mejor camino para ir de un lugar a otro –no necesariamente el más corto–, se intenta hacer la mejor elección al hacer una compra, se busca la mejor ubicación cuando se va a un cine o a un teatro, se escoge al mejor candidato (o al menos malo) en una elección. Sin dudas, en ninguno de estos casos se emplea la matemática formalizada para encontrar lo que se propone, se vale de los criterios que dan la experiencia y la intuición, aunque no necesariamente se alcanza la solución óptima.

El primero de los trabajos dentro de la optimización a gran escala es el problema de programación lineal: método simplex, de George B. Dantzig (Dantzig G. [22]). Este modelo se mantuvo en secreto hasta 1947. Se remonta su origen en la Segunda Guerra Mundial, se lo empleaba como herramienta para organizar la entrega de provisiones, víveres y armamentos,

a fin de reducir los costos al ejército y aumentar las pérdidas del enemigo. En la posguerra, muchas industrias lo usaron en su planificación diaria, y a partir de entonces, se han desarrollado algoritmos que permiten resolver de forma descentralizada esos problemas.

La planificación, como actividad reconocible, es un producto del siglo XX. Su área de competencia genética fue la económica, luego se abrió camino hacia todos los demás sectores. Estas circunstancias no fueron insignificantes, pues, han tenido influencias en los diversos modelos que aún siguen vigentes.

Algunos científicos, tales como Jackson J. [40], Garey, M y Johnson S. [31] y Friedman J. [30] abordaron el problema del Job Shop Scheduling (problema de planificación de tareas), el cual, ha sido objeto de estudio de muchos autores más, dejando diversos modelos matemáticos y enfoques aproximados. Como efecto de su naturaleza combinatoria, se han podido encontrar soluciones óptimas solo para instancias pequeñas o simples dentro de los métodos exactos que resuelven modelos matemáticos.

Desde sus orígenes, la inteligencia artificial aportó grandes caminos, aunque con muchas limitaciones si se consideran las computadoras y las herramientas de programación de aquella época. Algunos avances realizados en los últimos sesenta (60) años que aún están vigentes en trabajos de investigación: algoritmos de búsqueda, algoritmos de aprendizaje de máquina y la integración del análisis estadístico para comprender el mundo en general. La primera década de investigación se abocó al desarrollo de mecanismos de búsqueda de propósito general, en lo particular, en sistemas basados en conocimiento, que aprovechaban una determinada información del dominio para facilitar la resolución de problemas. Esto permitía afirmar que “el conocimiento específico del dominio del problema garantiza en la práctica saber de antemano la correspondiente respuesta.” Russell S. y Norvig P. [64].

Cuando el problema de calendarización se inició de un contexto educativo, tales como colegios y universidades, se lo denomina "Educational Timetabling Problem", siendo Hernández R. et al. [37] uno de los pioneros en el tema y hace referencia a éste como: el problema de optimización o de gran complejidad, destinado a la programación horaria que consiste en la asignación de ciertos eventos a distintos bloques horarios que respetan una serie de requerimientos y condiciones.

Mientras que Schaerf A. [67], realiza una especificación denominada “University Course Timetabling”, la cual se incluye en la programación horaria en los establecimientos educacionales en general; ya que, considera que al término Timetabling se lo puede aplicar en el mundo real desde diferentes formas tal como: programación de vuelos de aviones, horarios en transportes, programación de competencias deportivas, distribución horaria del personal de un hospital, ordenamiento de las tareas y máquinas en un taller.

Posteriormente se han desarrollado nuevas ideas que facilitan la optimización de estos problemas, debido a la gran demanda de instituciones que intentan programar sus horarios de forma automatizada. No obstante, las particularidades de cada institución hacen que dicha automatización no encuentre una solución universal.

La planificación de horarios ha sido ampliamente estudiada en el ámbito académico. Se le dio solución usando modelos de optimización tanto en la programación entera como en

heurísticas y metaheurísticas como grafos, Simulated Annealing Abramson D. [3], Algoritmos Genéticos Beligiannis G. et al. [11] programación con restricciones Valouxis C. y Housos E. [72], algoritmos de búsqueda local Avella P. et al. [7], Tabú Search, Lü Z. y Hao J. [47], entre otros métodos. Dentro de la literatura, la evaluación de las soluciones (Fitness) o Función Objetivo puede ser: por un lado, la suma de las violaciones a las restricciones, blandas y duras, Valouxis C. y Housos E. [72] y por el otro, la suma ponderada de las mismas violaciones a las restricciones, Wright M. [76], también está Zhipeng L. y Jin Kao H. [79].

Álvarez Valdés R. et al. [5] desarrolló un algoritmo que se basa en la Metaheurística de Tabu Search, sus pruebas se usaron para resolver el Timetabling de una universidad de Valencia mediante algoritmo Búsqueda Tabú adaptado al modelo matemático para dicha Institución. Consta de tres etapas: la primera construye una asignación inicial tomando una a una las clases secuencialmente y de acuerdo a la prioridad del usuario; la segunda, mejora la asignación de la etapa 1 (con cincuenta y dos (52) diferentes combinaciones de estrategias). Y la última etapa, hace una mejora solo en la asignación de las aulas, lo demás queda como predefinido.

En Colombia, en la Universidad del Norte Barranquilla y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Guajira, se presentó el trabajo de planificación de los horarios de clases universitarias y de las aulas mediante la técnica metaheurística de algoritmos evolutivos, obteniendo soluciones muy buenas dentro del margen de error relativo y en un tiempo computacional muy satisfactorio. Sus autores: Mejía Caballero M. y Paternina Arboleda C. [48], establecen, además, un modelo matemático donde se describen los recursos necesarios a utilizar.

Zhang D. et al. [78], determina un algoritmo basado en la metaheurística Simulated Annealing aplicado para un problema de colegio (high school) con una alteración en la estructura de búsqueda en el vecindario. Dicho algoritmo realizaba una búsqueda local más extensa que lo normal, además de cambiar la estructura de búsqueda, los resultados fueron exitosos y bien evaluados, pero con aumentos de tiempos muy significativos, aun así, el algoritmo seguía siendo efectivo.

En 2012, Sabar N. et al. [65] crea el primer algoritmo que resuelve problemas del tipo Timetabling usando la metaheurística “colonia de abejas”. Con él demuestra la facilidad de resolución de problemas con dicha heurística; incorpora una serie de modificaciones para Recocido Simulado - Simulated Annealing - normal, tal como el uso de cruzamiento en los pasos y el uso de búsqueda en el espacio de solución en base a la función de Annealing, entre otros. Los resultados fueron deseables en términos de tiempos computacionales.

En 2013, se desarrolló un algoritmo heurístico basado en operadores evolutivos, mediante un algoritmo memético que contiene los operadores de carácter genético, la pruebas se realizaron en universidades de Irán, obteniendo resultados deseados, tanto para las instancias medianas como grandes (reales), con un total de 2000 generaciones de conjuntos de soluciones del problema de horario, Qaurooni D. y Akbarzadeh T. [60].

Desde un criterio de recopilación de métodos que dan respuesta al problema de planificación de los horarios y de las aulas se cita a la profesora Pillay N. [57] quien ha

investigado en este tema, en Nature Inspired Computing Optimisation Group, pública en 2014 la siguiente Tabla 1:

Método	Cantidad
Bee algorithms	1
Constraint programming	2
Constraint satisfaction methods	2
Cyclic transfers	1
Evolucionary algorithms	23
GRASP	1
Integer programming	7
Neural networks	1
Simulated annealing	4
Tabu Search	8
Threshold accepting	1
Tiling algorithms	3
Walk down Jump up algorithm	1
Híbrido approaches	20
Comparative studies	4
Distributed methods	2

Tabla 1: Fuente: Investigación Pillay, 2014 Estudios de Timetable Problem

Rossi Doria O. et al. [62], realizó en 2015 una investigación denominada “A local search for the Timetabling problem”, publicada por la Red Metaheurística Europea. Este trabajo permite hacer un análisis justo y significativo del rendimiento relativo de dos métodos usados en el problema de programación de cursos universitarios. El primer método define la representación, el vecindario y la búsqueda local parametrizada, resulta ser muy lenta y a su vez, en dos de los vecindarios no se experimentó mejora. La otra técnica de computación memética diseñada para tal problema, implementa un algoritmo de búsqueda de armonía híbrida (método metaheurístico basado en la población), el cual obtuvo una solución óptima para el conjunto de datos pequeño con resultados comparables para la lista de datos medianos, mientras que, para los conjuntos grandes y complejos, el método propuesto logró los mejores resultados.

Blaz Aristo S. [14], en 2016, presenta el trabajo que tiene como propósito implementar un sistema inteligente de generación de horarios basado en algoritmos genéticos, el cual fue adaptado para poder cumplir con los requisitos específicos impuestos por cada Facultad de las diferentes Universidades del Perú y así satisfacer a los usuarios involucrados.

En el año 2018, Song T. et al. [69], en su trabajo “An iterated local search algorithm for the University Course Timetabling Problem” propone un algoritmo de búsqueda local iterado para encontrar la solución factible al Problema de Horarios de Cursos Universitarios. Involucra tres fases: inicialización, intensificación y diversificación. Luego de construir un cronograma inicial parcialmente factible, se lleva a cabo una búsqueda local basada en el Recocido Simulado y un procedimiento de diversificación que produce una perturbación moderada. Los resultados computacionales logran soluciones altamente competitivas en comparación con los algoritmos existentes.

En su tesis, Zelada Cabezudo H. [77], plantea el algoritmo genético para la elaboración del horario de exámenes en universidades, para ello toma como referencia la Universidad San Ignacio de Loyola en Perú, arrojando como resultado valores aceptables, tanto en tiempos computacionales como en generación de horarios.

Posteriormente en 2020, Gülcü A. [35], en su investigación: “Problemas de asignación de horarios de clases robustos de cursos universitarios sujeto a interrupciones únicas y múltiples”, plantea maximizar la utilización de los calendarios de cursos universitarios, mediante el uso de los algoritmos de Recocido Simulado de objetivos múltiples como lo son: MOSA, MOSA-SD y MOSA-AAA, aplicado a problemas con interrupciones únicas y múltiples, respectivamente; con una única variable, que es la estimación de la robustez de una solución dentro del algoritmo MOSA. Su resultado demuestra un nuevo enfoque para la aproximación promedio de la muestra para manejar la re-optimización de los calendarios de clase una vez que hayan cumplido su ciclo.

Y en el mismo año, Cobo Vargas D. y Osorio Arcila J. [19], en su trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial de la Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Zarzal Colombia presentan la “Propuesta de Planificación de Horarios y Asignación de Salones de Clase en una Institución de Educación Superior”, proponen un modelo que contribuya al proceso de toma de decisiones en la planificación de horarios y asignación de salones de clase en educación superior, el cual se ajuste a las necesidades de dicha institución, realizaron un diagnóstico de la situación actual a través encuestas a docentes y coordinadores, entrevistas a la Secretaría Académica y análisis de los documentos históricos de la Universidad. Implementaron el software comercial Gurobi Optimizer disponible en la plataforma de NEOS Server. Los resultados obtenidos en el primer proceso de calendarización se convirtieron en entradas del siguiente programa a calendarizar, lo que dejó una estrategia de calendarización multietapa. El tiempo de corrida aumentó en la medida que se incrementaron los recursos a calendarizar.

En 2022, Zhipeng L. y Jin Kao H. [79] plantea el problema de la programación de cursos basada en el plan de estudio de las carreras; su objetivo es minimizar las violaciones de las restricciones blandas e implementan un algoritmo híbrido (Adaptive Tabu Search–ATS), en el cual intensifica con Búsqueda Tabú y la fase de diversificación lo realiza con el Operador de perturbación de Búsqueda Local Iterada, de esta forma propone un equilibrio continuo entre intensificación y diversificación - ambas técnicas son basadas en Trayectoria -. Se evalúa en dos conjuntos de once (11) instancias públicas de la literatura científica.

## **2.3. Fundamentos teóricos**

Se revisan las investigaciones y modelos teóricos actuales que explican la problemática en que se encuentran inmersas las variables de estudio. Se identifican los autores más relevantes, sus teorías, su producción, relacionada directamente con el problema de investigación y sus manifestaciones.

Los enfoques para el Timetabling de la Universidad son planteados por varios autores basándose en diferentes conjuntos de datos y con distintas variaciones en el desempeño de cada algoritmo. La magnitud de los datos de entrada es dependiente de cada institución.

En 2017, Moreno P. y Sánchez J. [52], publican: “Revisión de algoritmos de búsqueda aplicadas al problema de creación de Horarios de exámenes”, donde las asignaturas deben plasmarse en una franja horaria (día y hora) y se debe atender las restricciones que mejoren la calidad del horario, atendiendo a uso de equipos, disponibilidad del profesor o vigilantes para el cuidado de los exámenes, las aulas con capacidad suficiente, etc. Su objetivo es “realizar una revisión con los distintos algoritmos de resolución del problema de generación de horarios de exámenes”.

Faillace Mullen N. [28], en su investigación de 2018, plantea un modelo por el cual se buscaba maximizar la cantidad de bloques que forman las materias, sin considerar muchas otras de las restricciones blandas como, por ejemplo, las horas inactivas de los docentes o la cantidad de pre horas del turno tarde. Lo resolvió utilizando una Búsqueda Local mediante una función de penalidad (lineal), representando mejor a los criterios de la elaboración de horarios. Los resultados arrojados dejan tiempos computacionales razonablemente aceptables y permiten prioridades que son establecidas por los directivos. De este trabajo se toma la idea de la función de penalidad y la implementación del método de Búsqueda Local.

Por medio de las distintas técnicas de algoritmo que existen para la resolución del problema sobre creación de horarios, se muestran las ventajas y desventajas de las mismas, destacando los Algoritmos Genéticos (AG) y el algoritmo de Búsqueda Tabú (Tabu Search) como los más utilizados; seguido de ello, se encuentran las técnicas Hill-Climbing y Recocido Simulado, como alternativas. Se toma como antecedente por una franja horaria (día y hora), atendiendo las restricciones que mejoren la calidad del horario, las aulas con capacidad suficiente, etc.

Trabajo final de la carrera de grado de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, realizado por Antúnez M. [6] bajo el título “Sistema para optimizar asignación de las aulas UNICEN”. Implementa los Algoritmos Genéticos para demostrar ser una herramienta muy eficiente arrojando resultados sobre casos reales de ejecuciones de los mismos. De este autor se identificó la representación o esquema de representación a fin de poder apoyar el esquema de este trabajo.

“Heuristic approaches for university timetabling problems” es el trabajo de investigación presentado por Abdullah S. [2], cuyo objetivo planteado es construir sobre el estado del arte en metodologías de búsqueda de horarios universitarios, introduce varias ideas para aumentar el rendimiento general de los algoritmos de planificación de horarios. En primer lugar, la Búsqueda de Vecindario Variable a gran escala, luego, en algoritmos teóricos de gráficos implementados en un Gráfico de Mejora. Inmediatamente, explora un método de hibridación que incorpora el enfoque de Vecindario a gran escala con Búsqueda Tabú. Los resultados computacionales informados son basados en instancias estándares de referencia universitaria para demostrar la efectividad de los enfoques de esta investigación, por ello se puede decir, que la Búsqueda de Vecindarios arroja soluciones de mejor calidad y el tiempo de cálculo requerido es más alto (tomando como referente la Búsqueda de Vecindario Variable, su enfoque y comportamiento).

El trabajo de Naderi B. [53] presentado en 2016, estudió el problema de la programación de cursos universitarios. El objetivo era programar cursos para maximizar la preferencia total de profesor-curso, profesor-día y curso-día. Se construyó el modelo matemático del problema y se lo limitó a una programación lineal entera y capaz de resolver problemas de hasta seis (6) cursos y quince (15) profesores - instancias muy pequeñas-. Luego, se diseñaron tres metaheurísticas avanzadas para resolver los problemas de gran tamaño. Los algoritmos se basan en el Algoritmo Competitivo Imperialista, Recocido Simulado y Búsqueda de Vecindad Variable, empleando procedimientos novedosos como el esquema de codificación y el operador de movimiento. Primero se ajustaron los algoritmos y luego se evaluaron comparándolos con las soluciones óptimas obtenidas por el modelo. Los resultados muestran que el Algoritmo Competitivo Imperialista propuesto supera a los otros algoritmos. De esta investigación se determinó el modelo matemático.

# Capítulo 3

## Timetabling de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay

En este apartado se especifica el esquema de la solución, es decir, la forma o representación que va a tomar la solución algorítmicamente, después, se presenta la Función Objetivo y con ella la calidad de la solución, seguidamente se determinan los tiempos computacionales, por último, las restricciones básicas (obligatorias), definidas como aquellas reglas que debe cumplir dicha solución para que sea factible, a partir del problema planteado en el Capítulo 1.

### 3.1. Esquema de la solución

Para poder definir el espacio de búsqueda, es necesario conocer el esquema de la solución, es decir, ¿Cuál es la solución que se requiere? ¿Qué esquema tiene? ¿Cómo se puede representar?. La principal idea se tomó de la investigación de Antúnez M. [6], la cual fue adaptada y mejorada para este trabajo.

Se considera a una solución como la planificación de una semana tipo, en la cual se involucran todos los eventos académicos divididos por los días y horas en que se efectuarán - todo evento tiene una hora inicial y una hora final-. De este modo, un evento estará definido, por un ID, horario de comienzo de actividad, horario de fin y un aula, carrera, año/carrera, materia, legajo1, legajo2, legajo3, comisión como se muestra en la Figura 3:

EVENTO
ID: 4
hora_ini: 1
hora_fin: 6
aula: 4
carrera: "K"
año_carrera: 1
materia: 'K951C'
legajo1: "58432"
legajo2: "78591"
legajo3: "0"
comisión: 37410

Figura 3: Representación de un evento.

Se detalla cada campo de un evento particular, tipo de campo, si puede o no presentar nulos:

ID: es un número entero único el cual simboliza un evento determinado, este campo no debe ser nulo.

hora\_ini: es un número entero asociado a una hora inicial, este campo no debe ser nulo.

hora\_fin: es un número entero asociado a una hora final, este campo no debe ser nulo.

aula: es un número entero asociado a un salón determinado (es no nulo).

carrera: es un caracter<sup>13</sup> que simboliza una determinada carrera.

año\_carrera: es un número entero asociado a un año de la carrera asignada, este campo no debe ser nulo.

materia: es un conjunto de caracteres que simboliza una determinada materia para identificarla, donde el primer caracter es la carrera, luego se representa el plan que rige la carrera, y la codificación que le corresponde a la materia que se representa, este campo no debe ser nulo.

legajo1: es un conjunto de caracteres que representa un determinado docente, el cual es responsable para dictar la materia en la comisión incorporada. El docente puede ser Titular, Adjunto o Asociado y este campo no debe ser nulo.

legajo2: es un conjunto de caracteres que representa un determinado docente, el cual es auxiliar para la materia en la comisión incorporada. El docente puede ser JTP o Ayudante de Primera, este campo puede ser nulo.

legajo3: es un conjunto de caracteres que representa un determinado docente, el cual es auxiliar para la materia en la comisión incorporada. El docente puede ser Ayudante de Primera o Ayudante de Segunda, este campo puede ser nulo.

comisión: es un número entero asociado a una determinada comisión, este campo no debe ser nulo.

La forma de la solución elegida, es una representación directa, la cual consiste en una lista ordenada de longitud  $v$ , donde las posiciones corresponden a los eventos (siendo un evento  $e$ ,  $e = 1, \dots, v$ ); dicho evento se asigna en un intervalo de tiempo dentro de un día de la semana. Cada intervalo se compone por dos números enteros que pueden tomar los valores entre cero (0) y ocho (8), el primer número es el extremo inferior  $e$  indica la hora\_inicial, mientras que el otro, es el extremo superior que revela la hora\_final. Para alcanzar esta forma, no deben

<sup>13</sup> Es la mínima expresión de un registro y se puede componer de una letra del abecedario o de un número en particular.

existir dos o más eventos en el mismo periodo de tiempo para un día determinado: que ocupen la misma aula; y/o que dicten clase los mismos docentes; y/o que dicha clase corresponda al mismo año/carrera. Ver la Figura 4:

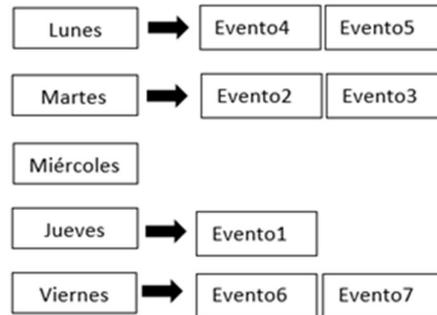


Figura 4: Representación de la colección semanal.

Cada ID identifica un número entero que representa en forma única a un evento. Estos datos forman parte de una planificación semanal, cada planificación será dispuesta sobre un arreglo unidimensional de tamaño  $S \times D_s \times L$ , donde S es la cantidad de slots de tiempos en los que se miden los eventos,  $D_s$  es la cantidad de días por semana en los que hay eventos y L es la cantidad de aulas que se disponen:

- S=8 (slots de cuarenta y cinco (45) minutos).
- $D_s=5$  (de lunes a viernes).
- L=43 (aulas cargadas en el sistema áulico).

Cada elemento del arreglo será un cero (0) en caso que no haya ningún evento asignado a la hora, el día, en el aula correspondiente, y un número entero referente al ID del evento que se llevará cabo en el horario del aula que le corresponde a la posición dentro del arreglo.

Para dar detalles y una mejor lectura, se entrega un evento a modo de ejemplo con la siguiente forma:

Evento4 → (4, 1, 6, 4 'K', 1, 'K951C', '58432', '78591', 0, 37410)

Sus datos simbolizan Evento4 que está ligado al día lunes, ID del evento es cuatro (4), la hora fijada está dada por hora\_ini: uno (1) corresponde a 17:30 hs. y hora\_fin: seis (6) equivale decir 22:15 hs., se continúa con el aula asignada en el valor cuatro (4), vale por aula treinta y un (31). Luego sigue, 'K' representa la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, siguiendo uno (1) que simboliza año\_carrera, dado por los alumnos de primer año de dicha carrera que tomarán la materia que se representa con 'K951C' y corresponde a Matemática Discreta, en seguida, los legajos de los docentes, primero 58432 se vincula con el docente adjunto cuyo legajo se identifica como legajo1, después, se identifica el legajo2: 78591 como Ayudante 1<sup>ra</sup>, seguidamente cero (0) el cual simboliza que el segundo ayudante no está incluido en la comisión, por último la comisión identificada con el número 37410.

Extendiendo el ejemplo se instancia una parte de la solución, desde la siguiente secuencia aleatoria de días: 4 (jueves), 2 (martes), 1 (lunes), 5 (viernes) y 3 (miércoles); y de la secuencia de carreras K (I.S.I), O (I. C.), 2 (LOI), X (I. E.), de la cual se mostrará la lista de eventos recortada para la carrera K, para Primer año de la carrera, del primer cuatrimestre, turno  $t_s$ =Tarde/Noche.

Evento1→ (1, 1, 8, 11, 'K', 1, 'K9513', '43860', '86364', 0, 37408)  
 Evento2→ (2, 1, 2, 11, 'K', 1, 'K9513', '43860', '86364', 0, 37408)  
 Evento3→ (3, 3, 8, 35, 'K', 1, 'K951D', '83015', '75541', 0, 37412)  
 Evento4→ (4, 1, 6, 4 'K', 1, 'K951C', '58432', '78591', 0, 37410)  
 Evento5→ (5, 7, 8, 38, 'K', 1, 'K95J1', '38413', '27395', 0, 37413)  
 Evento6→ (6, 1, 4, 38, 'K', 1, 'K95J1', '38413', '27395', 0, 37413)  
 Evento7→ (7, 5, 7, 5, 'K', 1, 'K95J1', '50161', '46351', 0, 37451)

Lista lunes, formada por Evento4, Evento5

Evento4→ (4, 1, 6, 4 'K', 1, 'K951C', '58432', '78591', 0, 37410)  
 Evento5→ (5, 7, 8, 38, 'K', 1, 'K95J1', '38413', '27395', 0, 37413)

Lista martes contiene Evento2, Evento3

Evento2→ (2, 1, 2, 11, 'K', 1, 'K9513', '43860', '86364', 0, 37408)  
 Evento3→ (3, 3, 8, 35, 'K', 1, 'K951D', '83015', '75541', 0, 37412)

La lista del miércoles, formada no tiene eventos, es una lista vacía.

Lista jueves, comprende el Evento1

Evento1→ (1, 1, 8, 11, 'K', 1, 'K9513', '43860', '86364', 0, 37408)

Lista viernes, formada por Evento6, Evento7

Evento6→ (6, 1, 4, 38, 'K', 1, 'K95J1', '38413', '27395', 0, 37413)  
 Evento7→ (7, 5, 7, 5, 'K', 1, 'K95J1', '50161', '46351', 0, 37451)

Prolongando el ejemplo planteado, se recorta la lista de eventos para la carrera K (I.S.I), Primer año, del primer cuatrimestre, turno  $t_s$ =Tarde/Noche. Para demostrar la calidad de la solución se establecerá el valor de la Función Objetivo haciendo un seguimiento de cada asignación realizada. La Tabla N° 2 determina los datos iniciales otorgadas por la Secretaría de TIC 's de FRCU, previamente filtrados por carrera, año de la carrera y periodo. Se considera la lista aleatoria de días anteriormente citada, no existen materias asignadas previamente en forma manual.

Carrera	Año Carrera	Comisión	Periodo	Código Asignatura	Asignatura	H. Sem.	Cant. Insc	Legajo1	Legajo2	Legajo3
K	1	37408	1er Cuat	K9513	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA	10	43	43860	86364	0
K	1	37412	1er Cuat	K951D	QUIMICA	6	21	83015	75541	0
K	1	37410	1er Cuat	K951C	MATEMATICA DISCRETA	6	87	58432	78591	0
K	1	37413	1er Cuat	K951J	SISTEMAS DE REPRESENTACION	6	39	27395	38413	0
K	1	37451	Anual	K9519	SISTEMAS Y ORGANIZACIONES	3	66	50161	46351	0

Tabla 2: Datos iniciales otorgados por la Secretaría de TIC 's de FRCU (se cotejan con el Anexo II, Plan de Estudio ORD. N° 795 I.S.I.)

FO se setea en cero, se comienza con el día cuatro (4): jueves, se crea lista de jueves, se selecciona la primera fila de la tabla (Tabla Nº 2) y se chequea la disponibilidad del día/ hora para la carrera y año, se prueba que está libre, luego, se consulta por la disponibilidad del día/ hora en cada docente con los legajos: Legajo1, Legajo2 y Legajo3, se verifica que están desocupados, se crea el evento, se asigna la comisión 37408, hora inicial disponible: uno (1) a la hora final: ocho (8); se obtiene del campo cant\_insc (Cantidad de Inscriptos) presenta cuarenta y tres (43) estudiantes, se busca el aula disponible que mejor coincide en capacidad, y encuentra el aula cuyo id es once (11) con capacidad de cuarenta y cuatro (44) bancos, correspondiente Aula cincuenta y cinco (55) se comprueba su disponibilidad - como es el inicio de la creación del calendario los recursos en su mayoría están disponibles – una vez, lograda se asigna dicha aula, resultando el evento con la forma:

Evento1→ (1, 1, 8, 11, 'K', 1, 'K9513', '43860', '86364', 0, 37408).

Luego, se contabilizan ocho (8) hs. asignadas en el día jueves, se compara este valor con el valor del campo horas\_semanales de la fila seleccionada correspondiente a diez (10), consecuentemente las horas\_semanales son superiores a ocho (8) horas asignadas en el Evento1; faltan dos (2) hs. asignar en el siguiente día; este hecho dispara una penalización (se penaliza con diez (10)), entonces FO=FO+10 y se agrega el Evento1 en la lista del Jueves.

Se continua, con el siguiente día aleatorio dos (2): martes, de la fila seleccionada faltaron asignar dos horas, se procede de igual manera, se chequea la disponibilidad del día/ hora para la carrera y año. Además de los docente, se verifica que están disponibles, se crea el evento, se asigna la comisión 37408, hora inicial disponible: uno (1) a la hora final: dos (2), se comprueba que el aula con id once (11) esté libre, también se asigna dicho aula, Evento2<sup>14</sup>, se agrega el Evento2 en la lista del Martes. Se elige la siguiente fila de la Tabla Nº 2, se verifica la disponibilidad del día/ hora para la carrera y año, conjuntamente con los docentes; también se verifica que es suficiente el bloque disponible de tiempo para el día martes con respecto al campo horas\_semanales. Una vez dada estas condiciones, se establece, comisión 37412, hora de inicio tres (3), hora final ocho (8), se busca el aula coincidente con la capacidad de bancos correspondiente veinte (20) estudiantes a cursar, con esto se determina el aula con id igual a treinta y cinco (35) cuya capacidad es de veinte (20), se crea el Evento3<sup>15</sup>, y se lo agrega a la lista del Martes. Se opta por la otra fila de la Tabla Nº 2, de igual manera se desea confirmar la disponibilidad del día/ hora para la carrera y año, aquí el martes completó sus horas, de modo que se penaliza con veinte (20) según la regla que se detallaron en la sección 3.1, FO=FO+20. Se designa el siguiente día aleatorio es uno (1) corresponde al lunes, se demuestra las disponibilidades de los recursos ya analizados anteriormente, se instituye, comisión 37410, hora de inicio uno (1), hora final seis (6), se encuentra el aula para ochenta y seis (86) estudiantes, cuya capacidad corresponde a ochenta y ocho (88) bancos, dada por el aula con id igual a seis (6); de forma equivalente se crea el Evento4

Evento4→ (4, 1, 6, 4 'K', 1, 'K951C', '58432', '78591', 0, 37410).

Y se lo añade a la lista del lunes. Este proceso se repite hasta terminar las filas de la Tabla Nº 2, semejantemente se crean los eventos;

Evento5→ (5, 7, 8, 38, 'K', 1, 'K95J1', '38413', '27395', 0, 37413)

---

<sup>14</sup> Evento2→ (2, 1, 2, 11, 'K', 1, 'K9513', '43860', '86364', 0, 37408).

<sup>15</sup> Evento3→ (3, 3, 8, 35, 'K', 1, 'K951D', '83015', '75541', 0, 37412).

Se recibe una penalización faltando cuatro (4) hs. se debe asignar en el siguiente día, entonces  $FO=FO+10$  y se agrega el Evento5 en la lista del lunes. La secuencia de días aleatorios determina el día cinco (5) -viernes- cumpliendo con todas las restricciones planteadas se procede a crear el Evento6<sup>16</sup>, la comisión 37413 obtuvo treinta y nueve (39) inscripciones se le asignó el aula cuyo id es treinta y ocho (38) posee una capacidad de cuarenta (40) bancos, se adiciona el Evento6 en la lista del viernes. Para finalizar, se obtiene la última fila de la Tabla N° 2 quién, cabe en día/hora, presenta disponibilidad de docentes y su comisión 37451 cuenta con sesenta y seis (66) estudiantes a cursar, se vincula con el aula cinco (5) cuya capacidad es de sesenta y nueve (69), se crea el Evento7.

Evento7 → (7, 5, 7, 5, 'K', 1, 'K95J1', '50161', '46351', 0, 37451),

Se lo incorpora a la lista del viernes. De esta manera, termina el primer año de la carrera 'K' -Ing. en Sistemas de Información- se puede percibir la Función Objetivo evaluada en cuarenta (40).

## 3.2. Función Objetivo

El objetivo general es encontrar un calendario viable de forma que se cumpla con los requerimientos y condiciones, para minimizar las violaciones de las restricciones planteadas, administrando adecuadamente cada recurso involucrado, lo cual es directamente proporcional a maximizar la satisfacción de los docentes y los cursos según sus preferencias.

Sobre esta base, se establece un criterio que defina qué tan buena es una solución. Aunque muchas veces este criterio es subjetivo, depende de las necesidades de dónde se aplique.

Cada solución generada se conforma por un conjunto de eventos organizados por cada día de la semana en determinadas aulas, cumpliendo con las restricciones de que no pueden existir dos o más eventos en la misma aula, a la misma hora, con los mismos docentes, el mismo año/carrera y la cantidad de alumnos requerida para el evento.

La calidad de la solución se comprueba en cada generación de horarios, definiéndose respecto al docente, al curso, a las aulas en la diferencia de horarios.

Para hacer medible la calidad de la solución, se adopta un criterio numérico, el cual se calcula mediante un índice cuyo valor será nulo (cero) cuando se produzcan las asignaciones de los cursos en los espacios de tiempo determinados satisfaciendo las restricciones establecidas; en caso contrario, se incrementa su valor de acuerdo a una escala que se determina según se intenta violar alguna de las restricciones planteadas, es decir, se produce una penalización. Tomando en consideración todo lo dicho, la Función Objetivo que alcance el mayor valor, presentará menor calidad en la solución.

De la investigación de Faillace Mullen N. [28], se escoge la idea de la función de penalidad que coincide con lo planteado por los autores Zhipeng L. y Jin Kao H. [79], las mismas tienen como objetivo minimizar las violaciones de las restricciones no básicas; en otras palabras, esta función lineal toma valor cuando se intenta violar algunas de las restricciones establecidas; dichos valores son intuitivos se determinaron mediante una escala trazada desde

---

<sup>16</sup> Evento6 → (6, 1, 4, 38, 'K', 1, 'K95J1', '38413', '27395', 0, 37413).

cinco (5) a veinticinco (25) donde se consideró a este como el más alto, el cual impacta en disponibilidad del recurso - restricciones Básicas -, y al cinco (5) como el menor de todas las violaciones, es decir, aquellas restricciones Adicionales que impactan solamente en la calidad de la solución.

Se parte de una función lineal con la forma  $FO = FO + \text{Penalización}$ , donde FO se inicia en cero ( $FO=0$ ), en la sección anterior se especificó el esquema de solución que integra todos los eventos académicos divididos en los periodos de tiempos. Atendiendo a esto, se detalla a continuación las diferentes penalizaciones con sus respectivos valores, en orden decreciente:

- El Día y/u hora ocupada se penaliza con veinte (20). Se intenta asignar un evento a un día o una hora que fue asignada anteriormente, por ello se penaliza ( $FO = FO + 20$ ) (cuando la carga horaria semanal de la materia es superior a ocho horas - capacidad de un día- en cantidad de horas se penaliza con diez (10)).
- El Docente ocupado se penaliza con veinticinco (25). Se quiere asignar un docente que fue destinado a un evento donde existe superposición de horarios, recibe una penalización de veinticinco ( $FO = FO + 25$ ).
- El Curso ocupado se penaliza con veinte (20). El curso ya fue asignado en otro evento para dicho día y/o hora admite un castigo de veinte ( $FO = FO + 20$ ). Mientras que si se asigna un curso en solo una hora se penaliza con quince (15) ( $FO = FO + 15$ ).
- El Aula ocupada se penaliza con veinte (20). Se intenta ocupar un salón previamente asignada en el día y/o hora, se penaliza con veinte ( $FO = FO + 20$ ). Ante el cálculo de la diferencia entre la cantidad requerida y la capacidad del aula seleccionada para cada slot del evento: si su resultado es mayor a cinco se penaliza con veinticinco (25) ( $FO = FO + 25$ )).
- Los Bloques no contiguos se penaliza con quince (15). En caso de haber las llamadas hora sándwich, se aplica una sanción de quince ( $FO = FO + 15$ ).
- Los Descansos de recreo no asignados se penaliza con quince (15) al igual que si el horario no está equilibrado ( $FO = FO + 15$ ).
- Cuando no se ajusta la franja horaria de la Ordenanza 1549 se penaliza en cinco (5), ( $FO = FO + 5$ ).

En el ejercicio del recurso resultan más críticos los ítems que se refieren a docente ocupado y las aulas con capacidades insuficiente, de modo que se penaliza con el mayor valor. Se continúa con veinte (20) que representa el aula, el curso y el día ocupado, la no disponibilidad de estos recursos responde al segundo valor en su puntualidad. Se pensó como recurso no adecuado académicamente a las asignaciones de solo una hora por lo que se la penaliza con quince (15) en la escala de valores asimismo cuando no existe continuidad en las horas de un curso y/o se viola el descanso. Luego se elige el diez (10) por no poder asignar la cantidad de horas en ese espacio de tiempo. Por último, se selecciona al cinco (5) cuando no se ajusta la franja horaria de la ORD 1549. Básicamente la puntuación se evalúa de más grave a leve sucediendo cada cinco (5) puntos.

Se plantea un ejemplo para explicar cómo se implementaría este mecanismo de penalización elegido, el cual es directamente proporcional al cálculo de la Función Objetivo.

Se parte de la Función Objetivo inicializada en cero ( $FO=0$ ), y se detalla la forma de operar. Primero, se selecciona una carrera, un año de la misma, una materia (comisión a

asignar) y un día de la semana con su hora inicial. La comisión tiene asociada: cuántas horas semanales presenta dicha materia, qué equipo docente dicta la comisión y qué cantidad de alumnos están inscriptos a ella. Si se parte de los siguientes datos:

Día=1 (lunes)  
Hora Inicial= 1 (hora\_ini)  
Hora Final= 7 (hora\_fin)  
Carrera = 'K' (Ingeniería en Sistemas de Información)  
Año de la Carrera= 1 (Primer año)  
Comisión= 37410 (K951C Matemática Discreta:  
Horas semanales=6  
Equipo docente: 58432 -  
78591 -  
cant\_insc=78)  
Aula= 4 (Aula 31 – capacidad 87 bancos)

### Proceso de Asignación

Se consulta día=1 está disponible, en caso afirmativo no se incrementa la FO, si está ocupado se penaliza con veinte (20), es decir,  $FO=FO+ 20$ , se procede de igual manera a determinar si está disponible la cantidad de horas semanales en dicho día, en este caso son seis (6) horas semanales a asignar el día lunes, se chequea que no hay asignada comisión para la carrera 'K' de Primer año, el día lunes con espacio de seis (6) hs. entonces se asigna y la FO no se altera, mientras que existe espacio pero no cubre completamente la cantidad solo se penaliza con diez (10) ( $FO=FO+ 10$ ); por el contrario no existe espacio de asignación se penaliza con veinte (20) ( $FO=FO+ 20$ ). Una vez disponible el espacio día y hora, se procede a verificar la disponibilidad del equipo docente, por cada docente se establece su disponibilidad en día, hora inicial y hora final, si están libres la Función Objetivo no se modifica, por el contrario, al menos uno de los docentes no está disponible se penaliza aumentando en veinticinco (25) la Función Objetivo ( $FO=FO+25$ ) y se vuelve a evaluar, día y horas hasta poder asignarse.

Una vez planificada la comisión dentro del calendario, se determina el aula, se calcula la diferencia entre la cantidad requerida - setenta y ocho (78) inscriptos- y la capacidad de un aula determinado dicha diferencia debe ser menor o igual a cinco (5) para no recibir penalización; se opta por todas las aulas (lista de aulas) cuyas capacidades son mayores a la cantidad requerida, se las ordena en forma ascendente por el valor de dicha diferencia, asimismo se chequea su disponibilidad, en caso de estar libre, se asigna sin modificar la Función Objetivo, en caso contrario, se suma veinte (20) como penalización ( $FO=FO+20$ ) y se elige la siguiente aula a ser evaluada como candidata; si la capacidad del aula - ochenta y siete (87) bancos- seleccionada presenta una diferencia mayor a cinco es aceptable. Con los datos iniciales se tiene ( $87- 78 = 9$ ) mayor a cinco ( $> 5$ ) es no ser aceptable, se penaliza con veinticinco (25) ( $FO=FO+25$ ). De esta manera se opera con cada carrera, hasta asignar la última materia. Una vez aprobado este proceso, se ha cumplido con las restricciones Básicas (obligatorias) y su resultado es una solución factible.

A esta solución factible, se le aplican las restricciones Adicionales, asignaciones de cursos en solo una hora, al igual, que los Bloques no contiguos, los Descansos de recreo no

asignados y si el horario no está equilibrado en días de la semana, entonces se aplica la penalización quince (15), ( $FO=FO+15$ ) en cada caso.

### 3.3. Tiempos Computacionales

La complejidad computacional de los algoritmos aquí estudiados se determina por el tiempo de computación. Tal tiempo está en el orden de los segundos. Las pruebas experimentales para el Timetabling, se realizan en una PC con analogías propias al tipo de computadora que puede efectivamente tener una oficina administrativa.

Antes de introducir los datos computacionales se hace conveniente exponer las características principales del sistema en el que se ha ejecutado. En este caso se trata de un ordenador con un sistema operativo Windows10 de 64 bits, un procesador Pentium(R) Dual-Core CPU con velocidad 2.20 GHz. Tiene una memoria instalada (RAM) de 4 GB, de los cuales 1.5 GB aproximadamente son de memoria libre, 512 MB de GPU y 2 GB de memoria de sistema.

### 3.4. Restricciones Básicas (Obligatorias)

Se plantea obtener soluciones factibles. Se define como solución factible a aquella que está sujeta a verificar las siguientes restricciones básicas a la vez:

- Un docente no puede estar en más de un curso en el mismo horario (superposición de horarios de algún docente).
- Dos o más cursos de una misma carrera no pueden estar en el mismo horario (superposición de horarios de algún curso de estudiante).
- Un aula no puede ser asignada por más de un curso en el mismo horario (superposición de los horarios de algún salón).
- El aula es lo suficientemente grande para todos los estudiantes del curso.

Para comprender el efecto sobre la calidad de la solución se usa la descomposición del problema en varias partes, comprobando cada generación de horarios. De este planteo, se puede definir la calidad de la solución con respecto a los recursos involucrados: Docente, Aula, Curso, y en la diferencia de día/horarios; cada evento programado se le tiene asociado una cantidad de estudiantes inscriptos para cursar una determinada materia incluida en la carrera, para el cuatrimestre correspondiente. Para ocupar un aula, se debe tener en cuenta la cantidad de estudiantes, ya que impacta directamente en la capacidad del aula. Por tal motivo, si esa cantidad de estudiantes está muy alejada de la capacidad del aula, la solución empeora (“no está contemplado asignar un aula con capacidad menor a la cantidad de alumnos”).

Dando continuidad al ejemplo de la sección anterior, la lista de eventos verifica las restricciones Básicas planteadas, consecuentemente es parte de la solución factible del problema. Para demostrar la calidad de la solución se establece el valor cuarenta (40) de la Función Objetivo que se alcanza en la generación de horarios correspondiente al primer año

de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, cuyo periodo es el primer cuatrimestre, en el turno tarde/noche.

# Propuesta Algorítmica

# Capítulo 4

## Modelo de Solución Inicial Aleatoria

En este apartado se presenta una de las posibles soluciones al problema mediante el modelo de solución inicial que se determina en forma aleatoria. Debido a que este trabajo tiene como pauta trabajar con Búsqueda Local, y la misma requiere de una solución inicial, entonces se diseñó un algoritmo para resolver el problema práctico de asignación de horarios de clases. Esta sección se divide en tres partes, la parte 4.1 parte del origen del método y luego, corresponde a la definición formal del algoritmo diseñado para crear la solución inicial aleatoria (horario factible), mientras que la 4.2 recae en la presentación experimental, luego, se cierra el Capítulo con una breve conclusión, en 4.3.

### 4.1. Algoritmo Inicial Aleatorio

En este problema de gran complejidad como es el Timetabling, para el caso de la Universidad Tecnológica Nacional de la Facultad Regional Concepción del Uruguay, no existen métodos conocidos que permitan resolverlos de manera satisfactoria, asimismo cada Institución revela sus particularidades. Por tal motivo, se desarrolló este algoritmo aleatorio que se presenta como una alternativa o posible solución inicial al problema, con todos los requerimientos revelados por el personal de esta Institución.

Primeramente, se trae de la historia el origen de la técnica que se utiliza, y luego, se detalla de forma conceptual.

La aleatoriedad es uno de los contenidos que se involucra en muchas áreas de las ciencias de la computación centrada en el diseño de algoritmos.

Si se busca uno de los acontecimientos más importantes de la historia de la aleatoriedad, dista del año 3500 a.c. y el hecho es: los juegos de azar con objetos de hueso, que podrían ser considerados como los precursores de los dados, fueron ampliamente desarrollados en Egipto y otros lugares. Mucho después, en el siglo XVII, Antoine Gombauld de Mere (Gombauld A. [33]), puso en tela de juicio el fundamento matemático del éxito y fracaso en las mesas de juego, con la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las posibilidades de que salgan dos “seis” por lo menos una vez en veinticuatro lanzamientos de un par de dados?, ésta, la formuló directamente al matemático francés Pascal, quien se ocupó junto a este de dicha cuestión (Pascal B. [55]), y así, comenzó a tener relevancia e interés la teoría de la probabilidad; se sumó el famoso matemático Pierre de Fermat (Fermat P. [29]). Los tres plantearon muchos problemas, algunos de estos, permanecieron sin solución durante unos 300 años. Mucho más tarde, surge Benoulli (Bernoulli J. [13]), el reverendo Thomas Bayes (Bayes T. [10]) y Lagrange que inventaron fórmulas y técnicas de probabilidad (Lagrange J. [44]). En el siglo XIX, Laplace, unificó esas primeras ideas y formuló la primera teoría general de la

probabilidad, la cual fue aplicada inicialmente con buenos resultados a los juegos de azar (Laplace P. [45]) con el tiempo también se aplicó en la búsqueda de soluciones analíticas a problemas de naturaleza no determinística.

La historia formal de los números aleatorios, se inicia en la década de los cuarenta con el nacimiento del método llamado simulación de Montecarlo. En 1932, Von Neumann dedujo el potencial de los computadores para tratar problemas estocásticos (Von Neumann J. [73]), utilizando ruletas y dados en los problemas de difusión de los neutrones. Más tarde, Lehmer propuso el generador lineal de congruencia (Lehmer D. [46]), el cual, con pequeñas modificaciones propuestas por Thomson W. [71]) y Rotenberg A. [63]), ha llegado a convertirse en el método para la generación de números aleatorios más ampliamente usado en la actualidad. Más tarde en 1955, Rand Corporation [61] innovó con el ruido electrónico, una tabla de un millón de dígitos producidos controlando una fuente de pulsos de frecuencia aleatoria; estos se encuentran disponibles en cintas magnéticas de la Rand. Y muchos más.

Con la aparición de los ordenadores, surgen métodos para la producción de secuencias de estos números. La idea no es incorporar una tabla a la computadora debido a que implica gran costo de almacenamiento en relación a la cantidad de números; sino que, es crear dígitos pseudoaleatorios siguiendo los diversos métodos para su construcción.

Un número pseudoaleatorio es generado en un proceso que simula entregar cifras al azar, dicho proceso es determinístico; tiene un comportamiento similar a la naturaleza aleatoria, pero están ceñidos a un patrón, generalmente matemático. El cálculo de una secuencia de números conforme a una regla completamente especificada, permite su comprobación mediante pruebas estadísticas razonables, por esto, todos sus dígitos tienen la misma probabilidad de aparición.

En programación se usa el término Random al referirse a la generación aleatoria de números (random number generation). Es una palabra del inglés que se puede traducir al español como aleatorio, fortuito o casual. En este sentido, es aquello que depende del azar; que no obedece a ningún método o criterio, y cuyo efecto resulta siempre desconocido e inesperado.

Un algoritmo aleatorizado es un método que toma decisiones aleatorias como parte de su lógica. Se enfrenta a entradas generadas al azar y en otros casos, su comportamiento es aleatorio, es decir: el medio ofrece la misma entrada; no obstante, puede tomar decisiones al azar, una vez que procesa dicha entrada; si permite una asignación aleatoria el modelo se vuelve más potente, así los problemas que pueden no haber sido resueltos mediante métodos deterministas eficientes aún son susceptibles de procedimientos aleatorios. A diferencia de los algoritmos convencionales, tienen una entrada adicional que son los números aleatorios y que se crean durante la ejecución, se implementan dentro de su lógica, De antemano, no se puede predecir con exactitud qué resultados se van a arrojar, sino que, se puede describir cuáles van a ser los resultados posibles y con qué probabilidad puede ocurrir cada uno de ellos. Mitzenmacher M. y Upfal E. [50].

Una variable aleatoria  $X$  es una función definida sobre el espacio muestral  $\Omega$  (conjunto de los resultados de un experimento aleatorio) que toma valores en los números reales  $\mathbb{R}$ , es decir  $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$

Una variable aleatoria puede ser discreta o continua según sea el rango de esta aplicación.

- Una variable aleatoria es discreta si toma un número de valores finito o infinito numerable. Estas variables corresponden a experimentos en los que se cuenta el número de veces que ha ocurrido un suceso.
- Una variable aleatoria es continua cuando puede tomar cualquier valor de un intervalo real de la forma  $(a, b)$ ,  $(a, \infty)$ ,  $(-\infty, b)$ ,  $(-\infty, +\infty)$  o uniones de ellos. Por ejemplo, el peso de una persona, el tiempo de duración de un suceso, etc.

En la Figura 5 se presenta el Algoritmo Inicial Aleatorio, el cual realiza operaciones o toman distintas decisiones de forma aleatoria, con el fin de explorar todas las posibilidades y con el objetivo de obtener una solución, la cual dará funcionalidad al algoritmo BLB del siguiente Capítulo. Para encuadrar explícitamente la clasificación citada de las variables aleatorias, se puede identificar: aquellas definidas en el código fuente -Random- son discretas, mientras que, si se trata del tiempo de duración de corrida del mismo, su tipo corresponde a variable aleatoria continua.

```
{
  Elegir al azar la secuencia de días
  Elegir al azar la secuencia de carreras
  Mientras no exista fin de comisiones hacer
    Mientras no fin carrera hacer
      Mientras no fin año de carrera hacer
        Se determina la comisión y cantidad de horas semanales
        Mientras no se asignaron las horas semanales hacer
          Se determina la disponibilidad de docente, día, hora
          Se asigna comisión
      Fin mientras horas semanales
    Fin mientras año carrera
  Fin mientras carrera
  Fin mientras comisiones
  Retorno F(x) /* Solución inicial*/
}
```

Figura 5: Representación del Algoritmo Inicial Aleatorio

Seguidamente, se detallan los pasos del algoritmo presentado, los cuales se reutilizan en los sucesivos capítulos de la propuesta algorítmica:

- Proceso de elegir aleatoriamente el día, se lo hace mediante una variable Random, al igual que el de escoger las carreras. Corresponde a la estrategia de Selección Aleatoria, la cual expresa la característica del método de tirar un dado, es decir, existe la misma probabilidad de ser seleccionados cualquier elemento dentro de un conjunto de elementos.
- Proceso Disponibilidad: determina si un docente está desocupado, para el día y la hora designada, en la carrera y año establecido en el curso.
- Proceso Asignar: fija en un determinado día y horario, el docente, la comisión, el año y la carrera.
- Proceso de Elegir el Aula: se realiza mediante el algoritmo de coincidencia. Se identifica la cantidad de inscripciones a la comisión asignada, se busca el salón que más se ajuste a dicha cantidad con respecto a la capacidad del mismo (error aceptable hasta cinco).

- Proceso Disponibilidad de Aula: determina la disponibilidad del aula, para el día y la hora fijada, en la carrera y año dispuesto en el curso según el Proceso de Elegir el Aula.
- Proceso Asignar Aula: designa un aula disponible en un determinado día y horario, a una comisión dada.

Se integra los procesos hasta finalizar con todos los eventos, de forma aleatoria, se exploran todas las posibilidades de los días de la semana, igualmente se lo hace con las carreras que presenta UTN FRCU como oferta académica, de las cuales cada una lleva una cantidad fija de comisiones (cursos)<sup>17</sup> que deben ser ubicadas en el calendario. En base a esto, en el mejor de los casos, se encuentra disponible el bloque en tiempo en la semana y se asigna el curso seleccionado, en el primer paso del algoritmo (mejora sus posibilidades); en el peor panorama, se debe iterar tantas veces sea necesario hasta encontrar el bloque en tiempo disponible y poder asignar el curso propuesto. Conjuntamente, su diseño le permite al usuario, elegir el modo de su ejecución, ajustando uno de los primeros parámetros a configurar: Iniciar automáticamente - sin intervención del usuario -, en el otro caso, Iniciar Parámetros Fijos - el usuario es quien determina cómo se realiza la ejecución ajustando ciertos datos de entrada, generalmente se cumplen las restricciones de Preferencia, ya que se atienden deseos individuales no esenciales -. Los mismos se precisan a continuación:

- Iniciar automáticamente (AUTO) su función es generar una solución factible sin agregar parámetros iniciales en el proceso de asignar, está determinado por defecto (default).
- Iniciar Parámetros Fijos. Para ello, interviene el usuario, manualmente, que puede ingresar determinados días y horarios, una comisión identificada en una carrera y año de carrera. Se opera seleccionando un día, y dos tiempos, uno de Inicio y el otro de fin. Se controla la disponibilidad del curso, de los docentes; se guarda, siempre que las horas semanales de la materia se ajusten al parámetro fijado; en caso de no poderse ajustar se emite un mensaje de advertencia, el cual confirma y permite asignar otro día, de ser necesario o bien, cancelar la operación. En su función se agregan dichos parámetros iniciales en el proceso de asignar, respetando su asignación.

De esta forma, sin violar las restricciones básicas se pueden dar soluciones factibles, es decir se crea un horario viable para cada carrera de la UTN FRCU, que por el criterio de minimización, que corresponde al planteo del problema (como se describe en el Capítulo 1), se selecciona el más pequeño de los valores que arroja la Función Objetivo. Dicho resultado será utilizado como solución inicial, para la implementación del método heurístico proyectado en el Capítulo siguiente.

## 4.2. Presentación Experimental

El Algoritmo Inicial Aleatorio propuesto en el inciso 4.1 presenta una posible solución a este problema. Es una técnica de búsqueda aleatoria con restricciones básicas, dichas restricciones fueron descritas en el Capítulo 3, que arroja resultados aleatorios dentro de una región factible definida que no garantiza la obtención de la solución óptima. Para medir la calidad del Timetable se utiliza la Función Objetivo presentada que se basa en puntos de

---

<sup>17</sup> Que será el fin del archivo, hasta que no exista comisión sin asignar.

penalización, que define una función como una forma automática de calcular el grado de optimización problema.

Para evaluar los beneficios potenciales del método propuesto se generaron treinta<sup>18</sup> instancias de resultados con diferentes secuencias aleatorias (carreras y días) para darle a la solución variabilidad, asimismo se ejecutaron tanto Manual (parámetros fijos), como AUTO (automáticamente). La sucesión de valores proporcionada, dejó diferentes impactos en la Función Objetivo.

Como paso previo a las pruebas, se implementó el algoritmo en estudio, alcanzando distintas puntuaciones de la FO para el mismo caso de uso, las cuales se pueden leer en la Tabla N° 3. Su formato consiste: en la primera columna el orden de ejecución de la solución; seguidamente, la columna Valor FO representa el valor de la Función Objetivo (función de evaluación); mientras que la columna Solución muestra la forma que adquiere la solución en el orden de cómo se fue generando: por carrera, con su letra identificadora en la asignación de cursos (DIA, la secuencia de días como fue resuelta, siendo 1: lunes, 2: martes, 3: miércoles 4: jueves 5: viernes), luego el orden de las carreras en la asignación de las aulas (AULAS) además, si se inició su ejecución automáticamente (AUTO) o con parámetros fijos (MANUAL).

La fila resaltada en negritas, refleja la mínima evaluación de la Función Objetivo valorada en 20.065, se la califica como "mejor solución" conseguida, según el criterio de selección de minimizar la violación de la restricción básica, conforme a lo descrito en 3.2. Esta instancia de solución fue generada en el orden dos de los treinta resultados obtenidos, tras completarse en forma automática (AUTO). Expone una característica particular: la secuencia de carreras creada aleatoriamente, la misma se generó igual tanto en las comisiones como en las aulas, dicha secuencia sigue el orden - X: Ingeniería Electromecánica, 2: Licenciatura en Organización Industrial, K: Ingeniería en Sistemas de Información, O: Ingeniería Civil - Los eventos semanales sucedieron de la siguiente forma: Viernes (5), Lunes (1), Jueves (4), Miércoles (3) y Martes (2) y el tiempo de ejecución en obtener la mejor solución es de CUARENTA Y SIETE (47) segundos.

---

<sup>18</sup> Se considera que es un número significativo intuitivo, su valor no es tan poco ni tan suficientemente grande, permite mostrar cómo se desempeña el algoritmo y se vale para mantener un buen equilibrio entre la calidad de la solución y el tiempo de ejecución.

	Valor FO	Solución	Tiempo
1	22870	O K 2 X (DIA 5 3 1 4 2) - X 2 K O (AULAS)- Manual	00:49
2	<b>20065</b>	<b>X 2 K O (DIA 5 1 4 3 2) - X 2 K O (AULAS)- Auto</b>	<b>00:47</b>
3	20725	K O X 2 (DIA 3 1 2 4 5) - X 2 K O (AULAS)- Auto	00:45
4	23020	O X 2 K (DIA 2 4 3 5 1) - X 2 K O (AULAS)- Manual	00:50
5	21635	O X 2 K (DIA 3 1 5 4 2) - 2 K O X (AULAS)- Auto	00:48
6	20465	O X 2 K (DIA 5 3 1 2 4) - O X 2 K (AULAS)- Auto	00:48
7	22005	O X 2 K (DIA 2 4 3 5 1) - X 2 K O (AULAS)- Manual	00:50
8	21800	K O X 2 (DIA 5 3 2 4 1) - O X 2 K (AULAS)- Auto	00:51
9	27420	2 K O X (DIA 4 2 3 1 5) - X K 2 O (AULAS)- Auto	00:57
10	23005	K O X 2 (DIA 2 5 1 4 3) - X 2 K O (AULAS)- Auto	00:50
11	20801	K O X 2 (DIA 3 2 4 5 1) - O 2 X K (AULAS)- Auto	00:50
12	21505	K O X 2 (DIA 5 3 1 2 4) - K O X 2 (AULAS)- Manual	00:53
13	20990	O X 2 K (DIA 5 4 3 1 2) - 2 K O X (AULAS)- Auto	00:47
14	20915	K O 2 X (DIA 1 2 5 4 3) - O X 2 K (AULAS)- Auto	00:54
15	21095	X 2 K O (DIA 5 1 3 2 4) - K O X 2 (AULAS)- Manual	00:53
16	20120	2 O X K (DIA 3 5 4 2 1) - O X 2 K (AULAS)- Manual	00:52
17	26805	K O X 2 (DIA 3 2 5 4 1) - X O 2 K (AULAS)- Auto	00:55
18	22275	2 K O X (DIA 1 5 3 4 2) - X K O 2 (AULAS)- Manual	00:43
19	21940	2 K O X (DIA 3 4 2 1 5) - X 2 K O (AULAS)- Auto	00:47
20	20615	K O X 2 (DIA 2 5 4 1 3) - O X 2 K (AULAS)- Auto	00:54
21	21060	X 2 K O (DIA 2 4 3 5 1) - O X 2 K (AULAS)- Manual	00:50
22	21760	O X 2 K (DIA 4 3 5 1 2) - X 2 K O (AULAS)- Manual	00:50
23	21550	O K 2 X (DIA 3 2 4 5 1) - O X K 2 (AULAS)- Auto	00:51
24	23105	2 K O X (DIA 5 3 1 4 2) - X 2 K O (AULAS)- Manual	00:49
25	21790	2 K O X (DIA 3 4 2 5 1) - 2 X K O (AULAS)- Auto	00:47
26	21105	K O X 2 (DIA 1 2 5 4 3) - O X 2 K (AULAS)- Auto	00:54
27	22070	K O 2 X (DIA 3 4 1 2 5) - X K O 2 (AULAS)- Manual	00:49
28	24095	X K O 2 (DIA 4 2 5 3 1) - X 2 O K (AULAS)- Auto	00:47
29	21665	K O X 2 (DIA 1 2 5 3 4) - O X K 2 (AULAS)- Auto	00:54
30	20765	O X 2 K (DIA 2 4 3 5 1) - X 2 K O (AULAS)- Manual	00:55

Tabla 3: Representa soluciones iniciales

Al hacer un repaso del contenido de la Tabla N° 3, se puede ver que las soluciones generadas en AUTO, arrojaron resultados con la mejor calidad, pues evolucionan dinámicamente en el tiempo de ejecución y su comportamiento determina los límites del sistema<sup>19</sup>, los recursos involucrados y sus asignaciones se efectúan sin la intervención del usuario. Es de destacar que las dos mejores soluciones tienen la misma secuencia de la carrera para la asignación de los días y las aulas; también se puede leer la variable aleatoria: día que inicia con viernes, mostró mejores resultados.

<sup>19</sup> Al definir los límites del sistema se selecciona aquellos componentes que contribuyan a producir las formas de conducta, y luego se determina el espacio donde se llevará a cabo.

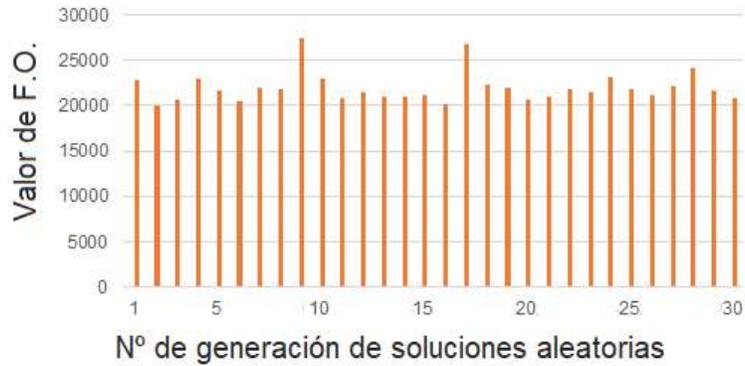


Figura 6: Gráfico de Barras representa la generación de soluciones aleatorias iniciales con respecto a la función objetivo.

En la Figura 6, se puede observar la generación de soluciones aleatorias con respecto a la Función Objetivo. Mediante un Gráfico de Barras, el cual representa datos categóricos valor de la Función Objetivo de acuerdo al número de ejecución, a cada categoría se le asocia una barra cuya altura representa el evento que ocurre en esa generación de solución aleatoria. Si se efectúa una lectura sobre este conjunto de datos, entonces se puede observar una distribución esparcida de los valores que toma la variable FO, dichos valores se implementan en una escala de cinco en cinco para mayor legibilidad en el gráfico; asimismo la cima de tales barras marca una notable dispersión acentuando un nivel de heterogeneidad y formando una curva. Para fundamentar esta lectura, se establece un valor de referencia, el cual sirve para estimar la variación general de esta distribución; esta referencia es la medida de dispersión más común llamada Desviación Estándar, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media (como una medida estándar del centro de la distribución de los datos). Su cálculo arroja un resultado igual a 1687,81, que se alcanza a partir de las treinta instancias de solución generadas que se detalla en la Tabla N° 3, dicho valor es significativamente alto, en efecto indica que existe mayor separación entre el valor de la FO y existe un importante grado de variabilidad.

A continuación, se muestra la solución inicial aleatoria factible que se obtuvo. Dicha solución representa el Timetabling para el primer cuatrimestre del turno  $t_s$ =tarde/noche, registrada en la Tabla N° 3 como el mínimo valor logrado igual a 20065. En la Figura 7 se puede ver cómo se constituyen los datos que serán representativos en las pantallas a exhibir más adelante, serán cuatro pantallas enumeradas. Se forma el resultado por carrera, donde se identifican todas las comisiones, distribuidas en sus horarios de lunes a viernes.

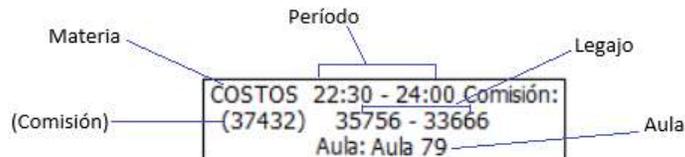


Figura 7, Representación de los datos

La Figura 8 despliega la pantalla con los resultados de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información que se representa con la letra 'K', en sus cinco años de duración para cada una de las comisiones formadas a partir del primer cuatrimestre, en el turno  $t_s$ =tarde/noche.

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 1				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 19:00 Comisión: (37408) 43860 - 86364 Aula: Aula 53	MATEMATICA DISCRETA 18:15 - 23:15 Comisión: (37410) 46350 - 78591 Aula: Aula 31	SISTEMAS DE REPRESENTACION 17:30 - 18:15 Comisión: (37413) 75541 - 27395 Aula: Aula 53	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 24:00 Comisión: (37408) 86364 - 43860 Aula: Aula 53	SISTEMAS Y ORGANIZACIONES 17:30 - 19:45 Comisión: (37451) 27395 - 46351 Aula: Aula 55
QUIMICA 19:00 - 24:00 Comisión: (37412) 83015 - 75541 Aula: Química(20)				SISTEMAS DE REPRESENTACION 19:45 - 24:00 Comisión: (37413) 46350 - 38413 Aula: Aula 55

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 2				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
SINTAXIS Y SEMANTICA DE LOS LENGUAJES 17:30 - 21:30 Comisión: (37418) 28071 - 30559 Aula: Aula 54	ANALISIS DE SISTEMAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37453) 59016 - 24040 - 348670 Aula: Aula 29	SINTAXIS Y SEMANTICA DE LOS LENGUAJES 17:30 - 19:45 Comisión: (37418) 38413 - 28071 Aula: Aula 27	FISICA I 17:30 - 23:15 Comisión: (37416) 11348 - 26080 Aula: Aula 55	INGLES I 17:30 - 19:00 Comisión: (37645) 50161 Aula: Idioma(77)
FISICA I 21:30 - 24:00 Comisión: (37416) 11348 - 26080 Aula: Fisica(51)		ANALISIS MATEMATICO II 19:45 - 23:15 Comisión: (37452) 30559 - 38757 Aula: Aula 27		

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 3				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
MATEMATICA SUPERIOR 17:30 - 20:30 Comisión: (37457) 39803 - 61531 Aula: LISI(SISTEMAS)	FISICA II 17:30 - 22:15 Comisión: (37423) 40092 - 031015967 - 81282 Aula: Fisica(51)	ECONOMIA 17:30 - 22:15 Comisión: (37429) 31883 - 50161 Aula: Aula 33	GESTION DE DATOS 17:30 - 20:30 Comisión: (37431) 036273827 - 45670 Aula: Aula 68	INGLES II 17:30 - 19:00 Comisión: (37645) 45867 Aula: LISI I(SISTEMAS)
GESTION DE DATOS 20:45 - 24:00 Comisión: (37431) 45670 - 036273827 Aula: LISI(SISTEMAS)			FISICA II 20:45 - 24:00 Comisión: (37423) 36944 - 031015967 - 81282 Aula: Fisica(51)	DISEÑO DE SISTEMAS 19:00 - 23:15 Comisión: (37455) 37262 - 40092 Aula: LISI I(SISTEMAS)

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 4				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
SIMULACION 17:30 - 24:00 Comisión: (37437) 348670 - 33114 Aula: Aula 34		INVESTIGACION OPERATIVA 17:30 - 19:00 Comisión: (37460) 74057 - 22696 Aula: Aula 34	REDES DE INFORMACION 17:30 - 24:00 Comisión: (37439) 36792 - 76154 Aula: Aula 34	LEGISLACION 17:30 - 20:30 Comisión: (37435) 22690 Aula: Aula 34
		ADMINISTRACION DE RECURSOS 19:00 - 24:00 Comisión: (37459) 61531 - 41309 - 71413 Aula: Aula 34		INVESTIGACION OPERATIVA 20:45 - 23:15 Comisión: (37460) 39919 - 58432 Aula: Aula 34

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 5				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
PROYECTO 17:30 - 22:15 Comisión: (37462) 38413 - 50810 - 30985 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SISTEMA DE GESTION 17:30 - 20:30 Comisión: (37444) 36944 - 46351 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SEGURIDAD EN SISTEMAS DE INFORMACION 17:30 - 19:00 Comisión: (37448) 78589 - 46355 Aula: LISI II(SISTEMAS)	CONSOLIDACION DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y LAS COMUNICACIONES 17:30 - 20:30 Comisión: (37450) 40556 - 49730 Aula: LISI II(SISTEMAS)	RELACIONES HUMANAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37445) 22696 - 40235 Aula: LISI II(SISTEMAS)
CONSOLIDACION DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y LAS COMUNICACIONES 22:30 - 24:00 Comisión: (37450) 40556 - 49730 Aula: LISI II(SISTEMAS)		TECNOLOGIA PARA LA EXPLOTACION DE DATOS 19:00 - 24:00 Comisión: (37446) 58432 - 78591 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SISTEMA DE GESTION 20:45 - 24:00 Comisión: (37444) 46351 - 40475 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SEGURIDAD EN SISTEMAS DE INFORMACION 21:30 - 24:00 Comisión: (37448) 59654 - 73693 Aula: LISI II(SISTEMAS)

Figura 8: Representa la Pantalla Resultado, obtenida del Algoritmo Inicial Aleatorio para la carrera ISI (K).

De igual manera que la carrera Ingeniería en Sistemas de Información, se presenta en la Figura 9, el horario de la Ingeniería Civil, la cual se nombra con la letra 'O' contiene cada una de las comisiones formadas a partir del primer cuatrimestre, en sus respectivos seis años.

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 1

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ANALISIS MATEMATICO I 17:30 - 22:15 Comisión: (37473) 52365 - 82366 Aula: Aula 25	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 22:15 Comisión: (37501) 40475 - 45867 Aula: CIVIL	INGENIERIA CIVIL I 17:30 - 19:45 Comisión: (37491) 27395 - 19272 Aula: Aula 25	ANALISIS MATEMATICO I 17:30 - 20:30 Comisión: (37473) 82366 - 52365 Aula: Aula 27	INGENIERIA Y SOCIEDAD 17:30 - 19:00 Comisión: (37510) D23696133 - 39804 - 84987 Aula: Aula 31
		SISTEMAS DE REPRESENTACION 19:45 - 22:15 Comisión: (37489) 73693 - 84987 - 9235 Aula: Aula 25	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 20:45 - 24:00 Comisión: (37501) 45672 - 45867 Aula: Aula 27	
		INGENIERIA Y SOCIEDAD 22:30 - 24:00 Comisión: (37510) 26091 - D23696133 - 84987 Aula: Aula 25		

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 2

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES 17:30 - 18:15 Comisión: (37494) D30166745 - 16679 - 36099 Aula: Aula 78	ESTABILIDAD 17:30 - 21:30 Comisión: (37517) 45672 - 29137 Aula: L. CIVIL	INGLES I 17:30 - 19:00 Comisión: (37563) 36099 Aula: Idioma(77)	ANALISIS MATEMATICO II 17:30 - 19:45 Comisión: (37518) 81182 - 65869 Aula: Aula 57	
ANALISIS MATEMATICO II 18:15 - 24:00 Comisión: (37518) 65869 - 81182 Aula: Aula 78	TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES 21:30 - 24:00 Comisión: (37494) 82365 - D30166745 - 16679 Aula: L. CIVIL	INGENIERIA CIVIL II 19:00 - 21:30 Comisión: (37493) 39804 - 32358 Aula: Aula 28	ESTABILIDAD 19:45 - 24:00 Comisión: (37517) 13029 - 29137 Aula: Aula 57	

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
RESISTENCIA DE MATERIALES 17:30 - 24:00 Comisión: (37549) 13029 - 26039 - 22903 Aula: Aula 30	HIDRAULICA GENERAL Y APLICADA 17:30 - 22:15 Comisión: (37529) 13029 - 44069 Aula: Aula 30	TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION 17:30 - 19:00 Comisión: (37496) 37262 - 83556 Aula: Aula 67	TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION 17:30 - 20:30 Comisión: (37496) 83556 - 32358 Aula: Aula 30	
		TECNOLOGIA DEL HORMIGON 19:00 - 22:15 Comisión: (37530) 32358 - 36099 - D30166745 Aula: Aula 67	HIDRAULICA GENERAL Y APLICADA 20:45 - 24:00 Comisión: (37529) 33664 - 44069 Aula: Aula 30	
		INGLES II 22:30 - 24:00 Comisión: (37564) 16679 Aula: Idioma(77)		

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 4

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
DISENO ARQUITECTONICO, PLANEAMIENTO Y URBANISMO 17:30 - 21:30 Comisión: (37497) D23696133 - 74695 - 75366 Aula: CIVIL	ESTRUCTURAS DE HORMIGON 17:30 - 24:00 Comisión: (37551) 33664 - 55327 Aula: Aula 57	INSTALACIONES SANITARIAS Y DE GAS 17:30 - 20:30 Comisión: (37550) 37262 - 59656 Aula: CIVIL	ESTRUCTURAS DE HORMIGON 22:30 - 24:00 Comisión: (37551) 55327 - 15196 Aula: Aula 54	ANALISIS ESTRUCTURAL I 17:30 - 22:15 Comisión: (37552) 46355 - 72604 Aula: Aula 27
INSTALACIONES SANITARIAS Y DE GAS 21:30 - 23:15 Comisión: (37550) 37262 - 59656 Aula: CIVIL		ANALISIS ESTRUCTURAL I 20:45 - 24:00 Comisión: (37552) 74319 - 26039 Aula: CIVIL		

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 5

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ORGANIZACION Y CONDUCCION DE OBRAS 17:30 - 18:15 Comisión: (37498) 82809 - 79147 Aula: Aula 69	CIMENTACIONES 17:30 - 19:00 Comisión: (37556) 80514 - 26044 Aula: Aula 69	ORGANIZACION Y CONDUCCION DE OBRAS 17:30 - 20:30 Comisión: (37498) 72604 - 82809 Aula: Aula 69	ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD 17:30 - 20:30 Comisión: (37554) 30987 - 17921 Aula: Aula 69	VIAS DE COMUNICACION I 17:30 - 19:00 Comisión: (37553) 26039 - 44374 - 80514 Aula: Aula 69
PREFABRICACION 18:15 - 21:30 Comisión: (37555) 9235 - 36522 Aula: Aula 69	VIAS DE COMUNICACION I 19:00 - 24:00 Comisión: (37553) 15196 - 59656 - 44374 Aula: Aula 69	AMBIENTAL 20:45 - 24:00 Comisión: (37557) 79147 - 74319 Aula: Aula 69	CIMENTACIONES 20:45 - 24:00 Comisión: (37556) 35420 - 26044 Aula: Aula 69	
ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD 21:30 - 22:15 Comisión: (37554) 30987 - 17921 Aula: Aula 69				

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 6

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
OBRAS FLUVIALES Y MARITIMAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37562) 33664 - 25208 Aula: L. CIVIL	CONSTRUCCIONES METALICAS Y DE MADERA 17:30 - 21:30 Comisión: (37559) 40009 - 86364 - 14211 Aula: Aula 54	PROYECTO FINAL 17:30 - 22:15 Comisión: (37558) 75970 - 15196 Aula: Civil(43)	INGENIERIA SANITARIA 19:00 - 24:00 Comisión: (37560) 17756 - 36187 Aula: L. CIVIL	PUENTES 17:30 - 22:15 Comisión: (37561) 59656 - 29137 Aula: L. CIVIL
CONSTRUCCIONES METALICAS Y DE MADERA 21:30 - 24:00 Comisión: (37559) 14211 - 40009 - 86364 Aula: L. CIVIL				

Figura 9: Representa la Pantalla Resultado, obtenida del Algoritmo Inicial Aleatorio para carrera IC (O).

A continuación, le sigue la Figura 10 de la carrera Ingeniería Electromecánica que se simboliza con 'X' en sus cinco años de carrera, para cada una de las comisiones formadas a partir del primer cuatrimestre.

Ing. Electromecánica (X)

Año Carrera: 1

Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
INGENIERIA ELECTROMECHANICA I 17:30 - 19:45 Comisión: (37467) 22128 - 42816 - D40163377 Aula: Aula 32	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 22:15 Comisión: (37506) 82366 - 79145 Aula: Aula 25	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 20:30 Comisión: (37506) 31295 - 43860 Aula: Aula 59	SISTEMAS DE REPRESENTACION 19:45 - 23:15 Comisión: (37511) 27395 - 9235 Aula: Aula 25	ANALISIS MATEMATICO I 17:30 - 24:00 Comisión: (37503) 034077491 - 31883 Aula: Aula 32
ANALISIS MATEMATICO I 22:30 - 24:00 Comisión: (37503) 29137 - 31883 Aula: Aula 32	SISTEMAS DE REPRESENTACION 22:30 - 24:00 Comisión: (37511) 27395 - 9235 Aula: Aula 25			

Ing. Electromecánica (X)

Año Carrera: 2

Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
ESTABILIDAD 17:30 - 19:45 Comisión: (37469) 43860 - 44210 - 26050 Aula: Aula 28	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA 19:45 - 24:00 Comisión: (37525) 57256 - 82094 Aula: Aula 23	ANALISIS MATEMATICO II 17:30 - 19:45 Comisión: (37522) 79145 - 23812 Aula: Aula 30	INGLES I 17:30 - 19:00 Comisión: (37629) 22690 Aula: Idioma(77)	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA 17:30 - 18:15 Comisión: (37525) 65869 - 82094 Aula: Aula 23
			INGENIERIA ELECTROMECHANICA II 19:00 - 21:30 Comisión: (37471) 78588 - 22128 Aula: Aula 67	ANALISIS MATEMATICO II 18:15 - 24:00 Comisión: (37522) 82366 - 23812 Aula: Aula 23
			ESTABILIDAD 21:30 - 24:00 Comisión: (37469) 44210 - 57256 - 26050 Aula: Aula 67	

Ing. Electromecánica (X)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
MATEMATICA PARA INGENIERIA ELECTROMECHANICA 17:30 - 21:30 Comisión: (37567) 63659 - 71722 Aula: Eléctrica(75)	ELECTROTECNIA 18:15 - 23:15 Comisión: (37476) 75368 - 30575 Aula: Aula 59	TECNOLOGIA MECANICA 17:30 - 23:15 Comisión: (37540) 18867 - 26048 Aula: Lab. ELECTRO	INGLES II 17:30 - 19:00 Comisión: (37482) 37262 Aula: Aula 32	MATEMATICA PARA INGENIERIA ELECTROMECHANICA 17:30 - 21:30 Comisión: (37567) 44210 - 30773 Aula: Lab. ELECTRO
TERMODINAMICA TECNICA 21:30 - 24:00 Comisión: (37480) 34698 - 18867 - 84984 Aula: Eléctrica(75)		TERMODINAMICA TECNICA 23:15 - 24:00 Comisión: (37480) 65869 - 42608 - 84984 Aula: Lab. ELECTRO	INGENIERIA ELECTROMECHANICA III 19:00 - 21:30 Comisión: (37475) 22690 - 36184 Aula: Aula 32	TECNOLOGIA MECANICA 21:30 - 24:00 Comisión: (37540) 75368 - 26048 Aula: Lab. ELECTRO

Ing. Electromecánica (X)

Año Carrera: 4

Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
MAQUINAS TERMICAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37542) 12070 - 18867 - 42608 Aula: Aula 55	MECANICA DE LOS FLUIDOS Y MAQUINAS FLUIDODINAMICAS 17:30 - 19:00 Comisión: (37487) 19950 - 42608 Aula: Lab. ELECTRO	MAQUINAS TERMICAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37542) 44210 - 12070 - 42608 Aula: Aula 55	MECANICA DE LOS FLUIDOS Y MAQUINAS FLUIDODINAMICAS 19:00 - 20:30 Comisión: (37487) 37262 - 18867 Aula: Aula 59	MEDICIONES ELECTRICAS 17:30 - 24:00 Comisión: (37541) 71722 - 21935 Aula: Eléctrica(75)
MAQUINAS ELECTRICAS 21:30 - 22:15 Comisión: (37490) 42608 - 82364 Aula: Aula 55	ELEMENTOS DE MAQUINAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37485) 30773 - 26050 - D28959321 Aula: Lab. ELECTRO		MAQUINAS ELECTRICAS 20:45 - 24:00 Comisión: (37490) 42608 - 82364 Aula: Aula 59	

Ing. Electromecánica (X)

Año Carrera: 5

Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
MAQUINAS DE ELEVACION Y TRANSPORTE CONTINUO 16:45 - 17:30 Comisión: (37544) 21935 - 16732 Aula: L. ELECTRO	AMBIENTAL 16:45 - 17:30 Comisión: (37547) 84431 - 74319 Aula: L. ELECTRO	REDES DE DISTRIBUCION E INSTALACIONES ELECTRICAS 17:30 - 19:45 Comisión: (37492) 18867 - 63660 Aula: L. ELECTRO	REDES DE DISTRIBUCION E INSTALACIONES ELECTRICAS 17:30 - 19:45 Comisión: (37492) 18867 - 63660 Aula: L. ELECTRO	ORGANIZACION INDUSTRIAL 17:30 - 21:30 Comisión: (37545) 84431 - 22804 Aula: L. ELECTRO
AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL 17:30 - 18:15 Comisión: (37566) 84985 - 84431 Aula: L. ELECTRO	ELECTRONICA DE POTENCIA (electiva) 17:30 - 19:45 Comisión: (37543) 26081 - 79562 Aula: L. ELECTRO	AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL 19:45 - 24:00 Comisión: (37566) 21935 - 84985 Aula: L. ELECTRO	PROYECTO FINAL 19:45 - 22:15 Comisión: (37569) 75970 - 22804 Aula: L. ELECTRO	AMBIENTAL 21:30 - 24:00 Comisión: (37547) 84431 - 74319 Aula: L. ELECTRO
INTRODUCCION AL PROYECTO DE INSTALACIONES INDUSTRIALES (electiva) 18:15 - 23:15 Comisión: (37546) 80512 - 88690 Aula: L. ELECTRO	MAQUINAS DE ELEVACION Y TRANSPORTE CONTINUO 19:45 - 23:15 Comisión: (37544) 21935 - 16732 Aula: L. ELECTRO		MAQUINAS DE ELEVACION Y TRANSPORTE CONTINUO 22:30 - 24:00 Comisión: (37544) 21935 - 16732 Aula: L. ELECTRO	
ELECTRONICA DE POTENCIA (electiva) 23:15 - 24:00 Comisión: (37543) 86547 - 79562 Aula: L. ELECTRO	ORGANIZACION INDUSTRIAL 23:15 - 24:00 Comisión: (37545) D29794595 - 41732 Aula: L. ELECTRO			

Figura 10: Representa la Pantalla Resultado, obtenida del Algoritmo Inicial Aleatorio para la carrera IE (X).

Finalmente, le corresponde la Figura 11, a la carrera Licenciatura en Organización Industrial, mediante '2' en sus cuatro años de carrera, para cada una de las comisiones formadas a partir del primer cuatrimestre.

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 1

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ALGEBRA 17:30 - 22:15 Comisión: (37407) 45672 - 84666 Aula: Aula 56	INGLES I 17:30 - 19:45 Comisión: (37610) 22690 Aula: Aula 32	ORGANIZACION INDUSTRIAL I 17:30 - 22:15 Comisión: (37481) 82366 - 39128 Aula: Aula 32		QUIMICA 17:30 - 18:15 Comisión: (37422) 37182 - 38758 Aula: Química(20)
	QUIMICA 19:45 - 24:00 Comisión: (37422) 37182 - 38758 Aula: Química(20)	ALGEBRA 22:30 - 24:00 Comisión: (37407) 45672 - 84666 Aula: Aula 32		INFORMATICA I 18:15 - 23:15 Comisión: (37421) 34695 - 40299 Aula: Aula 29
				ALGEBRA 23:15 - 24:00 Comisión: (37407) 84666 - 45672 Aula: Aula 29

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 2

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
CONOCIMIENTO DE MATERIALES 17:30 - 20:30 Comisión: (37430) 78381 - 31304 - 30225 Aula: Aula 79	INGLES II 17:30 - 19:00 Comisión: (37568) 37262 Aula: Idioma(77)	INFORMATICA II 17:30 - 22:15 Comisión: (37433) 40299 Aula: Aula 79	CONOCIMIENTO DE MATERIALES 17:30 - 19:00 Comisión: (37430) 78381 - 30225 - 31304 Aula: Aula 33	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA 18:15 - 23:15 Comisión: (37436) 40299 - 19272 Aula: Aula 79
	ORGANIZACION INDUSTRIAL II 19:00 - 24:00 Comisión: (37483) 22690 - 30987 - 82366 Aula: Aula 79	COSTOS 22:30 - 24:00 Comisión: (37432) 35756 - 33666 Aula: Aula 79	INGLES II 19:00 - 19:45 Comisión: (37568) 37262 Aula: Idioma(77)	
			COSTOS 20:45 - 24:00 Comisión: (37432) 33666 - 35756 Aula: Aula 33	

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
SISTEMAS Y METODOS ADMINISTRATIVOS 17:30 - 21:30 Comisión: (37454) 35756 - 78803 Aula: Aula 23	INGENIERIA DE CALIDAD 17:30 - 21:30 Comisión: (37486) 42459 - 036318434 Aula: Aula 27	LEGISLACION 17:30 - 18:15 Comisión: (37449) 39288 Aula: Aula 29	PLANIFICACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION 17:30 - 19:45 Comisión: (37456) 17545 - 46350 Aula: Aula 79	ORGANIZACION INDUSTRIAL III 17:30 - 19:45 Comisión: (37484) 32814 - 42459 Aula: Aula 59
PLANIFICACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION 21:30 - 24:00 Comisión: (37456) 46350 - 17545 Aula: Aula 23	ORGANIZACION INDUSTRIAL III 21:30 - 24:00 Comisión: (37484) 37262 - 18867 Aula: Aula 27	ECONOMIA DE LA EMPRESA 18:15 - 23:15 Comisión: (37443) 40299 Aula: Aula 29	SISTEMAS Y METODOS ADMINISTRATIVOS 19:45 - 20:30 Comisión: (37454) 78803 - 35756 Aula: Aula 79	LEGISLACION 19:45 - 24:00 Comisión: (37449) 82094 Aula: Aula 59

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 4

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
EVALUACION DE PROYECTOS 20:45 - 23:15 Comisión: (37463) 52778 - 30325 Aula: LOI(61)	COMERCIO EXTERIOR 17:30 - 22:15 Comisión: (37662) 59016 - 36368 Aula: LOI(61)	EVALUACION DE PROYECTOS 19:00 - 24:00 Comisión: (37463) 32814 - 30325 Aula: LOI(61)	PROYECTO FINAL 17:30 - 22:15 Comisión: (37488) 41886 - 52778 Aula: LOI(61)	GESTION DE PYMES 18:15 - 24:00 Comisión: (37466) 36368 - 39288 Aula: LOI(61)
	GESTION DE PYMES 22:30 - 24:00 Comisión: (37466) 52778 - 39288 Aula: LOI(61)			

Figura 11: Representa la Pantalla Resultado, obtenida del Algoritmo Inicial Aleatorio para la carrera LOI (2).

Para proporcionar un carácter diferente de la solución ya expresada anteriormente como Resultado por Carrera, se plantea en la Tabla N° 4 el Resultado por Aula, el cual difiere significativamente debido a que resume aún más los datos. Aquí se especifica por días de la semana, de lunes a viernes en forma de columnas y se distribuye por aulas, en filas donde cada celda se muestra una cadena compuesta por identificación de la carrera, año de la carrera, luego el período de tiempo en el cual se usa dicha aula para ese día; entre paréntesis, la comisión. A modo de ejemplo, se presenta la Figura 12, esta forma tiene la funcionalidad de determinar si un aula está ocupada en un determinado día y horario.

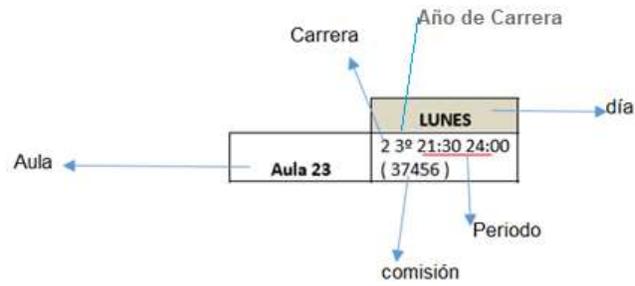


Figura 12: Representa los datos en la Tabla N° 3.

Corresponde la siguiente lectura: para el día lunes (columna), la dimensión de la fila establece que el aula veintitrés (23) está ocupada por '2' quién determina la carrera, en este caso es la Licenciatura en Organización Industrial, continúa un 3º: es tercer año de esa carrera, luego, tiene lugar el período de 21:30 hs. a 24:00 hs. y por último la comisión (37456).

La Figura 7 se extrae de la Figura 11, donde su leyenda pertenece a la misma carrera '2' al tercer año de la carrera, el día lunes en el periodo 21:30 a 24:00 hs. comisión (37456) se le asocia la materia "PLANIFICACIÓN y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN", cuyos legajos de docentes son 46350 y 17545, en forma resumida se identifica dicha información en la Figura 13, es parte también, de la Figura 11.

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miercoles:
SISTEMAS Y METODOS ADMINISTRATIVOS 17:30 - 21:30 Comisión: (37454) 35756 - 78803 Aula: Aula 23	INGENIERIA DE CALIDAD 17:30 - 21:30 Comisión: (37486) 42459 - D36318434 Aula: Aula 27	LEGISLACION 17:30 - 18:15 Comisión: (37449) 39288 Aula: Aula 29
<b>PLANIFICACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION 21:30 - 24:00 Comisión: (37456) 46350 - 17545 Aula: Aula 23</b>	ORGANIZACION INDUSTRIAL III 21:30 - 24:00 Comisión: (37484) 37262 - 18867 Aula: Aula 27	ECONOMIA DE LA EMPRESA 18:15 - 23:15 Comisión: (37443) 40299 Aula: Aula 29

Figura 13: Representa los datos desplegados en las pantallas.

A continuación, se puede ver la Tabla N° 4:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Química(20)	K 1º 19:00 - 24:00 (37412)	2 1º 19:45 - 24:00 (37422)			2 1º 17:30 - 18:15 (37422)
Aula 23	2 3º 17:30 - 21:30 (37454) 2 3º 21:30 - 24:00 (37456)	X 2º 19:45 - 24:00 (37525)	2 2º 17:30 - 22:15 (37433)		X 2º 17:30 - 18:15 (37525) X 2º 18:15 - 24:00 (37522)
Aula 25	O 1º 17:30 - 22:15 (37473)	X 1º 17:30 - 22:15 (37506) X 1º 22:30 - 24:00 (37511)	O 1º 17:30 - 19:45 (37491) O 1º 19:45 - 22:15 (37489) O 1º 22:30 - 24:00 (37510)	X 1º 19:45 - 23:15 (37511)	
Aula 27		2 3º 17:30 - 21:30 (37486) 2 3º 21:30 - 24:00 (37484)	K 2º 17:30 - 19:45 (37418) K 2º 19:45 - 23:15 (37452)	O 1º 17:30 - 20:30 (37473) O 1º 20:45 - 24:00 (37501)	O 4º 17:30 - 22:15 (37552)
Aula 28	X 2º 17:30 - 19:45 (37469)		O 2º 19:00 - 21:30 (37493)		
Aula 29		K 2º 19:00 - 24:00 (37453)	2 3º 17:30 - 18:15 (37449) 2 3º 18:15 - 23:15 (37443)		2 1º 18:15 - 23:15 (37421) 2 1º 23:15 - 24:00 (37407)
Aula 30	O 3º 17:30 - 24:00 (37549)	O 3º 17:30 - 22:15 (37529)	X 2º 17:30 - 19:45 (37522)	O 3º 17:30 - 20:30 (37496) O 3º 20:45 - 24:00 (37529)	
Aula 31		K 1º 18:15 - 23:15 (37410)			O 1º 17:30 - 19:00 (37510)
Aula 32	X 1º 17:30 - 19:45 (37467) X 1º 22:30 - 24:00 (37503)	2 1º 17:30 - 19:45 (37610)	2 1º 17:30 - 22:15 (37481) 2 1º 22:30 - 24:00 (37407)	X 3º 17:30 - 19:00 (37482) X 3º 19:00 - 21:30 (37475)	X 1º 17:30 - 24:00 (37503)
Aula 33			K 3º 17:30 - 22:15 (37429)	2 2º 17:30 - 19:00 (37430) 2 2º 20:45 - 24:00 (37432)	
Aula 34	K 4º 17:30 - 24:00 (37437)		K 4º 17:30 - 19:00 (37460) K 4º 19:00 - 24:00 (37459)	K 4º 17:30 - 24:00 (37439)	K 4º 17:30 - 20:30 (37435) K 4º 20:45 - 23:15 (37460)
Civil(43)			O 6º 17:30 - 22:15 (37558)		
Física(51)	X 4º 17:30 - 24:00 (37541)	K 3º 17:30 - 22:15 (37423)		K 3º 20:45 - 24:00 (37423)	
Aula 53	K 1º 17:30 - 19:00 (37408)		K 1º 17:30 - 18:15 (37413)	K 1º 17:30 - 24:00 (37408)	
Aula 54	K 2º 17:30 - 21:30 (37418)	O 6º 17:30 - 21:30 (37559)	O 4º 22:30 - 24:00 (37551)		
Aula 55	X 4º 17:30 - 21:30 (37542) X 4º 21:30 - 22:15 (37490)		X 4º 17:30 - 21:30 (37542)	K 2º 17:30 - 23:15 (37416)	K 1º 17:30 - 19:45 (37451) K 1º 19:45 - 24:00 (37413)
Aula 56	2 1º 17:30 - 22:15 (37407)				
Aula 57		O 4º 17:30 - 24:00 (37551)		O 2º 17:30 - 19:45 (37518) O 2º 19:45 - 24:00 (37517)	
Aula 59		X 3º 18:15 - 23:15 (37476)	X 1º 17:30 - 20:30 (37506)	X 4º 19:00 - 20:30 (37487) X 4º 20:45 - 24:00 (37490)	2 3º 17:30 - 19:45 (37484) 2 3º 19:45 - 24:00 (37449)
Aula 60					
LOI(61)	2 4º 20:45 - 23:15 (37463)	2 4º 17:30 - 22:15 (37662) 2 4º 22:30 - 24:00 (37466)	2 4º 19:00 - 24:00 (37463)	2 4º 17:30 - 22:15 (37488)	2 4º 18:15 - 24:00 (37466)
Aula 67			O 3º 17:30 - 19:00 (37496) O 3º 19:00 - 22:15 (37530)	X 2º 19:00 - 21:30 (37471) X 2º 21:30 - 24:00 (37469)	
Aula 68				K 3º 17:30 - 20:30 (37431)	
Aula 69	O 5º 17:30 - 18:15 (37498) O 5º 18:15 - 21:30 (37555) O 5º 21:30 - 23:15 (37554)	O 5º 17:30 - 19:00 (37556) O 5º 19:00 - 24:00 (37553)	O 5º 17:30 - 20:30 (37498) O 5º 20:45 - 24:00 (37557)	O 5º 17:30 - 20:30 (37554) O 5º 20:45 - 24:00 (37556)	O 5º 17:30 - 19:00 (37553)
Eléctrica(75)	X 3º 17:30 - 21:30 (37567) X 3º 21:30 - 24:00 (37480)				X 4º 17:30 - 24:00 (37541)
Aula 76		O 3º 17:30 - 22:15 (37529)			
Idioma(77)		2 2º 17:30 - 19:00 (37568)	O 2º 17:30 - 19:00 (37563) O 3º 22:30 - 24:00 (37564)	X 2º 17:30 - 19:00 (37629) 2 2º 19:00 - 19:45 (37568)	K 2º 17:30 - 19:00 (37637)
Aula 78	O 2º 17:30 - 18:15 (37494) O 2º 18:15 - 24:00 (37518)				
Aula 79	2 2º 17:30 - 20:30 (37430)	2 2º 19:00 - 24:00 (37483)	2 2º 22:30 - 24:00 (37432)	2 3º 17:30 - 19:45 (37456) 2 3º 19:45 - 20:30 (37454)	2 2º 18:15 - 23:15 (37436)
CIVIL	O 4º 17:30 - 21:30 (37497) O 4º 21:30 - 23:15 (37550)	O 1º 17:30 - 22:15 (37501)	O 4º 17:30 - 20:30 (37550) O 4º 20:45 - 24:00 (37552)		
L. CIVIL	O 6º 17:30 - 21:30 (37562) O 6º 21:30 - 24:00 (37559)	O 2º 17:30 - 21:30 (37517) O 2º 21:30 - 24:00 (37494)		O 6º 19:00 - 24:00 (37560)	O 6º 17:30 - 22:15 (37561)
L. ELECTRO	X 5º 16:45 - 17:30 (37544) X 5º 17:30 - 18:15 (37566) X 5º 18:15 - 23:15 (37546) X 5º 23:15 - 24:00 (37543)	X 5º 16:45 - 17:30 (37547) X 5º 17:30 - 19:45 (37543) X 5º 19:45 - 23:15 (37544) X 5º 23:15 - 24:00 (37545)	X 5º 17:30 - 19:45 (37492) X 5º 19:45 - 24:00 (37566)	X 5º 17:30 - 19:45 (37492) X 5º 19:45 - 22:15 (37569) X 5º 22:30 - 24:00 (37544)	X 5º 17:30 - 21:30 (37545) X 5º 21:30 - 24:00 (37547)
Lab. ELECTRO		X 4º 17:30 - 19:00 (37487) X 4º 19:00 - 24:00 (37485)	X 3º 17:30 - 23:15 (37540) X 3º 21:30 - 24:00 (37480)		X 3º 17:30 - 21:30 (37567) X 3º 21:30 - 24:00 (37540)
LISI(SISTEMAS)	K 3º 17:30 - 20:30 (37457) K 3º 20:45 - 24:00 (37431)				K 3º 17:30 - 19:00 (37645) K 3º 19:00 - 24:00 (37455)
LISI II(SISTEMAS)	K 5º 17:30 - 22:15 (37462) K 5º 22:30 - 24:00 (37450)	K 5º 17:30 - 20:30 (37444)	K 5º 17:30 - 19:00 (37448) K 5º 19:00 - 24:00 (37446)	K 5º 17:30 - 20:30 (37450) K 5º 20:45 - 24:00 (37444)	K 5º 17:30 - 21:30 (37445) K 5º 21:30 - 24:00 (37448)

Tabla 4 - Representa la disposición de las aulas en los días de la semana para la solución Algoritmo Inicial Aleatorio.

### 4.3. Conclusión

Para cerrar esta sección, se pudo experimentar que el problema de Horarios de la UTN FRCU posee una gran complejidad tanto en su modelo como en su desarrollo, lo cual se fundamenta con lo que fue escrito por Garey M. y Johnson D. [31], cuando lo clasifica como problema NP-Completo.

Si bien, los problemas de optimización aparecen por la necesidad que muestran ciertos sectores de las organizaciones, este no es la excepción. Su fin principal es la optimización de un objetivo, - construir un cronograma donde todos los eventos deban asignarse al horario con sus respectivas aulas -, bajo gran número de posibles soluciones. Este efecto hace que sea necesaria la implementación de algoritmos de resolución.

El éxito de dicha implementación se mide de dos diferentes modos: en el primer caso, la medida del éxito es la administración de recursos, se pudo comprobar la asignación total de todos los eventos, dichos valores están obviamente influenciados por cómo está restringido el horario. En el otro caso, está dada por el valor de la función objetivo para la mejor solución, tal valor tiene un significado práctico y directo; minimizar las violaciones de las restricciones que no son Básicas, lo cual aumenta la calidad de la solución calculando la función de penalización en la medida en que un horario ha infringido sus restricciones Adicionales y de Preferencia. En ambos casos, los resultados se comparan con los hechos "a mano".

Atento a esta idea, el Algoritmo Búsqueda Inicial Aleatoria se diseñó, desde una programación restrictiva, para crear un horario factible - una solución sin ninguna violación de restricciones Básica y, donde el número de violaciones de las restricciones Adicionales y de Preferencia no necesariamente es cero (valor de la FO) - para las cuatro carreras de la Facultad, y el cual se proporciona como parámetro de entrada que da funcionalidad al método heurístico proyectado en el Capítulo siguiente de esta propuesta algorítmica.

Las instancias de resultados al azar satisfacen las restricciones básicas, planteadas en el Capítulo anterior, y definen una región factible significativamente amplia, la cual no garantiza la obtención de una solución óptima, aunque cumple con programar la lista de eventos semanales del número de carreras de grado, que es oferta académica de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional, con sus listas de materias, con sus correspondientes docentes y estudiantes, dispuestas en las adecuadas aulas, utilizando tiempos computacionales, en el orden de los segundos, que se determinaron tomando como partida la hora de comienzo de ejecución del algoritmo y de fin cuando se consigue el calendario; cuyos tiempos computacionales son muy razonables, siendo consecuencia de la propiedad de aleatoriedad que presenta el algoritmo, que permite que el mismo evoluciona dinámicamente en el tiempo de ejecución y en la administración de los recursos involucrados.

Este Algoritmo, se desarrolló a través de pautas, datos e información que se obtuvieron por medio de las encuestas realizada a cada director de departamento y al personal no docente de esta Regional; quienes dieron a conocer las opiniones, las actitudes, asimismo, la documentación que rige en esta Institución, la manera de generar el horario de las carreras y

su correspondiente asignación de las aulas, realizada manualmente. El conjunto de datos reales fue suministrado por la secretaría de TIC' s de esta misma Facultad, los cuales sirvieron para efectuar las pruebas y el análisis que se llevaron a cabo en la presentación experimental (Sección 4.2).

De los resultados expuestos se concluye que el método propuesto converge a un punto factible, dicho valor representa la mejor de las instancias de resultados obtenidas tras la generación treinta diferentes soluciones aleatorias con distintas configuraciones, que se obtuvieron para dar variabilidad, provocando una sucesión de valores proporcionada por la Función Objetivo, quien tomó valores más bien altos que se presentan con gran amplitud y dispersión dentro del rango de la FO, lo cual demuestra que no se obtuvieron resultados óptimos. Es importante resaltar que el mejor calendario conseguido se alcanzó sin la intervención del usuario, es decir se creó el horario de las carreras en el modo AUTO donde la programación de las asignaciones se hacen mecánicamente y la penalización es mucho menor debido a que se comprueba la disponibilidad de los recursos cuando el horario está inicialmente vacío, esta característica marca la diferencia cuando la aplicación se corre en como parámetros fijo (MANUAL) ya que requiere el ingreso manual de ciertos datos por medio del usuario que se planifican como predeterminado, consecuentemente, el horario se inicia con dichos datos al momento de ejecutarse; sus resultados cumplen ciertas restricciones de Preferencia que se suman a las Básicas, ganando calidad en la solución ya que atienden a determinadas particularidades de los docentes y de los departamentos, aunque en esta instancia solo se valora la factibilidad.

La medida del éxito en la administración de recursos está comprobada se creó un calendario viable y el valor de la función objetivo se redujo, tras la ejecución de treinta posibles soluciones, se obtuvo el menor dentro de un comportamiento aceptables del método. Además, la aleatoriedad en esta técnica, permitió reducir los errores, para acotar el tiempo de ejecución, lo cual ayudó a la performance del algoritmo. Si se hace una comparación con los horarios hechos "a mano", se expresa que dicho algoritmo produce resultados superiores a los manuales en tiempo.

Se prueba la efectividad del Algoritmo Inicial Aleatorio cuyo principal objetivo fue alcanzado exitosamente, de esta forma, se presenta el Horario preliminar para el primer cuatrimestre del turno  $t_s$ =tarde/noche de UTN FRCU, el cual sirve como la base inicial que desencadena la operatividad de la metaheurística que se aplica en Capítulo 5.

# Capítulo 5

## Modelo de solución con Búsqueda Local Básica

En este apartado se presenta una de las posibles soluciones mejoradas al problema en cuestión mediante el modelo de solución con Búsqueda Local Básica (BLB). La propuesta algorítmica diseñada requiere de un horario existente que es el mejor reportado del Capítulo anterior. Se plantea en cinco secciones: la parte 5.1. describe el origen de la técnica y después, la definición formal de la Búsqueda Local Básica y a su vecindario; luego 5.2. recae en el diseño del algoritmo propuesto; la sección 5.3. se encarga de las pruebas y los resultados; en la 5.4. se hace una relación entre los dos modelos: Modelo de Solución con Búsqueda Local Básica con Modelo de Solución Inicial Aleatoria (del Capítulo 4). Para finalizar, se hace una breve conclusión del algoritmo tratado -BLB-.

### 5.1. Búsqueda Local Básica

“Heurística” es un concepto que viene desde la Grecia clásica, originado de la palabra griega *heuriskein* cuyo significado es encontrar o descubrir; etimológicamente se orienta al estudio del descubrimiento y la invención. Implica, la tarea de resolver problemas inteligentemente utilizando la información disponible.

La Búsqueda Local se remonta a 1950, es tal vez el método más antiguo y simple de la metaheurística; en los años subsiguientes más precisamente en la década del ochenta, la investigación de los problemas de optimización se centra en el diseño de estrategias generales, la misma, constituye la base para muchas de técnicas usadas y su alcance se amplió hasta incluir aplicaciones a problemas de toda índole apoyado en la utilización del concepto de vecindario (neighborhood).

Frecuentemente, el término “local” se utiliza en las metaheurísticas de búsqueda, y se asocia el concepto de vecindario como manifestación de proximidad o cercanía entre las soluciones alternativas del problema. Los algoritmos basados en esta estrategia exploran el espacio de búsqueda para decidir cómo continuar el recorrido, o terminar en un punto donde el resultado sólo sea el óptimo aparentemente.

En la clasificación de heurística descrita en el Capítulo 2, este método es basado en Trayectoria y sigue un procedimiento simple pero muy efectivo; parte de una solución inicial, la cual puede ser obtenida aleatoriamente o mediante algún proceso más complejo<sup>20</sup>; después se

---

<sup>20</sup> En esta tesis se seleccionó el proceso más complejo para obtener una solución inicial. Para ello se desarrolló parte de la aplicación, la cual devuelve como resultado una solución factible - Capítulo 4.

realiza la búsqueda de posibles soluciones que mejoren el valor de la FO. Esta búsqueda se efectúa mediante la aplicación de algún tipo de movimiento en el vecindario. Si la encuentra, se reemplaza su solución inicial por la nueva y continúa con el método, hasta que no se pueda mejorar la solución actual, según Hoos H. y Stützle T [39].

Sin dudas, el diseño del vecindario es crucial para el desempeño de este, y de muchos otros algoritmos. En general, el vecindario se define como todas las posibilidades de soluciones que se obtienen a partir de ciertos movimientos definidos en la solución inicial. El algoritmo va tomando decisiones por medio de la regla de pivoteo (pivoting rule), la misma explica el cómo se busca en el vecindario y cuál vecino se usa en el reemplazo, donde el criterio de selección puede ser:

- El mejor vecino de todos (best-improvement rule).
- El primer vecino que mejora la solución (first-improvement rule).

Esta heurística tiene la ventaja de encontrar soluciones muy rápidamente pero su inconveniente es quedar atrapado en mínimos locales.

## Vecindario

Un vecindario de una solución se define como el conjunto de todos aquellos resultados que pueden ser alcanzables a partir de una solución  $s'$  por medio de un movimiento  $\sigma$ , un movimiento puede ser un intercambio entre elementos<sup>21</sup> que conforman la solución  $s$ .

$$N(s) = \{s' \in S : s \xrightarrow{\sigma} s'\}$$

Donde  $N(s)$  representa el vecindario con respecto a  $s$ ,  $s$  es una solución tomada del espacio total de soluciones  $S$  y sea  $s'$  el vecino de  $s$  generado a partir de movimientos.

OP es una combinación de cuatro movimientos simples que se realizan en forma consecutiva, de acuerdo a la secuencia determinada como: OP1, OP2, OP3, OP4.

Estos cuatro tipos de movimientos en un horario involucran eventos, y establece un vecindario denominado  $N$ , el cual se obtiene de aplicar OP. Dicho vecindario  $N$  se define como la unión de estos cuatro movimientos:  $N = N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4$ , tal como lo expone Rossi Doria O. et al. [62].

Los movimientos OP, deben ser aplicados sin violar las restricciones Básicas, las que fueron detalladas en el Capítulo 3, los mismos son:

OP1: tarea de tipo 1; mueve un evento de un intervalo de tiempo a otro intervalo de tiempo; dónde hora de inicio y hora de fin coinciden con el intervalo de tiempo libre (slot desocupado o no asignado) que será destino a mover.

---

<sup>21</sup> El término "Elemento" es sinónimo de vecino.

OP2: tarea de tipo 2; intercambia dos eventos en dos intervalos de tiempo igual, apto para realizar esta tarea. Swapping (intercambio).

OP3: tarea de tipo 3; permuta tres eventos en tres intervalos de tiempo distintos, en una de las dos formas posibles (OP1 y/o OP2).

La asignación de las aulas es atendida por el algoritmo de coincidencia, este proceso identifica la cantidad de inscripciones de la comisión referenciada en el evento, y busca el aula disponible con la capacidad que más se ajuste a dicha cantidad (error aceptable hasta cinco<sup>22</sup>). Para cada movimiento (OP1, OP2, OP3) se vuelve a aplicar el método de coincidencia a los intervalos de tiempo afectados, de acuerdo OP4.

OP4: tarea de tipo 4; intercambia dos aulas en dos intervalos de tiempo compatibles, aptos para realizar esta tarea (afecta parcialmente el evento).

## 5.2. Algoritmo de la Búsqueda Local Básica

La Figura 14 es el esquema del algoritmo propuesto. Considera el tamaño  $s$  del vecindario  $N$ , utiliza la Búsqueda Local con el criterio de primera mejora, es decir, que según la regla de pivoteo anteriormente descrita, la que se implementa es “El primer vecino que mejora la solución (first-improvement rule)”. Además, supone un orden de tipo de movimiento con la forma OP1, OP2, OP3, OP4 para cada evento involucrado.

```
{
x /* Solución Inicial*/
mientras x no sea óptimo local hacer
  Generar Vecindario  $N_s$  /*siguiendo el orden 1,2,3 respectivamente */
  si no existe solución  $N_s$  entonces
    Terminar
  sino
     $x_1 \in N_s$  /* Se aplica el algoritmo de coincidencia*/
    Evaluar la función objetivo con  $F(x_1) < F(x)$ 
     $x \leftarrow x_1$ 
    Seleccionar la mejor  $F'(x)$  es factible
  fin si
finMientras
Retorno  $F'(x)$  /* Solución óptimo local*/
}
```

Figura 14: Representa el pseudocódigo del algoritmo en Búsqueda Local Básica.

Como se expresó en la sección anterior, la BLB requiere de una solución inicial  $F(x)$ , además se mencionó que es tomada del Capítulo 4 generada por el Algoritmo Inicial Aleatorio, calificada como “la mejor”, según el juicio de selección planteado, de minimizar la Función Objetivo. Este parámetro de entrada es la mejor solución hasta el momento, de la cual se aplica

<sup>22</sup> Este error está determinado intuitivamente, ya que, se pensó como cinco bancos vacíos no muestra un gran desperdicio en el aula, más sí.

el algoritmo de la Figura 14 para optimizar el resultado sin violar las restricciones Básicas e intentado satisfacer las restricciones Adicionales; el método va tomando decisiones de acuerdo a la calidad de los vecinos (evalúa “Aceptar si es mejor”).

Por ejemplo, para el evento  $e$ , los movimientos siguen un orden, primero se intenta mover el evento  $e$  al siguiente intervalo de tiempo, luego al siguiente, después al siguiente, y así sucesivamente. Si la búsqueda a través de  $N_1$  falla, entonces se mueve mediante el vecindario  $N_2$ , tratando de intercambiar el evento  $e$  con el siguiente de la lista, luego con el siguiente, etc. Lo mismo ocurre para  $N_3$ . En cada movimiento realizado se debe aplicar el algoritmo de coincidencia a los intervalos de tiempo afectado y evaluar la FO. La Búsqueda Local finaliza si no se encuentra ninguna mejora después de intentar todos los movimientos posibles en cada evento del horario.

Este procedimiento puede ofrecer una medida de bondad de la solución encontrada, pero no garantiza que el resultado obtenido sea el óptimo global del problema. Se trata de una técnica heurística para encontrar soluciones aproximadas, dichas soluciones deben contemplar las características propias de la UTN FRCU citadas en el Capítulo 1, y su resultado final (Scheduling) depende fuertemente de la solución inicial (reportado por el Algoritmo Inicial Aleatorio).

Se establecen ciertos criterios que impactan en la Función Objetivo, considerando la puntualización de las penalizaciones definidas en Capítulo 3 (Sección 3.2):

- Criterio de desperdicio de espacio. Con este se intenta minimizar la utilización de espacios físicos o el desperdicio de los mismos por no tener asignación en determinados intervalos de tiempo dentro del horario. Asimismo, se contempla no tener horas de sándwich y respetar los recreos para lograr en el mejor de los casos, un horario equilibrado. Igualmente, minimizar el desperdicio con respecto a la asignación de las aulas implica que la diferencia entre la cantidad requerida y la capacidad del aula seleccionada sea menor a cinco.
- Criterio de horas entre eventos. Se quiere minimizar el tiempo entre eventos, es decir, optimizando los bloques contiguos entre los mismos, de ser posible se les aplica este criterio a los docentes, sea este ejemplo para explicar cómo se emplea: para un docente determinado que se encuentra en dos eventos distintos del mismo día, entonces las horas de fin de un evento son contiguas si el otro evento tiene horas inicio secuencialmente definidas como siguiente<sup>23</sup>.

Seguidamente, se detallan las operaciones de la sección 4.1., que son reutilizadas para la BLB y se aplican al algoritmo tratado:

- Proceso de Selección, se elige aleatoriamente el evento.
- Proceso de Validación, se verifica si el evento es viable de ser movido.
- Acción (proceso de asignación) que realiza el intercambio entre dos eventos seleccionados y aptos para mover, de acuerdo a los movimientos enumerados en vecindario de la sección 5.1. (OP1, OP2, OP3, OP4).

Estos procesos producen un efecto, el cual operacionalmente impacta en las filas y/o las columnas de las tablas que almacenan los registros de datos de la siguiente forma:

---

<sup>23</sup> De acuerdo a cómo se almacenan en la tabla de la base de datos (filas).

**Asocia**, sea un evento seleccionado; se acciona aplicando filas (se refiere al dimensión que vincula a un evento propiamente dicho de acuerdo a Figura 3 en Capítulo 3 sección 3.1.).

**Equilibrio**, chequea el horario factible generado y verifica que esté equilibrado, es decir, que cada año de la carrera (curso) tenga comisiones asignadas en todos los días de la semana y en caso de no cumplir con este criterio se penaliza. Este operador acciona a través de filas y columnas; se entiende por filas tal como se citó en Asocia - a un evento establecido -, mientras que en la dimensión columnas corresponden al año de una determinada carrera.

**bl\_continuos**, comprueba si hay continuidad en el tiempo, es decir, si no se presentan las bien llamadas “horas de sándwich”. En caso de existen dichas horas, entonces se registra su violación por medio de la reglas de penalización del Capítulo 3. Este opera a través de filas y columnas. Se asocia por filas a un evento determinado, y se determina la dimensión columnas corresponde al año de una carrera particular con respecto horas iniciales y horas finales.

**Recreos**, se encarga de chequear los horarios de los recreos que están establecidos por la reglamentación académica. En caso de no cumplirse se penaliza. La operación se acciona mediante filas. Aquí la dimensión asociada corresponde a un evento determinado.

**una\_hora**, elige aquellos eventos que tienen un tiempo asignado de una hora cátedra correspondiente a 45 min (dcu)<sup>24</sup> operando mediante filas y columnas. De igual manera que los anteriores, la dimensión fila se vincula con un evento, y por columna se asocia a un curso (año carrera, carrera, comisión).

**Aptitud**, chequea que un aula presente el menor desperdicio de espacio viable, de no ser posible se penaliza según a lo definido en Capítulo 3 sección 3.2., Se acciona mediante filas, es decir su dimensión involucra un evento.

La Búsqueda Local impacta directamente en no violar las restricciones Básicas por lo que sus búsquedas caen siempre en regiones de resultados factibles. Este algoritmo pretende mejorar el horario existente que se pasó como parámetro para que este opere, a su vez, intenta satisfacer las restricciones adicionales (planteadas en el Capítulo 1), en este aspecto, aquellas que son cumplidas suman calidad a los resultados, ya que se tratan de condiciones propias de la Institución. Si bien, las restricciones contribuyen a la complejidad del problema, obedeciendo a ellas en su totalidad, se logra un calendario universitario viable con un grado de excelencia en la solución. Para hacer memoria de las implicancias de las restricciones adicionales, se las enumera a continuación:

- Un horario más equilibrado durante la semana, es decir, existen asignaciones de eventos todos los días y de ser posible se nivela la carga horaria.
- Bloques horarios contiguos.
- Espacios de descanso (recreos).
- Desperdicio de espacio en las aulas.

A partir de ellas, se fijan las pautas para moverse a través de tres conceptos: espacio, tiempo, y acción; además, se determinan los posibles eventos candidatos a aplicar los movimientos definidos en el algoritmo diseñado.

---

<sup>24</sup> dcu: día curso una hora asignada.

La forma de accionar de la técnica es: inicia su búsqueda a partir del horario existente, realizando todos los movimientos necesarios, respetando las restricciones Básicas e incorporando las Adicionales, ya que estas últimas, pretenden alcanzar ciertas metas de acuerdo a la política institucional, las cuales incorporan calidad en la solución. Los movimientos mencionados definen el vecindario<sup>25</sup>, del cual se selecciona el resultado que redujo el valor de la función objetivo, mediante el criterio elegido, según la regla de pivote: “El primer vecino que mejora la solución”; si se encuentra, se reemplaza la solución actual por la nueva y continúa con el proceso, hasta no poder mejorar la solución existente, es decir, la búsqueda se detiene cuando todos los vecinos candidatos son peores que la solución actual, lo que significa que se alcanzó un óptimo.

### 5.3. Presentación Experimental

En este apartado se exhibirán los resultados alcanzados por este método - BLB-, diseñado para resolver el problema académico: Timetabling de UTN FRCU. La metodología de trabajo es igual a la efectuada en el Capítulo anterior, por tal motivo se omiten las definiciones tales como Figura 7 y 12 respectivamente, asimismo, con el fin de equiparar todas las pruebas de las tres propuestas algorítmicas se generan treinta instancias de resultado por cada método, las cuales se representan en una tabla con un aspecto similar, así pues, se sugiere la posibilidad de una variedad de horarios de cursada, ordenados según su penalidad; del mismo modo se presentan las Figuras que son producto de los reportes que se exhiben según los Resultados por Carrera y los Resultado por Aula.

En la Tabla N° 5, que aparece más abajo, se muestran las treinta instancias de solución que fueron producto de ejecutar este algoritmo con la misma solución inicial. Dicha Tabla se conforma de tres columnas: la primera no identificada representa el orden de ejecución, la segunda columna distinguida como Valor FO simboliza el valor que alcanza la Función Objetivo, luego se nombra como Solución muestra la forma que va obteniendo según el orden de cómo se fue generando la solución por carrera en la BLB, seguidamente, se designa después del signo “:” un valor que define la cantidad de movimientos realizados (mov) - a modo de ejemplo se selecciona la primera fila que indica “40 mov”, corresponde a leer cuarenta movimientos realizados en ese vecindario - dichos movimientos son los definidos en la sección 5.1.-, la última columna es el Tiempo de ejecución el cual se mide en segundos, la grilla está ordenada por orden de ejecución ascendentemente, siendo la mínima puntuación de la FO obtenida, igual a 18675, cuya justificación se expresa de acuerdo al planteo definido en el Capítulo 1 de minimizar la violación de las restricciones, se indica en la fila ocho resaltada en negrita.

---

<sup>25</sup> todas las posibilidades de soluciones que se obtienen a partir de ciertos movimientos definidos en la solución inicial.

	Valor FO	Solución	Tiempo
1	19340	2 K O X (BL)- (DIA: 2 3 4 5 1 ): 54 mov	00:38
2	19940	O X 2 K (BL)- (DIA: 4 5 1 2 3 ): 50 mov	00:43
3	19040	X 2 K O (BL)- (DIA: 4 5 1 2 3 ): 51 mov	00:39
4	20105	2 K O X (BL)- (DIA: 4 5 1 2 3 ): 63 mov	00:40
5	20035	2 K O X (BL)- (DIA: 3 4 5 1 2 ): 61 mov	00:40
6	20020	X 2 K O (BL)- (DIA: 4 1 2 3 5 ): 60 mov	00:39
7	19975	2 K O X (BL)- (DIA: 5 1 2 3 4 ): 62 mov	00:44
8	<b>18675</b>	<b>X 2 K O (BL)- (DIA: 5 1 2 3 4 ): 40 mov</b>	<b>00:36</b>
9	19355	2 K O X (BL)- (DIA: 2 3 4 5 1 ): 56 mov	00:39
10	18935	2 K O X (BL)- (DIA: 3 4 5 1 2 ): 44 mov	00:37
11	19935	2 O K X (BL)- (DIA: 4 5 1 2 3 ): 53 mov	00:37
12	19245	X K O 2 (BL)- (DIA: 1 5 2 3 4 ): 59 mov	00:37
13	19375	K O X 2 (BL)- (DIA: 2 3 4 1 5 ): 59 mov	00:38
14	19125	2 K O X (BL)- (DIA: 3 4 2 5 1 ): 62 mov	00:39
15	19970	O X 2 K (BL)- (DIA: 3 5 1 2 4 ): 66 mov	00:38
16	19775	X 2 K O (BL)- (DIA: 5 1 2 3 4 ): 68 mov	00:45
17	20005	O X 2 K (BL)- (DIA: 4 5 2 3 1): 64 mov	00:39
18	20095	O K 2 X (BL)- (DIA: 4 3 5 1 2 ): 68 mov	00:41
19	20100	K O 2 X (BL)- (DIA: 2 4 5 1 3 ): 60 mov	00:44
20	18880	X K 2 O (BL)- (DIA: 4 5 1 3 2 ): 49 mov	00:40
21	19055	X K O 2 (BL)- (DIA: 5 2 1 3 4 ): 54 mov	00:47
22	19405	O 2 K X (BL)- (DIA: 3 4 5 1 2 ): 51 mov	00:38
23	19755	2 K O X (BL)- (DIA: 2 4 5 1 3 ): 58 mov	00:44
24	19905	O X 2 K (BL)- (DIA: 4 5 1 2 3 ): 59 mov	00:39
25	19075	2 K O X (BL)- (DIA: 5 1 2 3 4 ): 60 mov	00:40
26	20085	X 2 K O (BL)- (DIA: 4 1 5 2 3 ): 43 mov	00:39
27	20055	2 K O X (BL)- (DIA: 4 3 5 2 1 ): 45 mov	00:42
28	20015	2 K O X (BL)- (DIA: 4 5 1 3 2): 60 mov	00:48
29	19980	2 K O X (BL)- (DIA: 5 2 3 4 1): 45 mov	00:40
30	20025	X 2 K O (BL)- (DIA: 4 5 1 2 3 ): 60 mov	00:39

Tabla 5: Representa las soluciones generadas por el algoritmo BLB.

Para dar más detalle de la Tabla N° 5, se analizan los valores de la FO, los cuales se presentan en un rango más acotado, en relación con los resultados que arrojó el Algoritmo Inicial Aleatorio como lo indica la Tabla N° 3 del Capítulo 4 que se aprecian más dispersos ya que su rango es más amplio, esto demuestra un comportamiento acertado del método de BLB.

El mínimo valor logrado se encuentra en la generación de solución número ocho (8) cuya secuencia aleatoria de las carreras está dada por X 2 K O, identificando, primeramente, con Ingeniería Electromecánica - IE -, luego, Licenciatura en Organización Industrial, Ingeniería en Sistemas de Información, y, por último, Ingeniería Civil; los días llevan también un orden aleatorio representado por DÍA: 5 1 2 3 4, y le corresponde la serie: viernes, lunes, martes, miércoles y jueves. Por su evolución dinámica el método alcanzó un notable desempeño en cuanto a la valoración de la Función Objetivo (de evaluación) consiguiendo cuarenta movimientos con éxitos (40 mov) y los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios y un

tiempo de ejecución que corresponde al este algoritmo es TREINTA Y SEIS (36) segundos, aunque, su tiempo completo se incrementa a OCHENTA Y TRES (83) segundos, es decir UN (1) minuto VEINTITRÉS (23) segundos, esto se debe a que es un método completo que necesita de la mejor solución entregada por el algoritmo BIA. La solución factible conseguida tiene un valor de la Función Objetivo igual a 18675, identificada en la Tabla N° 5 como el mínimo valor logrado.

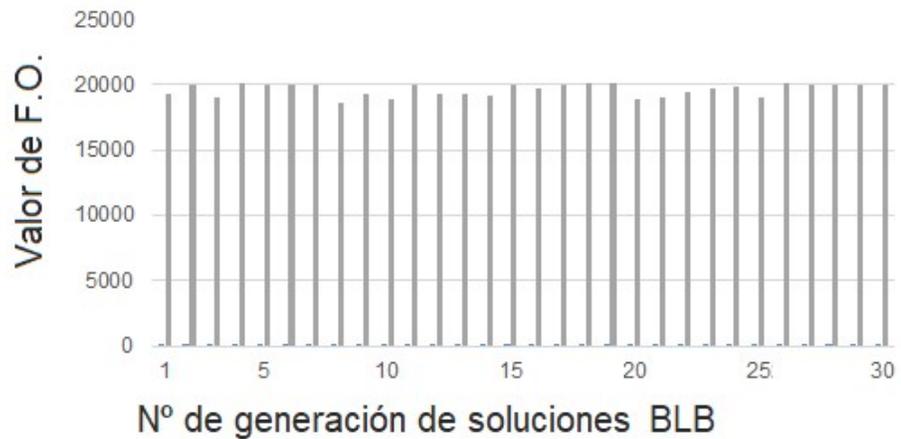


Figura 15: Gráfico de Barras representa la generación de soluciones del algoritmo BLB con respecto a la función objetivo.

La Tabla N° 5 se representa gráficamente en la Figura 15, la cual permite percibir la generación de soluciones del algoritmo Búsqueda local Básica en relación con la Función Objetivo, se vuelve a remarcar a partir del mismo horario inicial, utilizando la misma metodología que en el Capítulo anterior. Se muestra una reducción en la región resultados factibles; esto implica una respuesta positiva del método con respecto a la adecuada asignación de los recursos, y a su vez, incorporan las restricciones Adicionales, alcanzando resultados con valores más cercanos entre sí (dispersión más homogénea), fundamentándose con el cálculo de la Desviación Estándar que se sirve de los datos almacenados en esta grilla y resulta ser igual a 459,19, dicha cifra disminuye con respecto al cálculo realizado en 4.2.. Este comportamiento es esperable, debido a que BLB pretende mejorar el horario suministrado por BIA.

Se procede en forma análoga a dicha sección, con respecto a exhibir los Resultado por Carrera. En una secuencia de cuatro figuras enumeradas, se exponen las pantallas capturadas como resultado, el mismo corresponde a las cuatro carreras de grado de la Regional para el primer cuatrimestre turno  $t_s$ =tarde-noche.

La Figura 16 despliega la carrera Ingeniería en Sistemas de Información que se representa con la letra 'K', en sus cinco años de carrera.

Ing. en Sistemas de Inf. (K)

Año Carrera: 1

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 19:00 Comisión: (37408) 43860 - 86364 Aula: Aula 53	MATEMATICA DISCRETA 18:15 - 23:15 Comisión: (37410) 46350 - 78591 Aula: Aula 30	SISTEMAS DE REPRESENTACION 17:30 - 19:45 Comisión: (37413) 75541 - 27395 Aula: Aula 53	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 24:00 Comisión: (37408) 86364 - 43860 Aula: Aula 53	SISTEMAS Y ORGANIZACIONES 17:30 - 19:45 Comisión: (37451) 27395 - 46351 Aula: Aula 57
QUIMICA 19:00 - 24:00 Comisión: (37412) 83015 - 75541 Aula: Química(20)				SISTEMAS DE REPRESENTACION 19:45 - 22:15 Comisión: (37413) 46350 - 38413 Aula: Aula 57

Ing. en Sistemas de Inf. (K)

Año Carrera: 2

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
SINTAXIS Y SEMANTICA DE LOS LENGUAJES 17:30 - 21:30 Comisión: (37418) 28071 - 30559 Aula: Aula 54	ANALISIS DE SISTEMAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37453) 59016 - 24040 - 348670 Aula: Aula 29	SINTAXIS Y SEMANTICA DE LOS LENGUAJES 17:30 - 19:45 Comisión: (37418) 38413 - 28071 Aula: Aula 27	FISICA I 17:30 - 23:15 Comisión: (37416) 11348 - 26080 Aula: Aula 55	INGLES I. 17:30 - 19:00 Comisión: (37637) 50161 Aula: Idioma(77)
FISICA I 21:30 - 24:00 Comisión: (37416) 11348 - 26080 Aula: Fisica(51)		ANALISIS MATEMATICO II 19:45 - 23:15 Comisión: (37452) 30559 - 38757 Aula: Aula 27		

Ing. en Sistemas de Inf. (K)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
MATEMATICA SUPERIOR 17:30 - 20:30 Comisión: (37457) 39803 - 61531 Aula: LISI(SISTEMAS)	FISICA II 17:30 - 22:15 Comisión: (37423) 40092 - D31015967 - 81282 Aula: Fisica(51)	ECONOMIA 17:30 - 22:15 Comisión: (37429) 31883 - 50161 Aula: Aula 33	GESTION DE DATOS 17:30 - 20:30 Comisión: (37431) D36273827 - 45670 Aula: Aula 68	INGLES II 17:30 - 19:00 Comisión: (37645) 45867 Aula: LISI I (SISTEMAS)
GESTION DE DATOS 20:45 - 24:00 Comisión: (37431) 45670 - D36273827 Aula: LISI(SISTEMAS)			FISICA II 20:45 - 24:00 Comisión: (37423) 36944 - D31015967 - 81282 Aula: Fisica(51)	DISEÑO DE SISTEMAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37455) 37262 - 40092 Aula: LISI I (SISTEMAS)

Ing. en Sistemas de Inf. (K)

Año Carrera: 4

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
SIMULACION 17:30 - 24:00 Comisión: (37437) 348670 - 33114 Aula: Aula 34	LEGISLACION 17:30 - 20:30 Comisión: (37435) 22690 Aula: Aula 34	INVESTIGACION OPERATIVA 17:30 - 19:00 Comisión: (37460) 74057 - 22696 Aula: Aula 34	REDES DE INFORMACION 17:30 - 24:00 Comisión: (37439) 36792 - 76154 Aula: Aula 34	INVESTIGACION OPERATIVA 20:45 - 23:15 Comisión: (37460) 39919 - 58432 Aula: Aula 34
		ADMINISTRACION DE RECURSOS 19:00 - 24:00 Comisión: (37459) 61531 - 41309 - 71413 Aula: Aula 34		

Ing. en Sistemas de Inf. (K)

Año Carrera: 5

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
PROYECTO 17:30 - 22:15 Comisión: (37462) 38413 - 50810 - 30985 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SISTEMA DE GESTION 17:30 - 20:30 Comisión: (37444) 36944 - 46351 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SEGURIDAD EN SISTEMAS DE INFORMACION 17:30 - 19:00 Comisión: (37448) 78589 - 46355 Aula: LISI II(SISTEMAS)	CONSOLIDACION DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y LAS COMUNICACIONES 17:30 - 20:30 Comisión: (37450) 40556 - 49730 Aula: LISI II(SISTEMAS)	RELACIONES HUMANAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37445) 22696 - 40235 Aula: LISI II(SISTEMAS)
CONSOLIDACION DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y LAS COMUNICACIONES 22:30 - 24:00 Comisión: (37450) 40556 - 49730 Aula: LISI II(SISTEMAS)		TECNOLOGIA PARA LA EXPLOTACION DE DATOS 19:00 - 24:00 Comisión: (37446) 58432 - 78591 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SISTEMA DE GESTION 20:45 - 24:00 Comisión: (37444) 46351 - 40475 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SEGURIDAD EN SISTEMAS DE INFORMACION 21:30 - 24:00 Comisión: (37448) 59654 - 73693 Aula: LISI II(SISTEMAS)

Figura 16: Representa la Pantalla Resultado de 'K', obtenida de aplicar BLB.

De igual manera que la carrera I.S.I., anteriormente citada, se presenta en la Figura 17, el Scheduling de la Ingeniería en Civil, carrera que se menciona con la letra 'O', en sus seis años programando cada una de las comisiones formadas.

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 1

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ANALISIS MATEMATICO I 17:30 - 22:15 Comisión: (37473) 52365 - 82366 Aula: Aula 25	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 22:15 Comisión: (37501) 40475 - 45867 Aula: Aula 31	INGENIERIA CIVIL I 17:30 - 19:45 Comisión: (37491) 27395 - 19272 Aula: Aula 25	ANALISIS MATEMATICO I 17:30 - 20:30 Comisión: (37473) 82366 - 52365 Aula: Aula 27	INGENIERIA Y SOCIEDAD 17:30 - 19:00 Comisión: (37510) D23696133 - 39804 - 84987 Aula: Aula 31
		SISTEMAS DE REPRESENTACION 19:45 - 22:15 Comisión: (37489) 73693 - 84987 - 9235 Aula: Aula 25	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 20:45 - 24:00 Comisión: (37501) 45672 - 45867 Aula: Aula 27	
		INGENIERIA Y SOCIEDAD 22:30 - 24:00 Comisión: (37510) 26091 - D23696133 - 84987 Aula: Aula 25		

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 2

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ANALISIS MATEMATICO II 18:15 - 24:00 Comisión: (37518) 65869 - 81182 Aula: Civil(43)	ESTABILIDAD 17:30 - 21:30 Comisión: (37517) 45672 - 29137 Aula: Civil(43)	INGLES I 17:30 - 19:00 Comisión: (37563) 36099 Aula: Idioma(77)	ANALISIS MATEMATICO II 17:30 - 19:45 Comisión: (37518) 81182 - 65869 Aula: Aula 57	TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES 17:30 - 20:30 Comisión: (37494) 82365 - D30166745 - 16679 Aula: Aula 30
		INGENIERIA CIVIL II 19:00 - 21:30 Comisión: (37493) 39804 - 32358 Aula: Aula 28	ESTABILIDAD 19:45 - 24:00 Comisión: (37517) 13029 - 29137 Aula: Aula 57	

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
RESISTENCIA DE MATERIALES 17:30 - 24:00 Comisión: (37549) 13029 - 26039 - 22903 Aula: Aula 30	HIDRAULICA GENERAL Y APLICADA 17:30 - 22:15 Comisión: (37529) 13029 - 44069 Aula: Aula 28	TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION 17:30 - 19:00 Comisión: (37496) 37262 - 83556 Aula: L. CIVIL	TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION 17:30 - 20:30 Comisión: (37496) 83556 - 32358 Aula: Aula 30	HIDRAULICA GENERAL Y APLICADA 20:45 - 24:00 Comisión: (37529) 33664 - 44069 Aula: Aula 30
		TECNOLOGIA DEL HORMIGON 19:00 - 22:15 Comisión: (37530) 32358 - 36099 - D30166745 Aula: L. CIVIL		
		INGLES II 22:30 - 24:00 Comisión: (37564) 16679 Aula: Idioma(77)		

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 4

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
DISEÑO ARQUITECTONICO, PLANEAMIENTO Y URBANISMO 17:30 - 21:30 Comisión: (37497) D23696133 - 74695 - 75366 Aula: CIVIL	ESTRUCTURAS DE HORMIGON 17:30 - 24:00 Comisión: (37551) 33664 - 55327 Aula: Aula 57	INSTALACIONES SANITARIAS Y DE GAS 17:30 - 20:30 Comisión: (37550) 37262 - 59656 Aula: CIVIL	ESTRUCTURAS DE HORMIGON 22:30 - 24:00 Comisión: (37551) 55327 - 15196 Aula: Aula 54	ANALISIS ESTRUCTURAL I 17:30 - 22:15 Comisión: (37552) 46355 - 72604 Aula: Aula 27
INSTALACIONES SANITARIAS Y DE GAS 21:30 - 23:15 Comisión: (37550) 37262 - 59656 Aula: CIVIL		ANALISIS ESTRUCTURAL I 20:45 - 24:00 Comisión: (37552) 74319 - 26039 Aula: CIVIL		

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 5

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
PREFABRICACION 18:15 - 21:30 Comisión: (37555) 9235 - 36522 Aula: Aula 69	CIMENTACIONES 17:30 - 19:00 Comisión: (37556) 80514 - 26044 Aula: Aula 69	AMBIENTAL 20:45 - 24:00 Comisión: (37557) 79147 - 74319 Aula: Aula 69	ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD 17:30 - 20:30 Comisión: (37554) 30987 - 17921 Aula: Aula 69	VIAS DE COMUNICACION I 17:30 - 19:00 Comisión: (37553) 26039 - 44374 - 80514 Aula: Aula 69
ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD 21:30 - 22:15 Comisión: (37554) 30987 - 17921 Aula: Aula 69	VIAS DE COMUNICACION I 19:00 - 24:00 Comisión: (37553) 15196 - 59656 - 44374 Aula: Aula 69		CIMENTACIONES 20:45 - 24:00 Comisión: (37556) 35420 - 26044 Aula: Aula 69	ORGANIZACION Y CONDUCCION DE OBRAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37498) 72604 - 82809 Aula: Aula 69

Ing. Civil. (O)

Año Carrera: 6

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
OBRAS FLUVIALES Y MARITIMAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37562) 33664 - 25208 Aula: L. CIVIL	CONSTRUCCIONES METALICAS Y DE MADERA 17:30 - 21:30 Comisión: (37559) 40009 - 86364 - 14211 Aula: L. CIVIL	PROYECTO FINAL 17:30 - 22:15 Comisión: (37558) 75970 - 15196 Aula: Civil(43)	INGENIERIA SANITARIA 19:00 - 24:00 Comisión: (37560) 17756 - 36187 Aula: L. CIVIL	PUENTES 17:30 - 22:15 Comisión: (37561) 59656 - 29137 Aula: L. CIVIL
CONSTRUCCIONES METALICAS Y DE MADERA 21:30 - 24:00 Comisión: (37559) 14211 - 40009 - 86364 Aula: L. CIVIL				

Figura 17: Representa la Pantalla Resultado 'O', obtenida de aplicar BLB

Ahora, se muestra la Figura 18, aquí se programan todas las comisiones de los cinco años de la carrera Ingeniería Electromecánica ('X').

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 1

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
INGENIERIA ELECTROMECHANICA I 19:45 - 22:15 Comisión: (37467) 22128 - 42816 - D40163377 Aula: Aula 29	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 22:15 Comisión: (37506) 82366 - 79145 Aula: Aula 25	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 20:30 Comisión: (37506) 31295 - 43860 Aula: Aula 59	SISTEMAS DE REPRESENTACION 19:45 - 23:15 Comisión: (37511) 27395 - 9235 Aula: Aula 25	ANALISIS MATEMATICO I 17:30 - 24:00 Comisión: (37503) D34077491 - 31883 Aula: Aula 32
ANALISIS MATEMATICO I 22:30 - 24:00 Comisión: (37503) 29137 - 31883 Aula: Aula 29	SISTEMAS DE REPRESENTACION 22:30 - 24:00 Comisión: (37511) 27395 - 9235 Aula: Aula 25			

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 2

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ESTABILIDAD 17:30 - 24:00 Comisión: (37469) 43860 - 44210 - 26050 Aula: Aula 28	INGENIERIA ELECTROMECHANICA II 19:45 - 22:15 Comisión: (37471) 78588 - 22128 Aula: Aula 67	ANALISIS MATEMATICO II 17:30 - 19:45 Comisión: (37522) 79145 - 23812 Aula: Aula 23	INGLES I 17:30 - 19:00 Comisión: (37629) 22690 Aula: Idioms(77)	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA 17:30 - 18:15 Comisión: (37525) 65869 - 82094 Aula: Aula 23
			PROBABILIDAD Y ESTADISTICA 19:00 - 23:15 Comisión: (37525) 57256 - 82094 Aula: Aula 23	ANALISIS MATEMATICO II 18:15 - 24:00 Comisión: (37522) 82366 - 23812 Aula: Aula 23

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
MATEMATICA PARA INGENIERIA ELECTROMECHANICA 17:30 - 21:30 Comisión: (37567) 63659 - 71722 Aula: Eléctrica(75)	ELECTROTECNIA 18:15 - 23:15 Comisión: (37476) 75368 - 30575 Aula: Aula 59	TECNOLOGIA MECANICA 17:30 - 23:15 Comisión: (37540) 18867 - 26048 Aula: Lab. ELECTRO	INGLES II 17:30 - 19:00 Comisión: (37482) 37262 Aula: Lab. ELECTRO	MATEMATICA PARA INGENIERIA ELECTROMECHANICA 17:30 - 21:30 Comisión: (37567) 44210 - 30773 Aula: Lab. ELECTRO
TERMODINAMICA TECNICA 21:30 - 24:00 Comisión: (37480) 34698 - 18867 - 84984 Aula: Eléctrica(75)		TERMODINAMICA TECNICA 23:15 - 24:00 Comisión: (37480) 65869 - 42608 - 84984 Aula: Lab. ELECTRO	INGENIERIA ELECTROMECHANICA III 19:00 - 21:30 Comisión: (37475) 22690 - 36184 Aula: Lab. ELECTRO	TECNOLOGIA MECANICA 21:30 - 24:00 Comisión: (37540) 75368 - 26048 Aula: Lab. ELECTRO

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 4

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
MAQUINAS TERMICAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37542) 12070 - 18867 - 42608 Aula: Aula 55	MECANICA DE LOS FLUIDOS Y MAQUINAS FLUIDODINAMICAS 17:30 - 19:00 Comisión: (37487) 19950 - 42608 Aula: Lab. ELECTRO	MAQUINAS TERMICAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37542) 12070 - 18867 - 42608 Aula: Aula 55	MECANICA DE LOS FLUIDOS Y MAQUINAS FLUIDODINAMICAS 19:00 - 20:30 Comisión: (37487) 37262 - 18867 Aula: Aula 59	MEDICIONES ELECTRICAS 17:30 - 24:00 Comisión: (37541) 71722 - 21935 Aula: Eléctrica(75)
MAQUINAS ELECTRICAS 21:30 - 22:15 Comisión: (37490) 42608 - 82364 Aula: Aula 55	ELEMENTOS DE MAQUINAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37485) 30773 - 26050 - D28959321 Aula: Lab. ELECTRO		MAQUINAS ELECTRICAS 20:45 - 24:00 Comisión: (37490) 42608 - 82364 Aula: Aula 59	

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 5

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
MAQUINAS DE ELEVACION Y TRANSPORTE CONTINUO 16:45- 17:30 Comisión: (37544) 21935 - 16732 Aula: L. ELECTRO	AMBIENTAL 16:45 - 17:30 Comisión: (37547) 84431 - 74319 Aula: L. ELECTRO	REDES DE DISTRIBUCION E INSTALACIONES ELECTRICAS 17:30 - 19:45 Comisión: (37492) 18867 - 63660 Aula: L. ELECTRO	MAQUINAS DE ELEVACION Y TRANSPORTE CONTINUO 17:30 - 19:45 Comisión: (37544) 21935 - 16732 Aula: L. ELECTRO	ORGANIZACION INDUSTRIAL 17:30 - 21:30 Comisión: (37545) 84431 - 22804 Aula: L. ELECTRO
AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL 17:30 - 18:15 Comisión: (37566) 84985 - 84431 Aula: L. ELECTRO	ELECTRONICA DE POTENCIA (electiva) 17:30 - 19:45 Comisión: (37543) 26081 - 79562 Aula: L. ELECTRO	AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL 19:45 - 24:00 Comisión: (37566) 21935 - 84985 Aula: L. ELECTRO	PROYECTO FINAL 19:45 - 22:15 Comisión: (37569) 75970 - 22804 Aula: L. ELECTRO	AMBIENTAL 21:30 - 24:00 Comisión: (37547) 84431 - 74319 Aula: L. ELECTRO
INTRODUCCION AL PROYECTO DE INSTALACIONES INDUSTRIALES (electiva) 18:15 - 23:15 Comisión: (37546) 80512 - 88690 Aula: L. ELECTRO	MAQUINAS DE ELEVACION Y TRANSPORTE CONTINUO 19:45 - 23:15 Comisión: (37544) 21935 - 16732 Aula: L. ELECTRO			
ELECTRONICA DE POTENCIA (electiva) 23:15 - 24:00 Comisión: (37543) 86547 - 79562 Aula: L. ELECTRO	ORGANIZACION INDUSTRIAL 23:15 - 24:00 Comisión: (37545) D29794595 - 41732 Aula: L. ELECTRO			

Figura 18: Representa la Pantalla Resultado 'X', obtenida de aplicar BLB.

Finalmente, le corresponde la Figura 19, esta vez a la Licenciatura en Organización Industrial, mediante '2', son cuatro años planificados para cada una de las comisiones constituidas.

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 1

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ALGEBRA 17:30 - 22:15 Comisión: (37407) 45672 - 84666 Aula: Aula 56	INGLES I 17:30 - 19:45 Comisión: (37610) 22690 Aula: Idioma(77) QUIMICA 19:45 - 24:00 Comisión: (37422) 37182 - 38758 Aula: Química(20)	ORGANIZACION INDUSTRIAL I 17:30 - 22:15 Comisión: (37481) 82366 - 39128 Aula: Aula 29	ALGEBRA 17:30 - 19:45 Comisión: (37407) 84666 - 45672 Aula: Aula 76	QUIMICA 17:30 - 18:15 Comisión: (37422) 37182 - 38758 Aula: Química(20) INFORMATICA I 18:15 - 23:15 Comisión: (37421) 34695 - 40299 Aula: Aula 60

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 2

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
CONOCIMIENTO DE MATERIALES 17:30 - 20:30 Comisión: (37430) 78381 - 31304 - 30225 Aula: Aula 79	ORGANIZACION INDUSTRIAL II 19:00 - 24:00 Comisión: (37483) 22690 - 30987 - 82366 Aula: Aula 33	INFORMATICA II 17:30 - 22:15 Comisión: (37433) 40299 Aula 79 COSTOS 22:30 - 24:00 Comisión: (37432) 35756 - 33666 Aula: Aula 79	CONOCIMIENTO DE MATERIALES 17:30 - 19:00 Comisión: (37430) 78381 - 30225 - 31304 Aula: Aula 33 INGLES II 19:00 - 22:15 Comisión: (37568) 37262 Aula: Idioma(77)	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA 18:15 - 23:15 Comisión: (37436) 40299 - 19272 Aula: Aula 79

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
INGENIERIA DE CALIDAD 17:30 - 21:30 Comisión: (37486) 42459 - D36318434 Aula: Aula 76	SISTEMAS Y METODOS ADMINISTRATIVOS 16:45 - 21:30 Comisión: (37454) 35756 - 78803 Aula: Aula 79	LEGISLACION 17:30 - 18:15 Comisión: (37449) 39288 Aula: Aula 60	PLANIFICACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION 17:30 - 19:45 Comisión: (37456) 17545 - 46350 Aula: Aula 79	ORGANIZACION INDUSTRIAL III 17:30 - 19:45 Comisión: (37484) 32814 - 42459 Aula: Aula 59
PLANIFICACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION 21:30 - 24:00 Comisión: (37456) 46350 - 17545 Aula: Aula 76	ORGANIZACION INDUSTRIAL III 21:30 - 24:00 Comisión: (37484) 37262 - 18867 Aula: Aula 79	ECONOMIA DE LA EMPRESA 18:15 - 23:15 Comisión: (37443) 40299 Aula: Aula 60	LEGISLACION 19:45 - 24:00 Comisión: (37449) 82094 Aula: Aula 59	

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 4

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
EVALUACION DE PROYECTOS 20:45 - 23:15 Comisión: (37463) 52778 - 30325 Aula: LOI(61)	COMERCIO EXTERIOR 17:30 - 22:15 Comisión: (37662) 59016 - 36368 Aula: LOI(61) GESTION DE PYMES 22:15 - 24:00 Comisión: (37466) 52778 - 39288 Aula: LOI(61)	EVALUACION DE PROYECTOS 19:00 - 24:00 Comisión: (37463) 32814 - 30325 Aula: LOI(61)	PROYECTO FINAL 17:30 - 22:15 Comisión: (37488) 41886 - 52778 Aula: LOI(61)	GESTION DE PYMES 18:15 - 24:00 Comisión: (37466) 36368 - 39288 Aula: LOI(61)

Figura 19: Representa la Pantalla Resultado '2', obtenida de aplicar BLB

Afin al planteo de la sección 4.2, para dar una representación distinta de la solución mostrada, se proyecta en la Tabla N° 6 el Resultado por Aula, la grilla está formada por columnas que son los días de la semana (de lunes a viernes) y por filas que asocian las diferentes aulas a asignadas dichos días, cada intersección de columna-filas representa la utilización del recurso: aula, para un día determinado. Si se toma de referencia la Figura 12 del Capítulo precedente. Se despliega la siguiente tabla (Tabla N° 6), para el mejor calendario obtenido tras correr treinta veces la ejecución del algoritmo de Búsqueda Local Básica, con la misma solución de base.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Química(20)	K 1º 19:00 - 24:00 (37412)	2 1º 19:45 - 24:00 (37422)			2 1º 17:30 - 18:15 (37422)
Aula 23			X 2º 17:30 - 19:45 (37522)	X 2º 19:00 - 23:15 (37525)	X 2º 17:30 - 18:15 (37525) X 2º 18:15 - 24:00 (37522)
Aula 25	O 1º 17:30 - 22:15 (37473)	X 1º 17:30 - 22:15 (37506) X 1º 22:30 - 24:00 (37511)	O 1º 17:30 - 19:45 (37491) O 1º 19:45 - 22:15 (37489) O 1º 22:30 - 24:00 (37510)	X 1º 19:45 - 23:15 (37511)	
Aula 27		K 2º 17:30 - 19:45 (37418) K 2º 19:45 - 23:15 (37452)	O 1º 17:30 - 20:30 (37473) O 1º 20:45 - 24:00 (37501)		O 4º 17:30 - 22:15 (37552)
Aula 28		O 3º 17:30 - 22:15 (37529)	O 2º 19:00 - 21:30 (37493)		
Aula 29	X 1º 19:45 - 22:15 (37467) X 1º 22:30 - 24:00 (37503)	K 2º 19:00 - 24:00 (37453)	2 1º 17:30 - 22:15 (37481)		
Aula 30	O 3º 17:30 - 24:00 (37549)	K 1º 18:15 - 23:15 (37410)		O 3º 17:30 - 20:30 (37496)	O 2º 17:30 - 20:30 (37494) O 3º 20:45 - 24:00 (37529)
Aula 31		O 1º 17:30 - 22:15 (37501)			O 1º 17:30 - 19:00 (37510)
Aula 32					X 1º 17:30 - 24:00 (37503)
Aula 33		2 2º 19:00 - 24:00 (37483)	K 3º 17:30 - 22:15 (37429)	2 2º 17:30 - 19:00 (37430)	
Aula 34	K 4º 17:30 - 24:00 (37437)	K 4º 17:30 - 20:30 (37435)	K 4º 17:30 - 19:00 (37460) K 4º 19:00 - 24:00 (37459)	K 4º 17:30 - 24:00 (37439)	K 4º 20:45 - 23:15 (37460)
Civil(43)	O 2º 18:15 - 24:00 (37518)		O 2º 17:30 - 21:30 (37517)	O 6º 17:30 - 22:15 (37558)	
Física(51)	K 2º 21:30 - 24:00 (37416)		K 3º 17:30 - 22:15 (37423)	K 3º 20:45 - 24:00 (37423)	
Aula 53	2 2º 17:30 - 19:00 (37430)		K 1º 17:30 - 19:45 (37413)	K 1º 17:30 - 24:00 (37408)	
Aula 54	K 2º 17:30 - 21:30 (37418)			O 4º 22:30 - 24:00 (37551)	
Aula 55	X 4º 17:30 - 21:30 (37542) X 4º 21:30 - 22:15 (37490)		X 4º 17:30 - 21:30 (37542)	K 2º 17:30 - 23:15 (37416)	
Aula 56	2 1º 17:30 - 22:15 (37407)				
Aula 57		2 1º 17:30 - 22:15 (37407)		O 2º 17:30 - 19:45 (37518) O 2º 19:45 - 24:00 (37517)	K 1º 17:30 - 19:45 (37451) K 1º 19:45 - 22:15 (37413)
Aula 59		X 3º 18:15 - 23:15 (37476)	X 1º 17:30 - 20:30 (37506)	X 4º 19:00 - 20:30 (37487) X 4º 20:45 - 24:00 (37490)	2 3º 17:30 - 19:45 (37484) 2 3º 19:45 - 24:00 (37449)
Aula 60			2 3º 17:30 - 18:15 (37449) 2 3º 18:15 - 23:15 (37443)		2 1º 18:15 - 23:15 (37421)
LOI(61)	2 4º 20:45 - 23:15 (37463)	2 4º 17:30 - 22:15 (37662) 2 4º 22:30 - 24:00 (37466)	2 4º 19:00 - 24:00 (37463)	2 4º 17:30 - 22:15 (37488)	2 4º 18:15 - 24:00 (37466)
Aula 67	X 2º 18:15 - 24:00 (37469)	X 2º 19:45 - 22:15 (37471)			
Aula 68				K 3º 17:30 - 20:30 (37431)	
Aula 69	O 5º 18:15 - 21:30 (37555) O 5º 21:30 - 23:15 (37554)	O 5º 17:30 - 19:00 (37556) O 5º 19:00 - 24:00 (37553)	O 5º 20:45 - 24:00 (37557)	O 5º 17:30 - 20:30 (37554) O 5º 20:45 - 24:00 (37556)	O 5º 17:30 - 19:00 (37553) O 5º 19:00 - 24:00 (37498)
Eléctrica(75)	X 3º 17:30 - 21:30 (37567) X 3º 21:30 - 24:00 (37480)				X 4º 17:30 - 24:00 (37541)
Aula 76	2 3º 17:30 - 21:30 (37486) 2 3º 21:30 - 24:00 (37456)			2 1º 17:30 - 19:45 (37407)	
Idioma(77)		2 1º 17:30 - 19:45 (37610)	O 2º 17:30 - 19:00 (37563) O 3º 22:30 - 24:00 (37564)	X 2º 17:30 - 19:00 (37629) 2 2º 19:00 - 22:15 (37568)	K 2º 17:30 - 19:00 (37637)
Aula 78					
Aula 79	2 2º 17:30 - 20:30 (37430) 2 2º 20:45 - 24:00 (37432)	2 3º 16:45 - 21:30 (37454) 2 3º 21:30 - 24:00 (37484)	2 2º 17:30 - 22:15 (37433) 2 2º 22:30 - 24:00 (37432)	2 3º 17:30 - 19:45 (37456)	2 2º 18:15 - 23:15 (37436)
CIVIL	O 4º 17:30 - 21:30 (37497) O 4º 21:30 - 23:15 (37550)		O 4º 17:30 - 20:30 (37550) O 4º 20:45 - 24:00 (37552)		
L. CIVIL	O 6º 17:30 - 21:30 (37562) O 6º 21:30 - 24:00 (37559)	O 6º 17:30 - 21:30 (37559)	O 3º 17:30 - 19:00 (37496) O 3º 19:00 - 22:15 (37530)	O 6º 19:00 - 24:00 (37560)	O 6º 17:30 - 22:15 (37561)
L. ELECTRO	X 5º 16:45 - 17:30 (37544) X 5º 17:30 - 18:15 (37566) X 5º 18:15 - 23:15 (37546) X 5º 23:15 - 24:00 (37543)	X 5º 16:45 - 17:30 (37547) X 5º 17:30 - 19:45 (37543) X 5º 19:45 - 23:15 (37544) X 5º 23:15 - 24:00 (37545)	X 5º 17:30 - 19:45 (37492) X 5º 19:45 - 24:00 (37566)	X 5º 17:30 - 19:45 (37544) X 5º 19:45 - 22:15 (37569)	X 5º 17:30 - 21:30 (37545) X 5º 21:30 - 24:00 (37547)
Lab. ELECTRO		X 4º 17:30 - 19:00 (37487) X 4º 19:00 - 24:00 (37485)	X 3º 17:30 - 23:15 (37540) X 3º 23:15 - 24:00 (37480)	X 3º 17:30 - 19:00 (37482) X 3º 19:00 - 21:30 (37475)	X 3º 17:30 - 21:30 (37567) X 3º 21:30 - 24:00 (37540)
LISI(SISTEMAS)	K 3º 17:30 - 20:30 (37457) K 3º 20:45 - 24:00 (37431)				K 3º 17:30 - 19:00 (37645) K 3º 19:00 - 24:00 (37455)
LISI II(SISTEMAS)	K 5º 17:30 - 22:15 (37462) K 5º 22:30 - 24:00 (37450)	K 5º 17:30 - 20:30 (37444)	K 5º 17:30 - 19:00 (37448) K 5º 19:00 - 24:00 (37446)	K 5º 17:30 - 20:30 (37450) K 5º 20:45 - 24:00 (37444)	K 5º 17:30 - 21:30 (37445) K 5º 21:30 - 24:00 (37448)

Tabla 6 Representa la disposición de las aulas en los días de la semana para la solución BLB

## 5.4. Relación del Algoritmo Inicial Aleatorio vs el de Búsqueda Local Básica

Sería injusto la idea de comparar ambos métodos debido a que BLB es una composición del BIA. Por tal motivo, se hace una somera relación de los resultados arrojados por estos dos algoritmos que fueron diseñados e implementados para resolver el problema práctico de asignación de horarios de clases de UTN FRCU.

Para determinar el camino de la solución del problema abordado, las estrategias heurísticas se comportan como recursos organizativos del proceso de resolución, y desde este punto de partida se puede hacer una mera relación de ambos métodos: el Algoritmo Inicial Aleatorio, genera sus calendarios factibles partiendo de cero (sin una solución inicial), su fin es crear un horario de carreras para entregarlo a la BLB. En cambio, esta última toma el horario creado por BIA (necesita de una solución inicial) el cual debe ser mejorado para devolver su resultados finales, dicha optimización se implementa mediante el concepto de vecindario que permite moverse de un determinado resultado a otro mejor, ganando requisitos que involucra las restricciones Adicionales y de Preferencia.

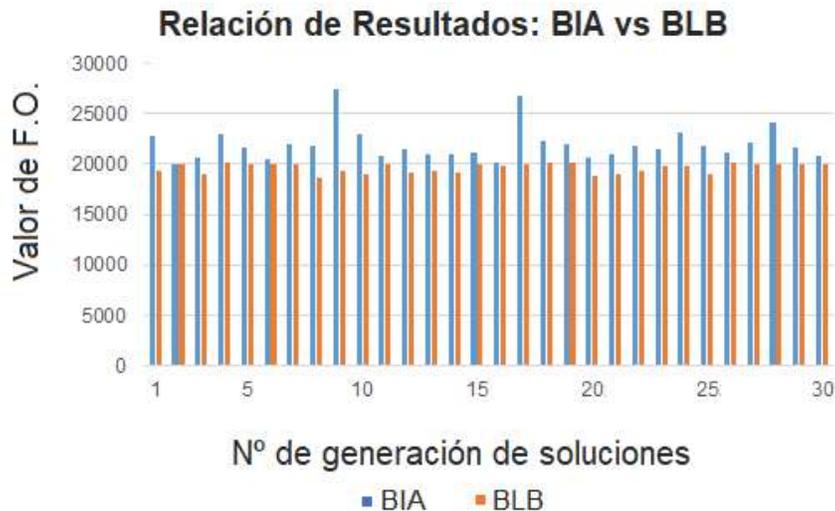


Figura 20: Gráfico de Barras que muestra la generación de soluciones tanto del BIA como el algoritmo BLB con respecto a la FO, para ser visualmente relacionado.

La Figura 20 muestra que Búsqueda Local Básica mejora la última solución de Búsqueda Aleatoria de cada una de las corridas, es decir, cada una de las ejecuciones comienza con la misma solución de la Búsqueda Aleatoria (mejor solución encontrada) tras una ejecución de treinta corridas en forma análoga, el BLB mejora el horario creado por BIA a partir de las diferentes configuraciones, mediante la exploración y los movimientos realizados en los diferentes vecindarios alcanza un mínimo en la FO que determina el menor Calendario.

El Gráfico, permite observar el comportamiento de los resultados obtenidos en ambos métodos considerando la misma correlación: el Número de generación de soluciones en el Eje X, asimismo, en el Eje Y, el valor de la Función Objetivo. En el primer método existe una importante variación, su distribución se muestra más heterogénea; dicha distribución se comprueba con el cálculo de la desviación estándar que equivale a 1687,81, obtenida en el Capítulo anterior, el cual es significativamente elevado, ya que abarca un amplio rango de la FO definida por los extremos: [20065, 27420]; en contraposición, el comportamiento de la BLB expresa cifras más cercanas, dejando un aspecto más homogéneo que muestran cierta concentración de los valores que están comprendido entre [18675, 20105], por lo cual la desviación estándar disminuye su valor considerablemente a 458,19. Este comportamiento es totalmente esperable, debido a que esta técnica se aplica para saltar el óptimo local alcanzado BIA, este se mejora y se consigue un Timetable con más calidad. La calidad de la solución se comprueba en cada generación de horarios cuando se evalúa la FO, la misma minimiza la violación de las restricciones planteadas como no Básicas, por ello se elige, el valor más pequeño arrojado por cada algoritmo, 20065 y 18675 respectivamente, de ambos mínimo, el menor resulta ser 18675; esto permite reafirmar que existe una clara mejoría en el resultado del BLB.

Se incluye, además, el test de Wilcoxon como test estándar de facto para cotejar los tiempos de ejecución de los algoritmos, si bien los tiempo de respuesta de BLB domina al de BIA por diseño del algoritmo, este podría entregar resultados que no son estadísticamente significativos, por tal, a los efectos de corroborar estadísticamente las diferencias, se aplicó el test de Wilcoxon entre las dos muestras, arrojando un p-valor =  $1.73112640e-06$  (muy pequeño) a un nivel de confianza del 95%, indicando que las muestras son estadísticamente significativas en favor de BLB.

Para expandir esta relación establecida por los dos métodos excluyendo el ámbito de la Figura 20, se hace un análisis ligero de las Figuras 8, 9, 10 y 11 (Capítulo 4), estas evidencian ciertos bloques en la asignación de tiempos que no fueron ocupados, lo que demanda desperdicio de espacios y tiempo, además, se presentan varias asignaciones de comisiones con tan solo una hora cátedra (cuarenta y cinco minutos - 45 min -), dicha realidad es consecuencia de que este método sólo considera las restricciones Básicas. Análogamente, se pueden ver las Figuras 16, 17, 18 y 19 dichas situaciones son salvadas en este método debido a que el horario va complaciendo con ciertas restricciones Adicionales y de Preferencia.

## 5.5. Conclusión

Se ha presentado un Algoritmo de Búsqueda Local Básica basado en restricciones para el problema de Timetabling de la Universidad más precisamente para la FRCU. Como se ha mencionado, en la literatura científica, no se conoce un algoritmo polinomial de resolución para dicho problema, el cual tiene la particularidad de ser un modelo complejo que está fuertemente ligado a los propios recursos que posee la Universidad en estudio y a algunas políticas de la misma, por lo que valerse de esta técnica heurística, facilitó las limitaciones de tiempo y/o espacio.

Dichos recursos están sujetos a cumplir con las restricciones priorizando satisfacer las Básicas e insistiendo, en extender de manera más balanceada el horario de los cursos en el día y la semana, en la franja horaria que es establecida por Ordenanza N° 1549 UTN/2017 (en el Anexo II), lo cual responde a alcanzar determinadas metas institucionales.

En el apartado anterior se mencionó que este algoritmo necesita de una solución inicial para operar; en este caso de estudio se requiere del mejor horario alcanzado en el algoritmo BIA del Capítulo 4, el cual es una solución factible. La Búsqueda Local implementa la mejora de este horario mediante el concepto de vecindario que se obtiene aplicando un operador OP el cual es una composición de cuatro movimientos simples que se realizan en forma secuencial e involucran los eventos, dichos movimientos OP, deben ser aplicados sin violar las restricciones Básicas e incorporando las Adicionales y de Preferencia. Esta característica y la de buena calidad de la solución inicial que dio funcionalidad al método, determinaron el éxito y rapidez de la búsqueda.

Los resultados experimentales muestran un interesante desempeño del algoritmo, los mismos son aproximados contemplan las características propias de la UTN FRCU, y un comportamiento aceptable en los valores de la Función Objetivo, los cuales fueron disminuyendo, esto indica una adecuada implementación. Se ha mejorado los espacios de búsqueda, y la región de soluciones factibles marcó el cumplimiento de las restricciones Adicionales, dichas restricciones no son absolutamente esenciales pero sí deseable, entregando buenos horarios para las cuatro carreras ofrecidas por la Regional. Se puede dar fundamento, con la investigación de Faillace Mullen N. [28], quien resolvió la problemática del horario de clase utilizando la Búsqueda Local, la cual mostró un desempeño aceptable cuyos tiempos computacionales son razonables e implementa una función lineal de penalidad que valora cierta calidad en sus resultados permitiendo algunas prioridades que son establecidas por la Institución.

Al menos para este caso de estudio, basta generar horarios iniciales con el modelo Aleatorio y mejorarlos con BLB, para impactar positivamente en el Scheduling de cursado de esta Facultad, que actualmente se realiza manualmente.

La Búsqueda Local es la metaheurística de Trayectoria más simple y tiene la ventaja de encontrar soluciones muy rápidamente; pero, su problema primordial radica en converger fácilmente a una solución (mínimos locales) o una región, en la cual ya no es posible mejorar. Para salvar este inconveniente se plantea como primer paso, aplicar otra estrategia metaheurística llamada Búsqueda por Vecindarios Variables con el objetivo de evitar de alguna forma los mínimos locales y moverse a otras regiones prometedoras del espacio de búsqueda; dicha estrategia se presenta en el Capítulo siguiente.

# Capítulo 6

## Modelo de Solución por Búsqueda por Vecindarios Variables

En esta división se presenta, como primera instancia, la metaheurística de Búsqueda por Vecindarios Variables (VNS). El Capítulo se separa en cinco partes: en la 6.1. se dispone el contexto, la definición de la metaheurística de VNS y el vecindario. La sección 6.2. corresponde al modelo del algoritmo diseñado e implementado para resolver el problema de Timetabling en la UTN FRCU en su aspecto conceptual. Mientras que su forma experimental, lo determina la 6.3. Seguidamente en la parte 6.4, se hará una breve relación de los resultados de dicho algoritmo con los de Búsqueda Local Básica (BLB) planteados en el Capítulo 5. En el último apartado se cierra con la conclusión.

### 6.1. Metaheurística Búsqueda por Vecindarios Variables

Desde esta investigación se emplea la Búsqueda por Vecindarios Variables (VNS) que fue propuesta por Mladenovic en 1995 y que, ha sido ampliamente estudiada hasta la actualidad, demostrando ser una técnica bastante eficiente y de fácil aplicación a gran cantidad de problemas, entre ellos, los de planificación.

La Búsqueda por Vecindario Variables (VNS: Variable Neighborhood Search), es un método de Trayectoria, también llamada Búsqueda Local con Vecindario Variable, que surge como variante de la heurística de Búsqueda Local - Mladenovic N. [51] -. Tiene como principal objetivo, intentar escapar de los óptimos locales cambiando sistemáticamente el vecindario, se vale de la Búsqueda Local con el fin de explorar los vecindarios distantes de una solución, y se mueve desde allí a una nueva si se realizó una mejora. Este método logra alcanzar buenas soluciones aproximadas.

El algoritmo parte de una única solución completa que es perturbada para examinar el espacio de búsqueda, puede manejar varios vecindarios y por cada uno determina un óptimo local. Para evitar quedar atrapado en dichos óptimos, la búsqueda incorpora diversos mecanismos dentro del vecindario, algunos de estos pueden ser: la búsqueda se reinicia y se modifican los vecindarios por medio de una secuencia de cambios locales en cada iteración, hasta encontrar la mejora; la otra vía es admitir la posibilidad de pasos que no mejoran, es decir, permitir movimientos o transformaciones de la solución de búsqueda que no sean de mejora; entre otros. El método podrá continuar hasta obtener una solución que sea óptima para todos los vecindarios considerados (Hansen, P. y Mladenovic N. [36]).

Mediante esta técnica, se propone mejorar el calendario alcanzado hasta el momento, para las carreras ofrecidas por FRCU. Como se trata de un problema de Scheduling que tiene la particularidad definida por Garey M. y Johnson D. [31] como problema: NP-Completo; se seleccionó este método por ser fácilmente adaptable en resolver modelos complejos, y por integrar procedimientos de mejora local con estrategias de alto nivel que permiten escapar de estos óptimos.

Así como se expresó, para su implementación se requiere de una solución base, la cual es proporcionada del Capítulo precedente. El paso inicial es especificar y aplicar los principios formales para la combinación de varios vecindarios, luego, emplear el proceso de Búsqueda Local, el cual se acciona repetidamente para realizar los movimientos dentro del vecindario, y alcanzar un óptimo local, que reemplaza a la solución actual si ha habido una mejora; en el caso contrario, se modifica la búsqueda a través de los cambios sistemáticos en el vecindario (salta a otra zona del espacio de soluciones). El método finaliza cuando se consigue el valor más pequeño de la Función Objetivo de todos los vecindarios considerados, es decir, se ha obtenido el mejor horario encontrado hasta el momento, por carrera del primer cuatrimestre en el turno  $t_s$ =tarde/noche para esta Institución.

## Vecindario

En el Capítulo 5 fue necesario definir el vecindario, dicha definición tiene alcance en esta metaheurística. Mladenovic N. [51], lo explica de la siguiente manera:

Dada una solución  $x$ , el vecindario  $N(x)$  de esa solución es un subconjunto del espacio de resultados que contiene soluciones próximas a una determinada.

Cada solución de su vecindario  $x' \in x$ , puede obtenerse directamente desde  $x$  mediante una operación llamada movimiento.

En el campo de la optimización, se define el óptimo local de la función a optimizar a cualquier punto  $x$  para el que existe un vecindario  $N(x)$  tal que  $x$  es óptimo en ese vecindario; en otras palabras: el óptimo local es la mejor solución de un problema dentro de dicho vecindario.

Así pues, el óptimo global podrá obtenerse examinando todos los óptimos locales que presenta la función y se queda con el que presente un mejor valor objetivo, es decir, un óptimo global es óptimo local de cualquier vecindario, ya que se trata de la mejor solución que se puede encontrar a un problema.

Se define formalmente Vecindario:

Dado el problema  $(S; f)$ , un vecindario es una función  $N: S \rightarrow 2^S = \{x / x \subseteq S\}$  que asocia a cada solución  $x \in S$  un conjunto  $N(x) \subset S$  de soluciones cercanas a  $x$ . El conjunto  $N(x)$  se denomina vecindario de  $x$ , mientras que cada  $y \in N(x)$  será una solución vecina de  $x$ .

La Búsqueda por Vecindario Variables -VNS- se caracteriza por realizar un cambio sistemático del vecindario en la búsqueda, de ahí que requiere varios vecindarios diferentes.

Una forma corriente de realizar movimientos en el espacio de soluciones es cambiar algunos de estos elementos. Estos movimientos dan lugar a diversos vecindarios. Pérez Brito D. y Moreno Pérez J. [56], los mismos precisan lo siguiente:

Sea una métrica  $\rho$  definida sobre  $S$ ,  $\rho: S \times S \rightarrow \mathbb{R}$ ; ésta permite evaluar la distancia existente entre dos soluciones cualesquiera de  $S$ . A partir de ella, se puede construir una serie de vecindarios de una solución dada  $x$ , simplemente considerando el conjunto de soluciones  $x' \in S$  que están a una cierta distancia de  $x$ . De esta manera, se obtienen los siguientes vecindarios inducidos a partir de  $\rho$ , para una solución cualquiera  $x \in S$ :

$$N_k(x) = \{x' \in S \mid \rho(x; x') = k\}; \quad k=1,2,\dots$$

Sea el vecindario  $k$ -intercambio, que consiste en sustituir  $k$  elementos (vecinos) presentes en una solución por otros  $k$  que no lo están. Es decir, estaría formada por aquellos vecindarios inducidos a partir de la métrica  $\rho(x; x') = \text{número de elementos en que difieren } x \text{ y } x'$ . Se denota por  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{\max}$  al conjunto de vecindarios preseleccionados, de manera que  $N_k(x)$  representa el conjunto de soluciones (vecinas de  $x$ ) del  $k$ -ésimo vecindario de  $x$ .

Los esquemas básicos de VNS y sus extensiones son simples requieren pocos parámetros, a veces, ninguno, lo que puede llevar a implementaciones más eficientes y menos sofisticadas a la hora de configurarla. Por lo tanto, es preciso especificar ciertos criterios que se emplean en el diseño de este algoritmo desarrollado para optimizar el problema Timetabling de la UTN FRCU, los cuales se expresan de la siguiente forma:

- La selección de los vecindarios: se hace por medio de la estrategia “ $k$ -intercambio”, es decir, realizando movimientos de  $k$ -intercambio, se obtendría el conjunto de soluciones que forman el vecindario  $N_k(x)$  de una dada, cambiando  $k$  elementos de dicha solución por otros  $k$  que no estén presentes en ella.
- La selección dentro del vecindario: se hace en forma aleatoria; se define como: Sea un conjunto de soluciones del vecindario de manera aleatoria  $V_k(x) \subseteq N_k(x)$ , se considera como parámetro de la VNS el número de soluciones seleccionadas  $s_k = |V_k(x)|$ .
- Estrategias de búsqueda y de cambio de vecindarios: se emplea la Búsqueda Local para obtener una solución vecina que mejore a la anterior dentro del vecindario. Dicha selección se realiza según la estrategia de la búsqueda ansiosa (first improvement), la cual recorre todas las soluciones del vecindario hasta que se encuentre la primera que mejore a la solución actual. Para cambiar el vecindario, se utiliza el mecanismo de aceptar ciertos movimientos que no mejoran la búsqueda, consecuentemente, se realiza un cambio sistemático que modifica el vecindario, el mismo debe alcanzar un óptimo y para ello, se aplica la Búsqueda Local hasta encontrar la mejora.

Cuando se considera optimizar un determinado problema a través de una metaheurística, se plantean dos objetivos a tener presente.

1. Intensificar la búsqueda en aquellas regiones atractivas donde se esperan encontrar buenas soluciones, es lo que se conoce como intensificación.

2. Diversificar, se considera un objetivo deseable; la búsqueda debe ser capaz de explorar gran cantidad de zonas, evitando que dicha búsqueda se concentre en una determinada región del espacio de búsqueda. A esta característica se le conoce como diversificación.

Para lograr un algoritmo balanceado con respecto a cumplir estos objetivos, se necesita conjugar en mayor o menor medida la intensificación en la búsqueda – seleccionando movimientos que mejoren la valoración de la función objetivo -, y la diversificación - aceptando aquellas otras soluciones que, aun siendo peores, permiten la evasión de los óptimos locales-. Los parámetros que determinan una variación adecuada son  $k_{max}$ ; o  $s_k$ . Otra forma, podría ser seleccionando diferentes estrategias de búsqueda.

## 6.2. Algoritmo de la Búsqueda por Vecindarios Variables

Sea  $N_k$ ,  $k = 1, \dots, k_{max}$  al conjunto de vecindarios preseleccionados, de manera que  $N_k(x)$  representa el conjunto de soluciones (vecinas de  $x$ ) del  $k$ -ésimo vecindario de  $x$ . Dichos vecindarios  $N_k$  pueden ser inducidos a partir de una o más métricas en el espacio de soluciones  $S$ , para un problema dado.

En el diseño de este algoritmo se eligió  $k_{max}=4$ , con un criterio totalmente intuitivo siendo cuatro las carreras de la Institución y considerando que es una cantidad razonable para determinar los vecindarios que intervienen en dicho método. Se describen a continuación:

- $N_1$ : selecciona un evento al azar y un día al azar, se encuentra otro evento ocupando ese día que fue seleccionado, también al azar, (diferente al que está asignado), entonces se intercambia ranuras de tiempo, si se verifica que el evento es viable de ser movido (Proceso de Validación).
- $N_2$ : selecciona un horario al azar (hora inicial y hora final - ranuras de tiempo -), selecciona dos días al azar y simplemente intercambia todos los eventos en ese intervalo de tiempo en un día con todos los eventos en el mismo intervalo de tiempo del otro día. Al menos un extremo de tiempo debe coincidir para poder ser movido (verificar el Proceso de Validación).
- $N_3$ : selecciona aleatoriamente un intervalo de tiempo de una hora y mueve la cantidad de hora mayor que contenga ese evento de una hora (comprobar el Proceso de Validación).
- $N_4$ : selecciona un evento al azar, selecciona un intervalo de tiempo al azar que no fue asignado y mueve dicho evento a ese intervalo de tiempo (chequear el Proceso de Validación).

En su implementación se construye la Búsqueda por Vecindarios Variables (VNS) como se puede ver en la Figura 21 que impacta en aplicar `ue_vns_first_best`: es el procedimiento que

establece la primera mejor solución a la propuesta, el método de búsqueda está dado por la Búsqueda Local, donde la mejor solución es alcanzada a partir de operador VNS<sup>26</sup>.

ue\_vns\_ini: es el procedimiento que va eligiendo cada vecindario en forma aleatoria: ue\_vns\_n1, ue\_vns\_n2, ue\_vns\_n3 y ue\_vns\_n4. De forma más explícita se presenta en la Figura 21:

```
{
1. hacer K=1. // Elegir el vecindario ue_vns_n1 que es aplicar N1
2. Repetir los siguientes pasos hasta que k=4 // cantidad de vecindarios
    a. Agitación: Seleccionar la solución x' del k-ésimo vecindario de x (x' ∈ Nk(x))
    b. Búsqueda Local: aplicar procedimiento de búsqueda Local partiendo x' como
       solución inicial. Denotar con x'' el óptimo local obtenido.
    c. Moverse o no, si la solución x'' mejora la mejor obtenida hacer x=x'' y continuar
       la búsqueda con N1 (k=1). En otro caso, hacer k = k + 1, se opta por el vecindario
       ue_vns_nk donde se aplica Nk.
}
```

Figura 21: Representa el pseudocódigo del algoritmo en VNS.

Dicho algoritmo va recorriendo el vecindario, de acuerdo a la definición incluida en 6.1. y para alcanzar la intensificación de la búsqueda, el método aplica el paso de Búsqueda Local ( $s_k$ ); cuando alcanza un óptimo local, la técnica realiza la diversificación, mediante el paso de Agitación ( $k_{max}$ ) para escapar de dicho óptimo. A continuación, se enuncia y se ejemplifica cada vecindario, para dar un carácter práctico a la manera en que se implementa.

$N_1$ : selecciona un evento al azar y un día al azar, encuentra otro evento en ese día, seleccionado también al azar, diferente al que está asignado el evento, luego intercambia ranuras de tiempo. Se enuncia un ejemplo para mejor comprensión: Random = 105<sup>27</sup>, valor que determinó el registro que contiene el id del evento igual a 105, del cual se accede a la comisión que es 35439, carrera 'K' corresponda a la Ingeniería en Sistemas de Información para el año 4<sup>to</sup>. Día: cuatro (4), que corresponde al jueves, se tira al azar el día a mover y determina día: uno (1) es decir, lunes. Se busca la comisión para dicha carrera de 4<sup>to</sup> año, el día lunes y se obtiene la comisión 35435, cuyos horarios son coincidentes, se verifica la disponibilidad de los docentes y se realiza el cambio.

$N_2$ : selecciona un horario al azar (hora inicial y hora final - ranuras de tiempo-), selecciona dos días al azar y simplemente intercambia todos los eventos en ese intervalo de tiempo; en un día con todos los eventos en el mismo intervalo de tiempo del otro día, debe coincidir un extremo de tiempo. Se plantea el ejemplo: Random del día: dos (2) corresponde al martes, cuya hora inicial es seleccionada al azar; es tres (3), corresponde a 19:00 hs. y hora final: seis (6), que equivale a 22:15 hs. Serán movidos

<sup>26</sup> ue\_vns\_ini.

<sup>27</sup> El Random de un curso, en este caso 105 es id del evento (número que identifica en forma única a un evento, almacenado en tabla) del cual se accede a todos los datos del curso, tal como se puede ver en Figura 2 del Capítulo. 3 - id, día, id\_hora\_ini, id\_hora\_fin, aula, carrera, anio\_carrera, materia, legajo, comisión-.

a día seleccionado por Random día: cuatro (4), correspondiente a jueves, para cada carrera y cada año, se verifica la disponibilidad de los docentes y se realiza el cambio. Lo que logró un costo de 18950. El calendario de la carrera Ingeniería Civil (O) no presentó cambio, al igual que la carrera Ingeniería en Sistemas de Información (K). También, Ingeniería Electromecánica(X). Se debe destacar que Ingeniería Civil (O) para 1<sup>er</sup> año, el cambio de curso a realizar era el mismo, es decir, la misma comisión (37501) en dos días martes y jueves equivale "ÁLGEBRA Y GEOMETRÍA ANALÍTICA", lo mismo ocurrió en 4<sup>to</sup> de la carrera Ingeniería Electromecánica(X) cuya comisión es 35485 y corresponde "ELEMENTOS DE MÁQUINAS".

$N_3$ : Selecciona aleatoriamente un intervalo de tiempo de una hora y mueve a la cantidad de hora mayor que contenga ese curso de una hora. El ejemplo es Random, cinco (5) (id del evento igual cinco (5)) que se relaciona con los datos almacenado donde la comisión 35454 ("SISTEMAS Y MÉTODOS ADMINISTRATIVOS") corresponde al día jueves, en la carrera de Licenciatura en Organización Industrial (2) para 3<sup>er</sup> Año. Su mayor cantidad de horas las tiene el día lunes; se verifica la disponibilidad de los docentes y se realiza el cambio.

$N_4$ : selecciona un evento al azar, escoge un intervalo de tiempo al azar que no fue asignado y mueve dicho evento a tal intervalo de tiempo. También se plantea a modo de ejemplo. Random: 203 registro que se relaciona con carrera Ingeniería Civil (O) para 3<sup>er</sup> año en el día: cuatro (4) es decir jueves, comisión: 35529 "HIDRÁULICA GENERAL Y APLICADA" hora inicial es cinco (5) corresponde 20:45 hs. y hora final, ocho (8) que es 24:00 hs., el intervalo de tiempo corresponde al día: cinco (5) es decir viernes desde 17:30 hs. a 24:00 hs.

Se acompaña gráficamente con la Figura 23 y Figura 24 el funcionamiento del VNS. La primera Figura, muestra cómo es el funcionamiento del algoritmo diseñado, parte de una solución inicial  $X$  mediante su vecindario  $N_k$  va intentado mejorar la solución; la línea discontinua representa qué vecindario empeora, mientras que la línea continua, los vecindarios que mejoran.

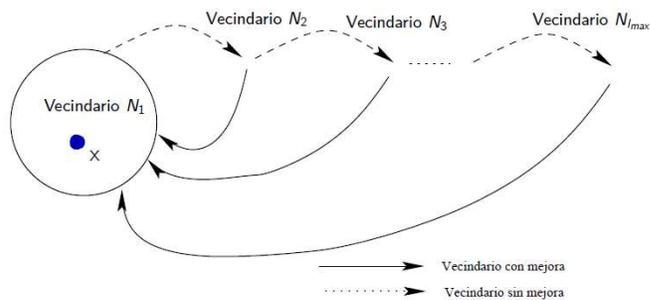


Figura 23: Representa el funcionamiento del algoritmo en VNS

Mientras que en la Figura 24, se visualiza el siguiente procedimiento gráfico del VNS diseñado para resolver el problema del horario de FRCU. Parte de una solución inicial  $x$ , mejor

solución obtenida mediante el algoritmo BLB<sup>28</sup>. A continuación, se genera la solución agitada  $x'$ , designada aleatoriamente de todas las del vecindario  $N_k=1(x)$   $k: 1, \dots, 4$ . Desde  $x'$  y mediante un procedimiento de Búsqueda Local, se obtiene un óptimo local  $x''$ . Para escapar de dicho óptimo local, se incrementa el parámetro  $k$  hasta que alcance el valor cuatro (4). En este momento se puede conseguir una solución agitada que permita alcanzar un nuevo óptimo local. Y de forma análoga, para este nuevo óptimo local, se genera una solución agitada del vecindario  $N_k=4(x)$  de dicho óptimo local, que permita escapar del mismo y llegar así al óptimo global tras la aplicación de la correspondiente Búsqueda Local. El criterio de parada en este trabajo es un máximo número de iteraciones, veinte (20) ciclos, número que se determinó por conjetura: considerando cuatro (4) carreras de promedio cinco (5) años,  $(4 \times 5 = 20)$ .

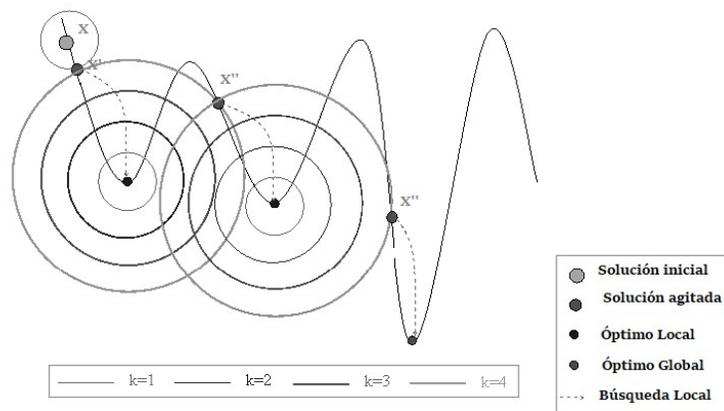


Figura 24: Ejemplo de la aplicación del algoritmo en VNS.

### 6.3. Presentación Experimental

En esta sección se desarrollan las pruebas que se llevaron adelante mediante el algoritmo de Búsqueda por Vecindarios Variables, las mismas son producto de mejorar el horario que se recibió del Capítulo 5, el cual es el parámetro de entrada para dicho método.

La metodología de trabajo es igual a lo largo de la propuesta algorítmica del Capítulo 4 y Capítulo 5, por tal motivo se pasan por alto las explicaciones de las Figura 7 y 12 respectivamente; para lograr consistencia las pruebas experimentales de los tres algoritmos desarrollados se presentan treinta instancias de solución de cada método en una grilla con prototipos similares -estas treinta ejecuciones se realizaron en forma homóloga con la misma solución inicial -. Asimismo se exhiben los reportes por Resultados por Carrera y por Resultados

<sup>28</sup> A su vez, este recibió la mejor solución del BIA, se podría decir que todo es un método compuesto donde BIA alcanza un calendario factible y se lo entrega a BLB, este se encarga de optimizarlo y se lo pasa VNS, quién saltea el mínimo local obtenido por BLB mejora dicho mínimo, consiguiendo un horario por carrera para UTN FRCU aceptable.

por Aula, correspondiente a los Horarios por carrera para el primer cuatrimestre en el turno  $t_s$ =tarde/noche de la UTN FRCU.

En la Tabla N° 7 se almacenan las instancias de solución, producto de ejecutar el algoritmo VNS con la misma solución inicial - detallado en la sección 6.2. -; la misma, se conforma por tres columnas: la primera, no identificada, representa el orden de ejecución, la segunda, nombrada como Valor FO, simboliza el valor de la Función Objetivo, luego, mencionada como Solución, expone la organización de cómo se fue generando la solución según la disposición del vecindario, luego de dos puntos “:”, se muestra la cantidad de movimientos que se han realizado hasta obtener el resultado, y la última, es Tiempo corresponde al tiempo de corrida de este algoritmo medido en segundos. La grilla presenta un ordenamiento por orden de ejecución creciente, siendo la mínima puntuación conseguida igual a 17790.

	Valor FO	Solución	Tiempo
1	17810	vns_2 vns_4 vns_1 vns_3 : mov 37	00:34
2	17905	vns_2 vns_1 vns_4 vns_3: mov 42	00:39
3	17895	vns_1 vns_2 vns_3 vns_4: mov 30	00:33
<b>4</b>	<b>17790</b>	<b>vns_2 vns_4 vns_1 vns_3 : mov 28</b>	<b>00:34</b>
5	18115	vns_1 vns_2 vns_4 vns_3: mov 53	00:36
6	17940	vns_4 vns_1 vns_2 vns_3: mov 56	00:38
7	17980	vns_2 vns_1 vns_3 vns_4: mov 61	00:47
8	18035	vns_1 vns_2 vns_3 vns_4: mov 49	00:35
9	18360	vns_1 vns_3 vns_4 vns_2: mov 53	00:37
10	18470	vns_4 vns_3 vns_1 vns_2: mov 52	00:38
11	18315	vns_1 vns_2 vns_3 vns_4: mov 46	00:44
12	17835	vns_2 vns_4 vns_1 vns_3 : mov 30	00:37
13	17795	vns_1 vns_2 vns_3 vns_4: mov 34	00:35
14	17850	vns_2 vns_4 vns_1 vns_3 : mov 46	00:44
15	18140	vns_4 vns_1 vns_2 vns_3: mov 58	00:48
16	18015	vns_1 vns_2 vns_3 vns_4: mov 55	00:54
17	18290	vns_2 vns_4 vns_1 vns_3 : mov 33	00:38
18	17965	vns_2 vns_1 vns_3 vns_4: mov 67	00:54
19	18105	vns_1 vns_2 vns_4 vns_3: mov 57	00:45
20	18455	vns_4 vns_3 vns_1 vns_2: mov 56	00:43
21	17815	vns_2 vns_1 vns_4 vns_3: mov 47	00:45
22	17800	vns_1 vns_2 vns_3 vns_4: mov 36	00:42
23	17805	vns_2 vns_1 vns_4 vns_3: mov 44	00:45
24	18245	vns_4 vns_1 vns_2 vns_3: mov 53	00:43
25	18385	vns_2 vns_1 vns_3 vns_4: mov 61	00:47
26	18100	vns_1 vns_2 vns_4 vns_3: mov 32	00:36
27	18160	vns_1 vns_3 vns_4 vns_2: mov 41	00:42
28	18365	vns_1 vns_3 vns_4 vns_2: mov 44	00:39
29	18440	vns_4 vns_3 vns_1 vns_2: mov 64	00:48
30	18340	vns_2 vns_4 vns_1 vns_3 : mov 41	00:38

Tabla 7: Representa la generación de soluciones de VNS.

La Figura 25 revela el comportamiento que tomaron las soluciones generadas a partir del VNS según la Tabla N° 7. Como se procede de igual modo que en Capítulo 4 y 5, se calcula la desviación estándar que es igual a 232,69, dicho valor se redujo con respecto a la calculada en el Capítulo anterior, mostrando mayor concentración de valores.

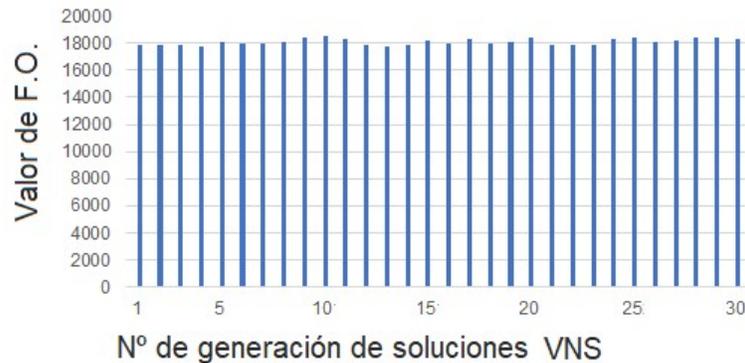


Figura 25: Gráfico de Barras que muestra la generación de soluciones del algoritmo VNS con respecto a la función objetivo.

La mejor solución reportada con el criterio de minimizar, se encuentra en la cuarta generación de resultados. En forma aleatoria se determinó el conjunto de vecindarios preseleccionados, los cuales se recorrieron dinámicamente de acuerdo a la siguiente forma: vns\_2 vns\_4 vns\_1 vns\_3; primeramente se produjo una agitación mediante  $N_2$ , luego se aplica BLB quien alcanzó el primer óptimo local, y se evalúa si mejoró la solución inicial, posteriormente se accionó  $N_4$ , de igual manera se aplica la Búsqueda Local, se compara el óptimo alcanzado; seguidamente se ejecuta el cambio sistemático de vecindario a  $N_1$ , en este se realiza la BLB y se comprueba el mejor resultado de dicho vecindario; se prosigue con  $N_3$  también se aplica Búsqueda Local para el vecindario  $N_3$  tras lograr su óptimo se verifica si se mejora (tal como se indica en la sección 6.2.:  $N_2 N_4 N_1 N_3$  respectivamente). Cada óptimo local se selecciona por la regla: “el primero que mejora”; en pos de iterar el método se alcanza un mejor valor objetivo igual a 17790 concretando veintiocho (28) movimientos, los cuales impactan en la eficiencia y rendimiento del VNS, asimismo, en la calidad del resultado, el Tiempo de corrida acumulando es de UN (1) minuto CINCUENTA Y SIETE (57) segundos, donde solo le corresponde al VNS TREINTA Y CUATRO (34) segundos. Dicho óptimo mostró buena performance en el vecindario identificado como  $N_4$ .

Esta metaheurística, al igual que la Búsqueda Local Básica descrita en el Capítulo 5 pretende mejorar una solución existente, en el proceso del VNS se redujo el valor de la Función Objetivo por lo que su comportamiento es satisfactorio, como era de esperar por saltar el mínimo local alcanzado en BLB.

Continuando con la misma metodología de los capítulos precedentes de la “Propuesta Algorítmica”, se lista una secuencia de cuatro figuras enumeradas que construyen la solución lograda con el mínimo valor de FO. Al igual que en el Capítulo previo se muestra el Resultado por Carrera que identifica cada comisión, caracterizada de lunes a viernes, en diferentes

horarios del primer cuatrimestre, en el turno  $t_s$ =tarde/noche para las cuatro carreras de grado en sus respectivos años de duración.

La Figura 26 se despliega en los cinco años de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información ('K').

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 1				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 19:00 Comisión: (37408) 43860 - 86364 Aula: Aula 53	MATEMATICA DISCRETA 18:15 - 23:15 Comisión: (37410) 46350 - 78591 Aula: Aula 31	SISTEMAS Y ORGANIZACIONES 17:30 - 19:45 Comisión: (37451) 27395 - 46351 Aula: Aula 53	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 24:00 Comisión: (37408) 86364 - 43860 Aula: Aula 53	SISTEMAS DE REPRESENTACION 17:30 - 22:15 Comisión: (37413) 46350 - 38413 Aula: Aula 53
QUIMICA 19:00 - 24:00 Comisión: (37412) 83015 - 75541 Aula: Química(20)				

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 2				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
SINTAXIS Y SEMANTICA DE LOS LENGUAJES 17:30 - 24:00 Comisión: (37418) 28071 - 30559 Aula: Aula 54	ANALISIS DE SISTEMAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37453) 59016 - 24040 - 348670 Aula: Aula 29	FISICA I 17:30 - 23:15 Comisión: (37416) 11348 - 26080 Aula: Fisica(51)	FISICA I 17:30 - 19:45 Comisión: (37416) 11348 - 26080 Aula: Fisica(51)	INGLES I 17:30 - 19:00 Comisión: (37637) 50161 Aula: Idioma(77)
			ANALISIS MATEMATICO II 19:45 - 23:15 Comisión: (37452) 30559 - 38757 Aula: Aula 56	

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 3				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
MATEMATICA SUPERIOR 17:30 - 20:30 Comisión: (37457) 39803 - 61531 Aula: LISI(SISTEMAS)	ECONOMIA 17:30 - 22:15 Comisión: (37429) 31883 - 50161 Aula: LISI(SISTEMAS)	FISICA II 17:30 - 22:15 Comisión: (37423) 40092 - D31015967 - 81282 Aula: LISI(SISTEMAS)	GESTION DE DATOS 17:30 - 24:00 Comisión: (37431) D36273827 - 45670 Aula: Aula 68	INGLES II 17:30 - 19:00 Comisión: (37645) 45867 Aula: LISI I (SISTEMAS)
FISICA II 20:45 - 24:00 Comisión: (37423) 36944 - D31015967 - 81282 Aula: Fisica(51)				DISEÑO DE SISTEMAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37455) 37262 - 40092 Aula: LISI I (SISTEMAS)

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 4				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
REDES DE INFORMACION 17:30 - 24:00 Comisión: (37439) 36792 - 76154 Aula: Aula 34	LEGISLACION 17:30 - 20:30 Comisión: (37435) 22690 Aula: Aula 34	INVESTIGACION OPERATIVA 17:30 - 21:30 Comisión: (37460) 74057 - 22696 Aula: Aula 34	SIMULACION 17:30 - 24:00 Comisión: (37437) 348670 - 33114 Aula: Aula 34	ADMINISTRACION DE RECURSOS 19:00 - 24:00 Comisión: (37459) 61531 - 41309 - 71413 Aula: Aula 34

Ing. en Sistemas de Inf. (K)				
Año Carrera: 5				
Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
CONSOLIDACION DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y LAS COMUNICACIONES 17:30 - 22:15 Comisión: (37450) 40556 - 49730 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SISTEMA DE GESTION 17:30 - 24:00 Comisión: (37444) 36944 - 46351 Aula: LISI II(SISTEMAS)	SEGURIDAD EN SISTEMAS DE INFORMACION 16:45 - 20:30 Comisión: (37448) 78589 - 46355 Aula: LISI II(SISTEMAS)	PROYECTO 17:30 - 22:15 Comisión: (37462) 38413 - 50810 - 30985 Aula: LISI II(SISTEMAS)	RELACIONES HUMANAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37445) 22696 - 40235 Aula: LISI II(SISTEMAS)
		TECNOLOGIA PARA LA EXPLOTACION DE DATOS 20:45 - 24:00 Comisión: (37446) 58432 - 78591 Aula: LISI II(SISTEMAS)		TECNOLOGIA PARA LA EXPLOTACION DE DATOS 21:30 - 23:15 Comisión: (37446) 58432 - 78591 Aula: LISI II(SISTEMAS)

Figura 26: Representa la Pantalla Resultado de aplicar Búsqueda VNS – Carrera K

A continuación, se presenta en la Figura 27, el horario es de la Ingeniería Civil, nombrada con la letra 'O' para sus seis años de carrera.

Ing. Civil. (O)				
Año Carrera: 1				
Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ANALISIS MATEMATICO I 17:30 - 22:15 Comisión: (37473) 52365 - 82366 Aula: Aula 25	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 16:45 - 21:30 Comisión: (37501) 40475 - 45867 Aula: CIVIL	INGENIERIA CIVIL I 17:30 - 19:45 Comisión: (37491) 27395 - 19272 Aula: Aula 25	ANALISIS MATEMATICO I 17:30 - 20:30 Comisión: (37473) 82366 - 52365 Aula: Aula 27	INGENIERIA Y SOCIEDAD 17:30 - 20:30 Comisión: (37510) 023696133 - 39804 - 84987 Aula: Aula 31
	SISTEMAS DE REPRESENTACION 21:30 - 24:00 Comisión: (37489) 73693 - 84987 - 9235 Aula: Aula 25		ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 20:45 - 24:00 Comisión: (37501) 45672 - 45867 Aula: Aula 27	

Ing. Civil. (O)				
Año Carrera: 2				
Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
INGLES I 16:45 - 18:15 Comisión: (37563) 36099 Aula: Idioma(77)	ESTABILIDAD 17:30 - 23:15 Comisión: (37517) 45672 - 29137 Aula: Aula 54	INGENIERIA CIVIL II 19:00 - 21:30 Comisión: (37493) 39804 - 32358 Aula: Aula 28	ANALISIS MATEMATICO II 17:30 - 19:45 Comisión: (37518) 81182 - 65869 Aula: Aula 57	TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES 17:30 - 20:30 Comisión: (37494) 82365 - 030166745 - 16679 Aula: Aula 30
ANALISIS MATEMATICO II 18:15 - 24:00 Comisión: (37518) 65869 - 81182 Aula: Civil(43)		ESTABILIDAD 21:30 - 24:00 Comisión: (37517) 13029 - 29137 Aula: Aula 28		

Ing. Civil. (O)				
Año Carrera: 3				
Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
RESISTENCIA DE MATERIALES 17:30 - 24:00 Comisión: (37549) 13029 - 26039 - 22903 Aula: Aula 30	HIDRAULICA GENERAL Y APLICADA 17:30 - 22:15 Comisión: (37529) 13029 - 44069 Aula: Aula 28	TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION 17:30 - 19:00 Comisión: (37496) 37262 - 83556 Aula: L. CIVIL	TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION 17:30 - 20:30 Comisión: (37496) 83556 - 32358 Aula: Aula 30	HIDRAULICA GENERAL Y APLICADA 20:45 - 24:00 Comisión: (37529) 33664 - 44069 Aula: Aula 30
		TECNOLOGIA DEL HORMIGON 19:00 - 22:15 Comisión: (37530) 32358 - 36099 - 030166745 Aula: Aula L. CIVIL	INGLES II 20:45 - 22:15 Comisión: (37564) 16679 Aula: Aula 30	

Ing. Civil. (O)				
Año Carrera: 4				
Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
INSTALACIONES SANITARIAS Y DE GAS 17:30 - 22:15 Comisión: (37550) 37262 - 59656 Aula: CIVIL	ESTRUCTURAS DE HORMIGON 17:30 - 24:00 Comisión: (37551) 33664 - 55327 Aula: Aula 57	ANALISIS ESTRUCTURAL I 20:45 - 24:00 Comisión: (37552) 74319 - 26039 Aula: CIVIL	DISEÑO ARQUITECTONICO, PLANEAMIENTO Y URBANISMO 17:30 - 21:30 Comisión: (37497) 023696133 - 74695 - 75366 Aula: CIVIL	ANALISIS ESTRUCTURAL I 17:30 - 22:15 Comisión: (37552) 46355 - 72604 Aula: CIVIL
				ESTRUCTURAS DE HORMIGON 22:30 - 24:00 Comisión: (37551) 55327 - 15196 Aula: Aula 54

Ing. Civil. (O)				
Año Carrera: 5				
Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
CIMENTACIONES 17:30 - 20:30 Comisión: (37556) 35420 - 26044 Aula: Aula 69	CIMENTACIONES 17:30 - 19:00 Comisión: (37556) 80514 - 26044 Aula: Aula 69	PREFABRICACION 17:30 - 20:30 Comisión: (37555) 9235 - 36522 Aula: Aula 69	ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD 17:30 - 22:15 Comisión: (37554) 30987 - 17921 Aula: Aula 69	VIAS DE COMUNICACION I 17:30 - 19:00 Comisión: (37553) 26039 - 44374 - 80514 Aula: Aula 69
	VIAS DE COMUNICACION I 19:00 - 24:00 Comisión: (37553) 15196 - 59656 - 44374 Aula: Aula 69	AMBIENTAL 20:45 - 24:00 Comisión: (37557) 79147 - 74319 Aula: Aula 69		ORGANIZACION Y CONDUCCION DE OBRAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37498) 72604 - 82809 Aula: Aula 69

Ing. Civil. (O)				
Año Carrera: 6				
Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
OBRAS FLUVIALES Y MARITIMAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37562) 33664 - 25208 Aula: L. CIVIL	CONSTRUCCIONES METALICAS Y DE MADERA 17:30 - 24:00 Comisión: (37559) 40009 - 86364 - 14211 Aula: L. CIVIL	PROYECTO FINAL 17:30 - 22:15 Comisión: (37558) 75970 - 15196 Aula: Civil(43)	INGENIERIA SANITARIA 19:00 - 24:00 Comisión: (37560) 17756 - 36187 Aula: L. CIVIL	PUENTES 17:30 - 22:15 Comisión: (37561) 59656 - 29137 Aula: L. CIVIL

Figura 27: Representa la Pantalla Resultado de aplicar Búsqueda VNS – Carrera O

Ahora, se muestra la Figura 28, de la carrera: 'X' - Ingeniería Electromecánica- comprende cinco años para cada una de las comisiones formadas a partir del primer cuatrimestre.

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 1

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
INGENIERIA ELECTROMECHANICA I 21:30 - 24:00 Comisión: (37467) 22128 - 42816 - D40163377 Aula: Aula 27	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 17:30 - 21:30 Comisión: (37506) 82366 - 79145 Aula: Aula 25	ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA 18:15 - 22:15 Comisión: (37506) 31295 - 43860 Aula: Aula 59	SISTEMAS DE REPRESENTACION 17:30 - 22:15 Comisión: (37511) 27395 - 9235 Aula: Aula 25	ANALISIS MATEMATICO I 17:30 - 24:00 Comisión: (37503) D34077491 - 31883 Aula: Aula 32
		ANALISIS MATEMATICO I 22:30 - 24:00 Comisión: (37503) 29137 - 31883 Aula: Aula 59		

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 2

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
ESTABILIDAD 17:30 - 22:15 Comisión: (37469) 43860 - 44210 - 26050 Aula: Aula 28	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA 19:00 - 24:00 Comisión: (37525) 57256 - 82094 Aula: Aula 23	ANALISIS MATEMATICO II 17:30 - 19:45 Comisión: (37522) 79145 - 23812 Aula: Aula 56	INGLES I 17:30 - 19:00 Comisión: (37629) 32690 Aula: Idioma(77)	ANALISIS MATEMATICO II 18:15 - 24:00 Comisión: (37522) 82366 - 23812 Aula: Aula 23
			INGENIERIA ELECTROMECHANICA II 19:00 - 21:30 Comisión: (37471) 78588 - 22128 Aula: Aula 67	

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
MATEMATICA PARA INGENIERIA ELECTROMECHANICA 17:30 - 22:15 Comisión: (37567) 63659 - 71722 Aula: Eléctrica(75)	ELECTROTECNIA 18:15 - 23:15 Comisión: (37476) 75368 - 30575 Aula: Aula 59	TECNOLOGIA MECANICA 17:30 - 23:15 Comisión: (37540) 18867 - 26048 Aula: Lab. ELECTRO	INGLES II 17:30 - 19:00 Comisión: (37482) 32626 Aula: Aula 32	TECNOLOGIA MECANICA 17:30 - 19:45 Comisión: (37540) 75368 - 26048 Aula: Lab. ELECTRO
		TERMODINAMICA TECNICA 23:15 - 24:00 Comisión: (37480) 65869 - 42608 - 84984 Aula: Lab. ELECTRO	INGENIERIA ELECTROMECHANICA III 19:00 - 21:30 Comisión: (37475) 22690 - 36184 Aula: Aula 32	TERMODINAMICA TECNICA 19:45 - 22:15 Comisión: (37480) 34698 - 18867 - 84984 Aula: Lab. ELECTRO

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 4

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
MAQUINAS TERMICAS 17:30 - 19:00 Comisión: (37542) 12070 - 18867 - 42608 Aula: Aula 55	ELEMENTOS DE MAQUINAS 19:00 - 24:00 Comisión: (37485) 30773 - 26050 - D28959321 Aula: Lab. ELECTRO	MAQUINAS TERMICAS 16:45 - 23:15 Comisión: (37542) 44210 - 12070 - 42608 Aula: Aula 55	MECANICA DE LOS FLUIDOS Y MAQUINAS FLUIDODINAMICAS 17:30 - 20:30 Comisión: (37487) 19950 - 42608 Aula: Lab. ELECTRO	MEDICIONES ELECTRICAS 17:30 - 24:00 Comisión: (37541) 71722 - 21935 Aula: Eléctrica(75)
MAQUINAS ELECTRICAS 19:00 - 23:15 Comisión: (37490) 42608 - 82364 Aula: Aula 55				

Ing.Electromecanica (X)

Año Carrera: 5

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL 16:45 - 19:00 Comisión: (37566) 84985 - 84431 Aula: L. ELECTRO	AMBIENTAL 17:30 - 20:30 Comisión: (37547) 84431 - 74319 Aula: L. ELECTRO	REDES DE DISTRIBUCION E INSTALACIONES ELECTRICAS 17:30 - 21:30 Comisión: (37492) 18867 - 63660 Aula: L. ELECTRO	MAQUINAS DE ELEVACION Y TRANSPORTE CONTINUO 17:30 - 24:00 Comisión: (37544) 21935 - 16732 Aula: L. ELECTRO	ORGANIZACION INDUSTRIAL 16:45 - 21:30 Comisión: (37545) 84431 - 22804 Aula: L. ELECTRO
INTRODUCCION AL PROYECTO DE INSTALACIONES INDUSTRIALES (electiva) 19:00 - 24:00 Comisión: (37546) 80512 - 88690 Aula: L. ELECTRO	ELECTRONICA DE POTENCIA (electiva) 20:45 - 24:00 Comisión: (37543) 26081 - 79562 Aula: L. ELECTRO	PROYECTO FINAL 21:30 - 24:00 Comisión: (37569) 75970 - 22804 Aula: L. ELECTRO		AUTOMATIZACION Y CONTROL INDUSTRIAL 21:30 - 24:00 Comisión: (37566) 21935 - 84985 Aula: L. ELECTRO

Figura 28: Representa la Pantalla Resultado de aplicar Búsqueda VNS – Carrera X

Finalmente, le corresponde a la Figura 29, se programan los cuatro años de carrera Licenciatura en Organización Industrial se representa: '2'.

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 1

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
INFORMATICA I 18:15 - 23:15 Comisión: (37421) 34695 - 40299 Aula: Aula 56	INGLES I 16:45 - 19:00 Comisión: (37610) 22690 Aula: Idioma(77)	ORGANIZACION INDUSTRIAL I 17:30 - 22:15 Comisión: (37481) 82366 - 39128 Aula: Aula 33	ALGEBRA 17:30 - 19:45 Comisión: (37407) 84666 - 45672 Aula: Aula 76	ALGEBRA 17:30 - 22:15 Comisión: (37407) 45672 - 84666 Aula: Aula 56
	QUIMICA 19:00 - 24:00 Comisión: (37422) 37182 - 38758 Aula: Química(20)			

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 2

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
CONOCIMIENTO DE MATERIALES 17:30 - 22:15 Comisión: (37430) 78381 - 31304 - 30225 Aula: Aula 79	INGLES II 16:45 - 19:00 Comisión: (37568) 37262 Aula: Aula 33	INFORMATICA II 17:30 - 22:15 Comisión: (37433) 40299 Aula: Aula 79	COSTOS 17:30 - 22:15 Comisión: (37432) 35756 - 33666 Aula: Aula 33	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA 18:15 - 23:15 Comisión: (37436) 40299 - 19272 Aula: Aula 33
	ORGANIZACION INDUSTRIAL II 19:00 - 24:00 Comisión: (37483) 22690 - 30987 - 82366 Aula: Aula 33			

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 3

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
PLANIFICACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION 17:30 - 22:15 Comisión: (37456) 46350 - 17545 Aula: Aula 23	SISTEMAS Y METODOS ADMINISTRATIVOS 16:45 - 21:30 Comisión: (37454) 35756 - 78803 Aula: Aula 79	LEGISLACION 17:30 - 18:15 Comisión: (37449) 39288 Aula: Aula 23	INGENIERIA DE CALIDAD 17:30 - 21:30 Comisión: (37486) 42459 - D36318434 Aula: Aula 23	ORGANIZACION INDUSTRIAL III 17:30 - 19:45 Comisión: (37484) 32814 - 42459 Aula: Aula 79
		ECONOMIA DE LA EMPRESA 18:15 - 23:15 Comisión: (37443) 40299 Aula: Aula 23	ORGANIZACION INDUSTRIAL III 21:30 - 24:00 Comisión: (37484) 37262 - 18867 Aula: Aula 79	LEGISLACION 19:45 - 24:00 Comisión: (37449) 82094 Aula: Aula 79

Lic. en Organización Ind. (2)

Año Carrera: 4

Lunes:	Martes:	Miercoles:	Jueves:	Viernes:
EVALUACION DE PROYECTOS 20:45 - 23:15 Comisión: (37463) 52778 - 30325 Aula: LOI(61)	GESTION DE PYMES 16:45 - 24:00 Comisión: (37466) 36368 - 39288 Aula: LOI(61)	EVALUACION DE PROYECTOS 19:00 - 24:00 Comisión: (37463) 32814 - 30325 Aula: LOI(61)	COMERCIO EXTERIOR 17:30 - 22:15 Comisión: (37662) 59016 - 36368 Aula: LOI(61)	PROYECTO FINAL 17:30 - 22:15 Comisión: (37488) 41886 - 52778 Aula: LOI(61)

Figura 29: Representa la Pantalla Resultado de aplicar Búsqueda VNS – Carrera 2

En la Tabla N° 8 se despliega el Resultado por Aula. En cada intersección de columna/filas se representa el uso de esa aula (fila) para tal día (columna). Análogamente a como se empleó en el Capítulo 4 y Capítulo 5.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Química(20)	2 4º 17:30 - 22:15 (37662)	2 1º 19:00 - 24:00 (37422)			
Aula 23	2 3º 17:30 - 22:15 (37456)	X 2º 19:00 - 24:00 (37525)	2 3º 17:30 - 18:15 (37449) 2 3º 18:15 - 23:15 (37443)	2 3º 17:30 - 21:30 (37486)	X 2º 18:15 - 24:00 (37522)
Aula 25	O 1º 17:30 - 22:15 (37473)	X 1º 17:30 - 21:30 (37506) O 1º 21:30 - 24:00 (37489)	O 1º 17:30 - 19:45 (37491)	X 1º 17:30 - 22:15 (37511)	
Aula 27	X 1º 17:30 - 22:15 (37511)			O 1º 17:30 - 20:30 (37473) O 1º 20:45 - 24:00 (37501)	
Aula 28	X 2º 17:30 - 22:15 (37469)	O 3º 17:30 - 22:15 (37529)	O 2º 19:00 - 21:30 (37493) O 2º 21:30 - 24:00 (37517)		
Aula 29		K 2º 19:00 - 24:00 (37453)			
Aula 30	O 3º 17:30 - 24:00 (37549)			O 3º 17:30 - 20:30 (37496) O 3º 20:45 - 22:15 (37564)	O 2º 17:30 - 20:30 (37494) O 3º 20:45 - 24:00 (37529)
Aula 31		K 1º 18:15 - 23:15 (37410)			O 1º 17:30 - 20:30 (37510)
Aula 32				X 3º 17:30 - 19:00 (37482) X 3º 19:00 - 21:30 (37475)	X 1º 17:30 - 24:00 (37503)
Aula 33		2 2º 19:00 - 24:00 (37483)	2 1º 17:30 - 22:15 (37481)	2 2º 16:45 - 21:30 (37432)	2 2º 18:15 - 23:15 (37436)
Aula 34	K 4º 17:30 - 24:00 (37439)	K 4º 17:30 - 20:30 (37435)	K 4º 17:30 - 20:30 (37435)	K 4º 17:30 - 24:00 (37437)	K 4º 19:00 - 24:00 (37459)
Civil(43)	O 2º 18:15 - 24:00 (37518)		O 6º 17:30 - 22:15 (37558)		
Física(51)	X 4º 17:30 - 24:00 (37541)		K 2º 17:30 - 23:15 (37416)	K 2º 17:30 - 19:45 (37416)	
Aula 53	K 1º 17:30 - 19:00 (37408)		K 1º 17:30 - 19:45 (37451)	K 1º 17:30 - 24:00 (37408)	K 1º 17:30 - 22:15 (37413)
Aula 54	K 2º 17:30 - 24:00 (37418)	O 2º 17:30 - 23:15 (37517)			O 4º 22:30 - 24:00 (37551)
Aula 55	X 4º 17:30 - 19:00 (37542) X 4º 19:00 - 23:15 (37490)		X 4º 16:45 - 23:15 (37542)		
Aula 56	2 1º 18:15 - 23:15 (37421)		X 2º 17:30 - 19:45 (37522)	K 2º 19:45 - 23:15 (37452)	2 1º 17:30 - 22:15 (37407)
Aula 57		O 4º 17:30 - 24:00 (37551)		O 2º 17:30 - 19:45 (37518)	
Aula 59		X 3º 18:15 - 23:15 (37476)	X 1º 18:15 - 22:15 (37506) X 1º 22:30 - 24:00 (37503)		
Aula 60					
LOI(61)	2 4º 20:45 - 23:15 (37463)	2 4º 16:45 - 24:00 (37466)	2 4º 19:00 - 24:00 (37463)	2 4º 17:30 - 22:15 (37662)	2 4º 17:30 - 22:15 (37662)
Aula 67				X 2º 19:00 - 21:30 (37471)	
Aula 68				K 3º 17:30 - 24:00 (37431)	
Aula 69	O 5º 17:30 - 20:30 (37556)	O 5º 17:30 - 19:00 (37556) O 5º 19:00 - 24:00 (37553)	O 5º 17:30 - 20:30 (37555) O 5º 20:45 - 24:00 (37557)	O 5º 17:30 - 22:15 (37554)	O 5º 17:30 - 19:00 (37553) O 5º 19:00 - 24:00 (37498)
Eléctrica(75)	X 3º 17:30 - 22:15 (37567)				X 4º 17:30 - 24:00 (37541)
Aula 76				2 1º 17:30 - 19:45 (37407)	
Idioma(77)	O 2º 16:45 - 18:15 (37563)	2 1º 16:45 - 19:00 (37610)		2 2º 21:30 - 24:00 (37568) X 2º 17:30 - 19:00 (37629)	K 2º 17:30 - 19:00 (37637)
Aula 78					
Aula 79	2 2º 17:30 - 22:15 (37430)	2 2º 17:30 - 22:15 (37430)	2 2º 17:30 - 22:15 (37433)	2 3º 21:30 - 24:00 (37484)	2 3º 17:30 - 19:45 (37484) 2 3º 19:45 - 24:00 (37449)
CIVIL	O 4º 17:30 - 22:15 (37550)	O 1º 16:45 - 21:30 (37501)	O 4º 20:45 - 24:00 (37552)	O 4º 17:30 - 21:30 (37497)	O 4º 17:30 - 22:15 (37552)
L. CIVIL	O 6º 17:30 - 21:30 (37562)	O 6º 17:30 - 24:00 (37559)	O 3º 17:30 - 19:00 (37496) O 3º 19:00 - 22:15 (37530)	O 6º 19:00 - 24:00 (37560)	O 6º 17:30 - 22:15 (37561)
L. ELECTRO	X 5º 16:45 - 19:00 (37566) X 5º 19:00 - 24:00 (37546)	X 5º 17:30 - 20:30 (37547) X 5º 20:45 - 24:00 (37543)	X 5º 17:30 - 19:45 (37492) X 5º 19:45 - 22:15 (37569)	X 5º 17:30 - 19:45 (37492) X 5º 17:30 - 24:00 (37544)	X 5º 16:45 - 21:30 (37545) X 5º 21:30 - 24:00 (37566)
Lab. ELECTRO		X 4º 19:00 - 24:00 (37485)	X 3º 17:30 - 23:15 (37540) X 3º 23:15 - 24:00 (37480)	X 4º 17:30 - 20:30 (37487)	X 3º 17:30 - 19:45 (37540) X 3º 19:45 - 22:15 (37480)
LISI(SISTEMAS)	K 3º 17:30 - 20:30 (37457)	K 3º 17:30 - 22:15 (37429)	K 3º 17:30 - 22:15 (37423)		K 3º 17:30 - 19:00 (37645) K 3º 19:00 - 24:00 (37455)
LISI II(SISTEMAS)	K 5º 17:30 - 22:15 (37450)	K 5º 17:30 - 24:00 (37444)	K 5º 16:45 - 20:30 (37448) K 5º 20:45 - 24:00 (37446)	K 5º 17:30 - 22:15 (37462)	K 5º 17:30 - 21:30 (37445) K 5º 21:30 - 23:15 (37446)

Tabla 8 - Representa la disposición de las aulas en los días de la semana para la solución VNS

## 6.4. Relación de la Búsqueda Local Básica vs VNS

El caso de estudio que se inició, de carácter exploratorio, ha brindado resultados factibles sobre la aplicación de algoritmos metaheurísticos tanto de Búsqueda Local Básica como Búsqueda por Vecindarios Variables (VNS), ambas metaheurísticas se diseñaron para mejorar un horario existente. Está claro, que los resultados exploratorios obtenidos por ambas estrategias dependen fuertemente de las soluciones iniciales consideradas. Sus desempeños son aceptables.

Realizar una comparación con ambas metaheurísticas se estaría obrando inadecuadamente, ya que VNS depende de la BLB, si bien, ambas persiguen el mismo objetivo: mejorar un horario de clases existente para la Facultad en cuestión; el primer método saltea el mínimo local alcanzado por la Búsqueda Local, es decir depende directamente de su solución para funcionar; de acuerdo a lo expresado, sólo se hará una mera relación entre ellas.

El Algoritmo Búsqueda por Vecindarios Variables parte de la mejor solución obtenida del algoritmo Búsqueda Local Básica y emplea los cambios sistemáticos en el vecindario tras la aplicación de la correspondiente Búsqueda Local, incrementando la calidad de la solución en la mayoría de los casos. Iterativamente se busca y se realiza un movimiento que mejora dentro de un conjunto de posibilidades, se designa la primera que aplica el movimiento que reduce el valor de la Función Objetivo.

En el algoritmo Búsqueda Local Básica se parte de la mejor solución obtenida del algoritmo Inicial Aleatorio. Aplica el proceso iterativo y optimiza dicha solución realizando movimientos dentro del vecindario que modifican localmente, se designa la mejor; es decir, el resultado que más reduce el valor de la FO.



Figura 30: Gráfico de Barras que muestra la generación de soluciones tanto del algoritmo BLB como del algoritmo VNS con respecto a la Función Objetivo.

En la Figura 30, se muestra la relación del Número de generación de soluciones (Eje de abscisas o eje X) con respecto al valor de la Función Objetivo (Eje de ordenada o eje Y), tanto para los resultados del Algoritmo Búsqueda Local Básica (BLB) presentado en Capítulo 5 como del Algoritmo Búsqueda por Vecindarios Variables (VNS) expresado recientemente.

En BLB, la región factible es representada por el intervalo [18675, 20105], quien presenta una variación de los valores de la Función Objetivo menos significativa, el mismo es más amplio que en VNS, la desviación estándar es igual a 458,19 y la curva se manifiesta con algunas oscilaciones. En la Búsqueda por Vecindarios Variables, el rango es de [17790,18470] estableciendo una distribución más homogénea donde la variable FO se revela más concentrada, la disposición de sus valores muestra una curva muy suave, la medida de desviación estándar es 232,69 disminuye notablemente. La forma de aplicar eventualmente BIA-BLB-VNS podría entregar resultados que no son estadísticamente significativo, a los efectos de corroborar estadísticamente, se prueba el test de Wilcoxon entre las dos muestras, al igual que en el Capítulo anterior, esta vez, arroja un p-valor =  $1.73003713e-06$  (muy pequeño) a un nivel de confianza del 95%, indicando que las muestras son estadísticamente significativas en favor de VNS.

Al establecer el criterio de minimizar la violación de la restricción planteada, el valor de FO se reduce, lo que impacta en la calidad de sus resultados, consecuentemente se consiguen buenos horarios para las carreras de UTN FRCU, en ambos métodos. El mejor resultado de FO para el Algoritmo Búsqueda por Vecindarios Variables es igual 17790 alcanzado en la cuarta generación (según la Tabla N° 7), mientras que, la mejor solución obtenida a partir de la ejecución del Algoritmo de Búsqueda Local Básica que es igual 18675, lograda en la octava generación (según la Tabla N° 5 del Capítulo 5). Esto evidencia que el primer algoritmo mejora respecto al otro, lo cual es esperable, debido a que el VNS toma el mejor resultado de BLB, como solución inicial, y luego alcanza el proceso de optimización.

La Búsqueda Local Básica, como se usa en este trabajo, se puede ver como un proceso iterativo que empieza en una solución y la mejora buscando en su vecindario por una solución con más calidad, presenta la dificultad de quedar atrapada fácilmente en mínimos locales. Para evitar dicha situación, se introduce la estrategia de Búsqueda por Vecindarios Variables, la cual por su implementación de cambios sistemáticos en los vecindarios mejora aún más la solución de BLB.

Ambos algoritmos pertenecen a la clasificación de metaheurísticas basadas en Trayectoria, donde su principal estrategia de búsqueda es el vecindario; en la literatura, la Búsqueda Local y la VNS han sido ampliamente estudiados y aplicados para resolver varios problemas de planificación. Revelan el cumplimiento en mayor o menor grado de las restricciones deseables de los mismos, es decir, las que propician o garantizan un buen calendario universitario.

Se describen algunas propiedades comunes que impactan en los ambos métodos:

La simplicidad de la Búsqueda Local Básica es recorrer aleatoriamente el espacio de búsqueda, mientras que, la Búsqueda por Vecindarios Variables se basa en un principio simple poco explorado, que es el cambio sistemático del vecindario durante la búsqueda. La precisión de ambos algoritmos está dotada de reglas específicas que describen la forma de efectuar los movimientos, a su vez, ambos métodos utilizan el concepto de vecindario. La eficacia de la VNS se reclina en la probabilidad de encontrar soluciones óptimas para una gran cantidad de problemas que ha sido comparada y probada en la resolución de problemas de varios bancos de prueba, con resultados óptimos o muy cercanos a los óptimos, por otro lado, la efectividad de la BLB se basa en un proceso iterativo que empieza en una solución y la mejora, realizando modificaciones locales, que producen ciertos estancamientos.

Los procedimientos presentan una sólida robustez, lo cual decanta en un rendimiento significativo. Sin embargo, Búsqueda por Vecindarios Variables (VNS) puede mejorar su rendimiento utilizando recursos computacionales tal como: CPU con procesadores multidireccional, ejecutando la heurística VNS en cada procesador o thread, partiendo de la misma solución inicial, empleando en cada uno diferentes vecindarios; luego VNS, comprueba el óptimo alcanzado. El procedimiento de Búsqueda Local se realiza en cada procesador o thread, se selecciona aleatoriamente el vecindario que se va a utilizar. Una vez que finalizan todas las búsquedas, la mejor solución obtenida se emplea como solución inicial en la nueva ronda, etc., los recursos computacionales de VNS han permitido obtener procedimientos cada vez más rápidos en el acercamiento de los óptimos.

Se concluye de todo lo expuesto y analizado en esta sección que ambos algoritmos cumplen con los resultados esperados en la medida que cumplen con las restricciones planteadas optimizan el calendario, sus éxitos se deben en gran medida a la buena calidad de la solución inicial. El método de VNS se implementa para mejorar el óptimo de BLB, por lo que su comportamiento es adecuado ya que produce mayor calidad del Timetabling alcanzado, a su vez, el BLB recibe la mejor solución alcanzada por BIA hasta el momento, donde BIA se implementa para crear el horario Inicial factible de esa secuencia de algoritmos que conforman un método compuesto. La metaheurística VNS, tiene por funcionalidad saltar el mínimo local alcanzado por el método que lo sirve, y BLB mejorar la solución que recibe, ambas implementaciones son muy simples y el tiempo computacional es muy razonable; por lo que se consideran apropiadas para resolver este caso de estudio.

## **6.5. Conclusión**

Los métodos para encontrar la mejor solución (óptima) varían de acuerdo a la complejidad del problema enfrentado, en la medida que esta aumenta, se hace necesario contar con herramientas adicionales. En esta dirección, se implementó la metaheurística VNS - Búsqueda por Vecindarios Variables - que es una técnica que cuenta con una extensa literatura, con variadas áreas de aplicación, donde la principal característica radica en el cambio sistemático en el vecindario, garantizando encontrar soluciones aproximadas por medio de sencillo pasos.

El Algoritmo expuesto en esta sección, se diseñó para mejorar el calendario académico de FRCU, el cual parte del mejor horario obtenido del método de Búsqueda Local Básica (Capítulo 5). Se pensó para salvar la dificultad que presenta dicho método, de quedar fácilmente atrapado en mínimos locales, debido a que el VNS se distingue por la particularidad de integrar de diversas maneras procedimientos de mejora local, creando un proceso capaz de escapar de los óptimos locales; de esta forma, permite realizar una búsqueda robusta en el espacio de búsqueda del problema presentado. Dicho espacio es delimitado mediante el entorno de programación restrictiva, esto perfecciona la búsqueda logrando horarios factibles ya que se asegura el cumplimiento de las restricciones Básicas que son absolutamente esenciales; también, mejora la calidad de sus soluciones por satisfacer ciertas restricciones Adicionales y de Preferencia que atienden determinados deseos individuales de los docentes y de los departamentos; asimismo, alcanzan algunas metas generales de la propia institución. Este sistema complejo de métodos compuestos, converge en un horario que es aplicable en la

práctica, demostrando correctitud en la asignación de los eventos que responden a algunas aspiraciones que se ganan por principio de optimalidad, en tiempos computacionales muy aceptables.

Con los resultados experimentales arrojados, se puede decir que el algoritmo mostró buen rendimiento en lo referente a calidad de soluciones y a los recursos empleados, procurando cierto grado de confianza al encontrar horarios automatizados de alta calidad en tiempo polinómico, se precisa que en el vecindario  $N_4$  demostró una buena performance. Para justificar dichos resultados con respecto a comunidad científica relacionada con este área, se cita a Abdullah S. [2], en su trabajo plantea la planificación de horarios e implementa entre varios métodos la Búsqueda por Vecindario a gran escala, su informe demuestra que los resultados computacionales conseguidos por la Búsqueda por Vecindarios manifiestan buena calidad en sus horarios y el tiempo demandado es alto (usa instancias estándares de referencia universitaria).

El valor de la Función Objetivo demostró su reducción acertada, propio del propósito de esta investigación como es minimizar la penalidad asociada a violar las restricciones planteadas.

Por lo tanto, además de proporcionar muy buenas soluciones, el VNS da una idea de las razones de tal desempeño. Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios ya que, se encontró una solución al problema del horario realizado manualmente, en UTN FRCU, donde los tiempos computacionales son muy superiores a los “hecho a mano”, y la calidad de sus resultados es análoga.

# Capítulo 7

## Asignación de Horarios y Aulas

Este Capítulo mostrará, en primera instancia, las peculiaridades de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay a la hora de confeccionar un horario. Al punto de hacer una presentación preliminar de cómo se confecciona manualmente. Posteriormente, se detalla la herramienta tecnológica que se utilizó para tal asignación en forma automática, con la ventaja de permitir al usuario ingresar parámetros fijos, tanto en la entrada como en el resultado, alcanzando ciertas preferencias individuales, no esenciales. Por último, se valoran los beneficios que ofrece la misma a modo de conclusión.

### 7.1. Características

La generación de horarios en esta Facultad se realiza de forma manual; es una tarea tediosa que requiere una gran cantidad de tiempo, donde directores de departamentos y personal no docente administrativo, perteneciente a la Secretaría Académica; deben satisfacer una serie de requerimientos impuestos por políticas de esta Regional. A continuación, se detalla cómo revisión la forma explícita de confeccionar actualmente el calendario.

Previo al comienzo de cada cuatrimestre, cada departamento decide la oferta de materias y qué docentes estarán a cargo de cada uno de sus cursos. Junto a esta información, está la disponibilidad horaria de los docentes, así como el máximo de veces por semana que desean dedicar a la enseñanza según la cantidad de horas semanales que posee la materia a planificar (esta información se puede encontrar en el Plan de Estudio de cada carrera presentado en el Anexo II).

Con estos datos se procede a resolver el problema de horarios de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay, que consiste en un conjunto de recursos tales como: de  $m$  cursos, un conjunto de  $n$  docentes y una cantidad  $e$  de aulas, que deben ser programados en  $d$  días y en cada día, hay períodos de tiempo  $t$ . Además, se trata de un parámetro de entrada el turno  $t_s$  y el cuatrimestre  $h$  a planificar (Tarde/ Noche, 1º Cuatrimestre).

En cada período de tiempo, un curso puede ser asignado en un aula. Cada docente tiene su propia preferencia para enseñar. Cada curso se puede ejecutar solo en un subconjunto de aulas y un subconjunto de días. Como se describe en Capítulo 1 en el apartado de 1.2.2. (Especificación del problema); el año académico está dividido en dos cuatrimestres cuyos horarios se programan en forma independiente. Por su parte, cada día de la semana está dividido en ocho (8) bloques horarios, distribuidos en una hora cátedra simbolizada de cuarenta y cinco (45) minutos reloj, cabe señalar que el horario semanal se repite durante todo el

cuatrimestre. Cada curso del cuatrimestre se ubica dentro del plan de estudio de la carrera, las materias pueden ser anuales y cuatrimestrales; las anuales se programan por cuatrimestre, es decir, existen en ambos cuatrimestres. Un curso es una materia con estudiantes inscriptos a ella; si cada materia está dividida en comisiones, entonces una comisión sigue el esquema del curso. Todas esas especificaciones se consideran estrictamente en la aplicación.

En este contexto, surge el problema de la demora en los procesos de selección y planificación de los horarios y de las aulas que muchas veces se superponen los recursos; entonces, se busca encontrar una solución viable. Una de las formas más innovadoras y de bajo costo para solucionar este problema y optimizar ambos procesos es por medio de una aplicación que se diseñó y se desarrolló para tal fin, llamada: Gestión de Horarios y Aulas.

La tecnología es un medio que cuenta con herramientas que permiten optimizar sus procesos y realizarlos más eficientemente. Y en este caso proporciona las técnicas para su implementación.

Esta aplicación de automatización informática provee una forma dinámica y ágil en la ejecución de los procesos, los cuales crean y mejoran los horarios de la Institución, incluyendo la asignación de las aulas, de una manera rápida y efectiva, con la mejor opción para que el personal pueda administrarse. Consecuentemente se permite automatizar todas las actividades realizadas manualmente satisfaciendo las necesidades del personal.

La práctica de solucionar este tipo de problema resulta un reto a la hora de automatizar el proceso de creación de horarios, la calidad en los resultados y su tiempo de resolución, con esta última la mejora de sus resultados, obedeciendo a las necesidades específicas que la Facultad demanda.

Con este pensamiento presente, se puede decir que la magnitud de los datos de entrada depende de esta Institución, por esta razón es poco probable que dos universidades tengan las mismas necesidades a la hora de buscar una solución a la asignación de horarios por carrera.

Por otro lado, se debe evaluar desde varios puntos de vista; pues, el sistema tiene como objetivo realizar una asignación a materias para los alumnos de un año de carrera, con los recursos disponibles (aulas, docentes, etc.); todo ello, respetando las reglas que se plantean como restricciones Básicas (obligatorias) por ser condición necesaria, de esta manera, se impide cualquier conflicto en la asignación de tiempos tanto con los docentes, los estudiantes y las aulas, asimismo, se contemplan las limitaciones sobre los recursos con que se cuenta, además, se le da las prioridades necesarias sobre la distribución jerárquica de órdenes; considerando que se pueden optimizar los calendarios en la medida que aplicamos las restricciones no Básicas: Adicionales y de Preferencias, de las cuales, las primeras atienden los requerimientos generales y de reglamento de dicha Facultad, mientras que, las otras a cuestiones individuales.

## 7.2. Forma Manual

En la UTN FRCU, la tarea de construir el calendario está bajo la responsabilidad de dos personas que, con conocimiento y potenciales de memoria, determinan en forma manual una asignación horaria, coordinada por el director de carrera.

Hoy en día, el horario se copia de año en año, si se necesita hacer alguna modificación, se mira la disponibilidad del equipo docente y sus asignaciones actuales, se realiza tal modificación con aquella banda horaria a la cual se desea establecer; previamente, se dialoga con el departamento, este hace lo propio con el equipo docente y, llegado el caso, se efectúa el cambio. Si no es posible, se busca cursos posibles cuyos docentes sean aptos, generalmente, son aquellos que tienen dedicación exclusiva en la UTN FRCU. Este tedioso proceso iterativo artesanal se convierte en un problema de tiempo, personal y costos, no se considera humanamente posible pensar todas las alternativas; por otro lado, depender exclusivamente de estas dos personas, no es adecuado.

En el Capítulo 1, Descripción de Problema, más precisamente en la sección Sistema Actual se enmarca el problema y en el final del Anexo II, se encuentra el horario suministrado por el personal administrativo de la Secretaría Académica de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay, correspondiente al primer cuatrimestre del año 2019, para las cuatro carreras de grados con sus determinados años.

## 7.3. Forma Automática

El propósito de este trabajo de investigación es resolver el problema mencionado, programando una aplicación de escritorio denominada Gestión de Horarios y Aulas; para la cual, se utilizó una herramienta de desarrollo de Power Builder que es orientada a objetos y permite programar diferentes tipos de aplicaciones con componentes para ejecutar arquitecturas cliente/servidor, donde el servidor de base de datos que se implementó es Postgres.

La elección de las herramientas están fundamentadas, primeramente, en que el Siu\_guaraní, que es el software de cabecera de esta Institución e incluso de la UTN, y está desarrollado en Power Builder, aunque la base de datos es Informix, existen aplicaciones en esta Regional que están en Postgres, motivo por el cual, la tesista manifiesta acceso a la misma; en esta dirección, se plantea como objetivo asegurar el éxito de este proyecto innovador respetando las condiciones y políticas de la Regional.

Se propone una programación de los horarios de las cuatro carreras de grado ofrecidas por la UTN FRCU, que alcancen resultados de buena calidad y con bajos tiempos computacionales, menores a los métodos manuales. Desde una aplicación que sea amigable para el usuario, funcional y que admite incorporar mejoras.

Dicha aplicación fue diseñada mediante un modelo basado en restricciones, de las cuales solo las Básicas obedecen obligatoriamente a ser cumplidas, a partir de ellas se

consigue un Horario factible; los otros dos tipos de restricciones: Adicionales y de Preferencias (no Básicas) contribuyen a la calidad de los calendarios. La interfaz es sencilla, donde se implementan los tres algoritmos presentados en la Propuesta Algorítmica (Capítulo 4, 5 y 6 respectivamente), dichos algoritmos conforman un método compuesto cohesivamente vinculado, como fue mencionado en el Capítulo precedente, el primer método BIA es el encargado de crear el horario de clases para esta Regional, el mismo es proporcionado al BLB que mediante los vecindarios definidos por este, realiza movimientos simples OP que involucran algunos intervalos de tiempo y ciertos eventos propios de este problema, produciendo mejoras en sus resultados; el mínimo de los resultados es recibido por VNS, quien se vale de los cambios sistemáticos en sus vecindarios para explorar la búsqueda y conseguir el valor más pequeño de la Función Objetivo de todos los vecindarios, consecuentemente se determina el horario por carrera del primer cuatrimestre en el turno  $t_s$ =tarde/noche para esta Institución cuya calidad es aceptable en tiempo computacional muy razonable.

### 7.3.1. Aplicación

Las interfaces permiten a los usuarios operar implícitamente con las restricciones planteadas, las cuales se ven reflejadas en los resultados. Las asignaciones deben involucrar los eventos que fueron definidos en el Capítulo 3, dichos eventos abarcan los cursos que incluyen la inserción de los docentes, de los estudiantes y de las aulas, en un determinado período de tiempo.

El conjunto de recursos destinados a esta programación comprende: un número limitado de cursos igual a doscientos dos (202) correspondiente a las cuatro carreras de grado, y ciento uno (101) por cuatrimestre; los intervalos de tiempo se determinan por los cinco (5) días de la semana con ocho (8) horas cada uno; una cantidad fija de cuarenta y tres (43) de aulas en las que se pueden realizar los cursos - incluye tanto salones de clases como los laboratorios de los departamentos -. Tales recursos deben satisfacer las restricciones Básicas planteadas que no deben ser violadas en ninguna circunstancia y atender en la mayor medida las Adicionales y las de Preferencia, ya que cuanto más se cumplen, más se gana en optimalidad del resultado.

El modo de trabajar en la aplicación, se detalla a medida que se construye la solución. A continuación, se muestra la Pantalla Principal del problema (Figura 31):

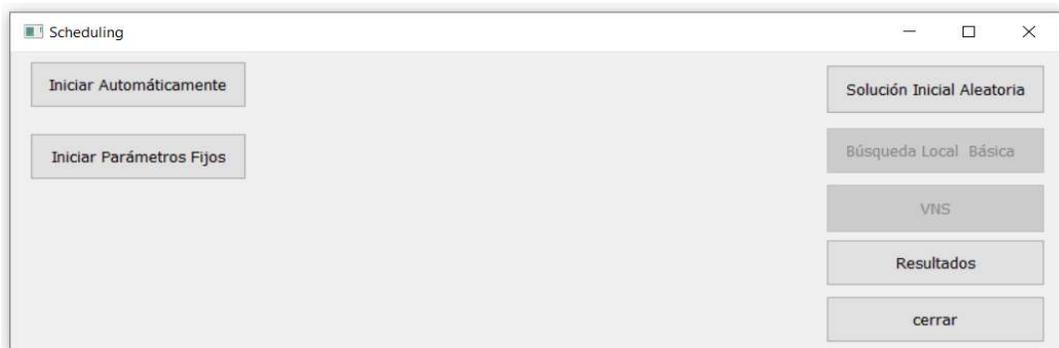


Figura 31: Pantalla principal de la aplicación.

La Figura 31 refleja la Pantalla que inicia la aplicación, la cual cuenta con dos botones en la parte izquierda, los cuales son:

- Iniciar Automáticamente (AUTO), cuya función es inicializar para luego generar una instancia del sistema. Cuando el usuario activa este botón, la aplicación prepara el horario para ser asignado.
- Iniciar Parámetros Fijos (MANUAL), el usuario activa este botón para introducir algunos datos predeterminados; a partir del cual se abre otra Pantalla se permite ingresar eventos determinados, asignando los días y periodos de tiempo, la materia de una carrera, (ver Figura 32, a modo de ejemplo se busca Econom). Su función es inicializar para luego generar una instancia del sistema. Cabe mencionar que cuando se elige esta opción, aquellas materias asignadas como parámetro no pueden ser modificadas en ningún proceso (BLB, VNS), la validación se hace en forma automática sin que el usuario pueda decidir.

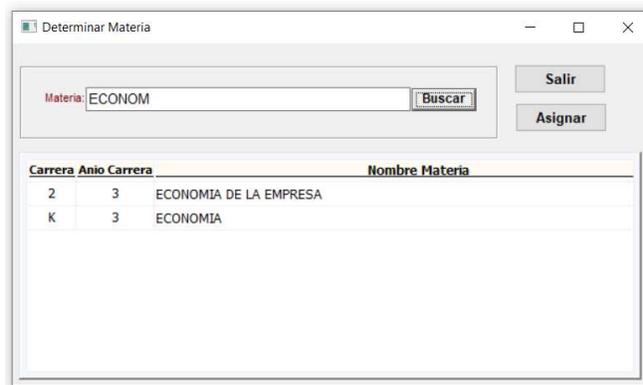


Figura 32: Pantalla que permite al usuario ingresar materias como parámetros de entrada.

En la Figura 32, la Pantalla permite buscar un nombre determinado de Materia, al ingresar ciertos caracteres, el botón Buscar, devuelve la lista de materias que coinciden con la búsqueda realizada. Se debe seleccionar una opción con un clic y oprimir el botón asignar que lleva a la Figura 33, que se muestra a continuación.

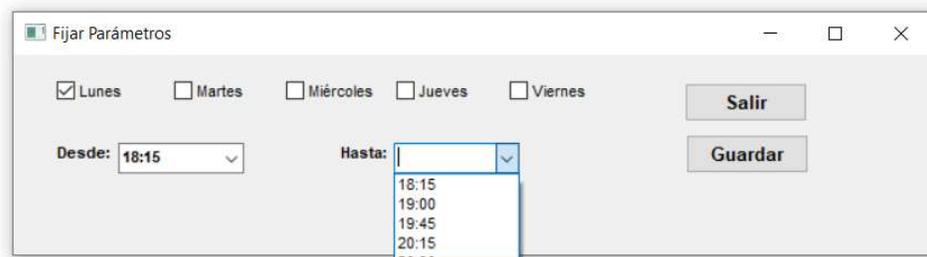


Figura 33: Pantalla que permite al usuario ingresar día y horas como parámetro de entrada.

Aquí se opera seleccionando un día y dos tiempos, uno de Inicio y el otro de fin. Se controla la disponibilidad del curso, de los docentes; en caso de ser necesario, se guarda,

siempre que las horas semanales de la materia se ajusten al parámetro fijado, en caso de no poder ajustarse, se emite el siguiente mensaje de advertencia, (en Figura 34), el cual confirma y permite asignar otro día, o bien se cancela la operación. En el caso de confirmar, se repite el proceso de la Figura 33. En lugar de salir y no guardar, se cancela la operación.



Figura 34: Pantalla de cuadro de diálogo con el usuario.

Seguidamente, después de pasar por cualquiera de los dos botones izquierdos descritos anteriormente según la Figura 31, se debe hacer clic en el botón Solución Inicial Aleatoria que se encuentra en el extremo superior derecho de la Pantalla Principal (Figura 31), dicha ejecución crea el Horario de las cuatro carreras con sus respectivos años de duración de UTN FRCU, según lo expuesto en el Capítulo 4.

Una vez obtenida la Solución Inicial, se habilita el botón Búsqueda Local Básica, quedando deshabilitados los botones Iniciar Automáticamente, Iniciar Parámetros Fijos, Solución Inicial Aleatoria y VNS, como se muestra en la Figura 35.

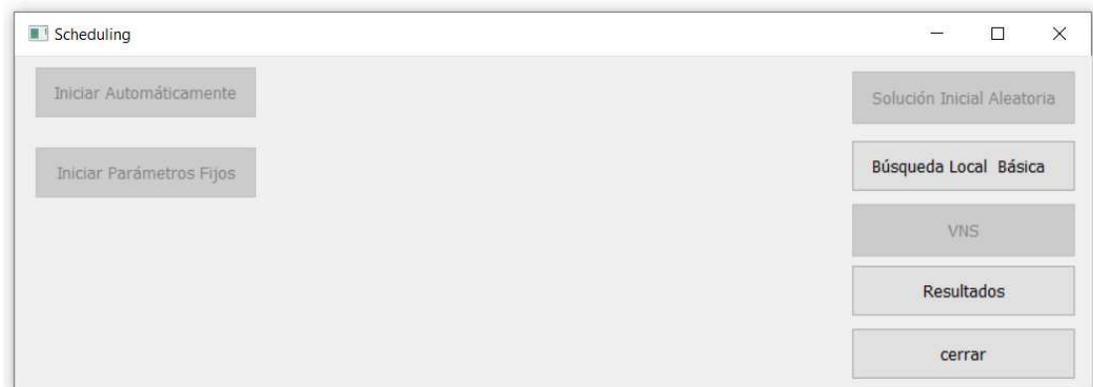


Figura 35: Pantalla para ejecutar la BLB, a partir de la Solución Inicial Aleatoria.

Se ejecuta el botón Búsqueda Local Básica de acuerdo a lo explicado en el Capítulo 5, que implícitamente implementa el algoritmo de la Búsqueda Local Básica para lograr mejorar la solución factible alcanzada.

Una vez conseguido el horario mejorado por la Búsqueda Local Básica, la aplicación inhabilita el botón Búsqueda Local Básica y habilita VNS, se puede ver en la Figura 36.

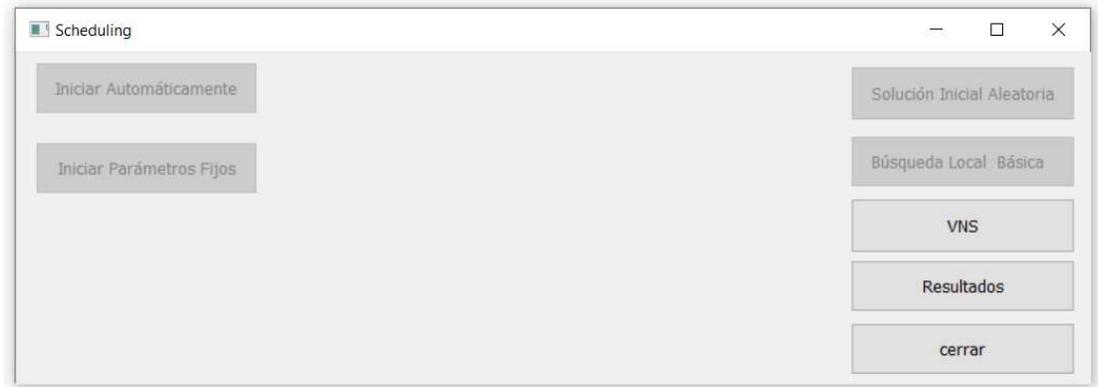


Figura 36: Pantalla para ejecutar VNS, a partir de la Solución obtenida por BLB.

Se ejecuta el botón VNS, que implementa el algoritmo de la Búsqueda por Vecindarios Variables de acuerdo a lo detallado en el Capítulo 6, cuyo objetivo es mejorar la solución alcanzada BLB buscando calidad en los resultados.

La aplicación permite guardar a interés del usuario la mejor solución a través del siguiente cuadro de diálogo (Figura 37). Se debe dar respuesta por sí o por no, en caso afirmativo se guarda el resultado, por el contrario, se pierde el resultado alcanzado quedando la solución inicial.



Figura 37: Pantalla cuadro de diálogo con el usuario.

Desde la pantalla principal (Figura 31), se puede ir al botón de Resultado, a partir del cual se despliega la siguiente pantalla, referenciada en la Figura 38:



Figura 38: Pantalla que permite al usuario seleccionar el reporte a generar.

- Resultado por Curso, la misión es mostrar en forma de reporte el calendario de cada una de las cuatro carreras de grado, para un determinado cuatrimestre por año. (Puede

observarse, respectivamente, en las Figuras 8, 9, 10, 11 del Capítulo 4; 16, 17, 18, 19, correspondiente al Capítulo 5; 26, 27, 28, 29 perteneciente al Capítulo 6).

- Resultado por Aula, su objetivo es desplegar un reporte por aula en cada uno de los días de la semana. (Tablas N° 4, 5, 6, Capítulo 4, 5, 6 respectivamente).
- Resultado por Docente, tiene como fin reportar por docente el horario a cumplir en la semana (Figura 39).

**Reporte por Docente**

	Lunes:	Martes:	Miércoles:	Jueves:	Viernes:
9235	18:15 - 21:15 Comisión: (37555 - 0 Año de la carrera: 5)		19:45 - 22:15 Comisión: (37489 - 0 Año de la carrera: 1)	19:45 - 21:15 Comisión: (37511 - 8 Año de la carrera: 1)	
D2369613	17:30 - 24:00 Comisión: (37492 - 0 Año de la carrera: 4)		22:30 - 24:00 Comisión: (37510 - 0 Año de la carrera: 1)		17:30 - 19:00 Comisión: (37510 - 0 Año de la carrera: 1)
D28959321		19:00 - 24:00 Comisión: (37485 - 8 Año de la carrera: 4)			
D29794595		19:45 - 22:15 Comisión: (37544 - 8 Año de la carrera: 5)			
D30166745	17:30 - 18:15 Comisión: (37494 - 0 Año de la carrera: 2)		21:30 - 24:00 Comisión: (37494 - 0 Año de la carrera: 2)		
			19:00 - 21:30 Comisión: (37530 - 0 Año de la carrera: 3)		
D31015961		17:30 - 22:15 Comisión: (37452 - 8 Año de la carrera: 3)		20:45 - 24:00 Comisión: (37425 - 8 Año de la carrera: 3)	
D34077491		21:30 - 24:00 Comisión: (37561 - 0 Año de la carrera: 4)			17:30 - 23:15 Comisión: (37561 - 0 Año de la carrera: 4)
D36273821	20:45 - 24:00 Comisión: (37431 - 8 Año de la carrera: 3)			17:30 - 20:30 Comisión: (37431 - 8 Año de la carrera: 3)	
D36318434		17:30 - 21:30 Comisión: (37486 - 2 Año de la carrera: 3)			
D37563835		19:00 - 24:00 Comisión: (37483 - 2 Año de la carrera: 2)			
D40183371				17:30 - 18:45 Comisión: (37467 - 8 Año de la carrera: 1)	

Figura 39: Pantalla que reporta el Resultado por Docente.

Finalmente, a partir de la aplicación de Gestión de Horarios y Aulas propuesta se pueden realizar mejoras presentando flexibilidad en la misma, una vez obtenido el resultado descripto, aparece la opción de un botón “Modificar Resultado”, como se muestra en la Figura 40. Esta opción converge en la Figura 41, donde se ve la funcionalidad de interactuar con el usuario según preferencia, si se va a producir un cambio en Aulas o en Cursos.

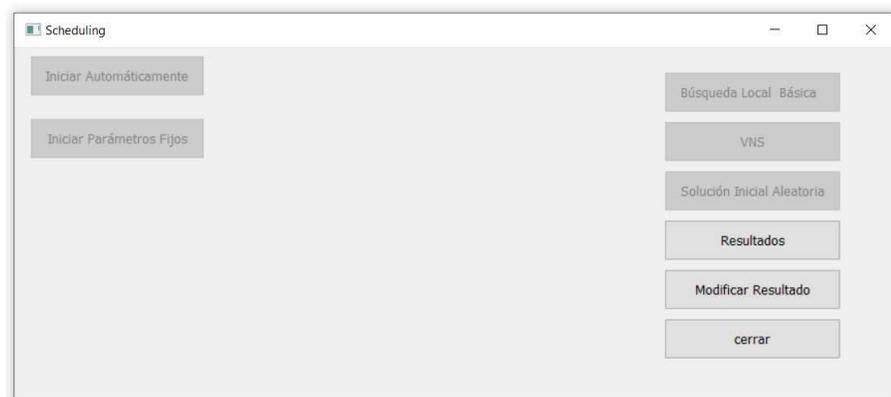


Figura 40: Pantalla para obtener resultados, modificarla o cerrarla.

Una vez seleccionado el botón “Modificar Resultado” se permite el acceso a la pantalla que se muestra en la Figura 41 con la forma:

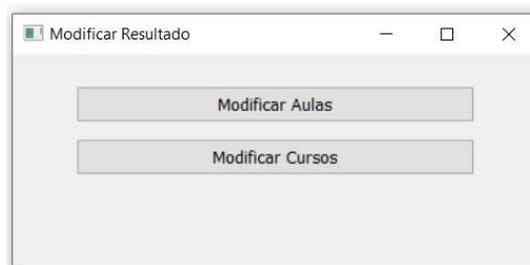


Figura 41: Pantalla que permite al usuario modificar el resultado, ya sea un curso o un aula.

Si se accede a Modificar Aulas, se abre otra ventana que tiene la función de permitir cambiar un aula previamente asignada por la aplicación a otra aula seleccionada por el usuario, que puede estar desocupada o bien ocupada, Figura 42. La forma de Operar en esta ventana, responde al ingreso que da el usuario del día, hora inicial y final (Desde Hasta); se debe oprimir el botón "Consultar Aulas", luego, se despliegan dos listas de aulas: a la izquierda de la pantalla se muestran las aulas que fueron asignadas para ese día y horas, mientras que, a la derecha, aquellas disponibles. El usuario deberá ubicar el aula que desea cambiar con un clic. Una vez fijado el aula a cambiar en la lista que aparece y se hace clic en el botón que le corresponde dicha lista, es decir, si se visualiza en la lista de Aulas Ocupadas, se debe hacer clic en Botón "Asignar Aulas Ocupadas", de lo contrario si se ubica en la lista Aulas Disponibles, se opera con el Botón "Asignar Aulas Disponibles" de poder hacerse el cambio. Esta ventana se ve en la Figura 42.

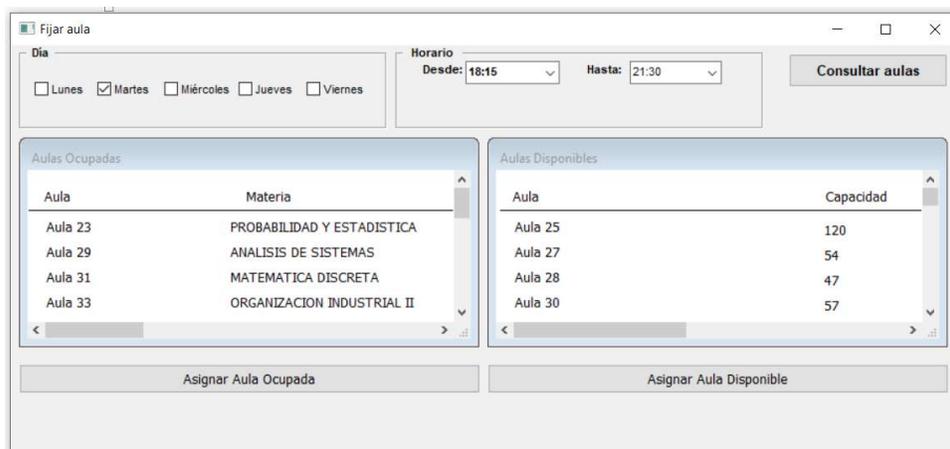


Figura 42: Pantalla para modificar las aulas.

Ambos botones dan acceso a la siguiente ventana, que tiene por objetivo cumplir con la operación (Figura 43). La manera de aplicarse consiste en seleccionar la siguiente aula a intercambiar, si viene de la ventana anterior oprimiendo el botón "Asignar Aula Ocupada", de lo contrario, por "Asignar Aula Disponible" se selecciona el aula a liberar.

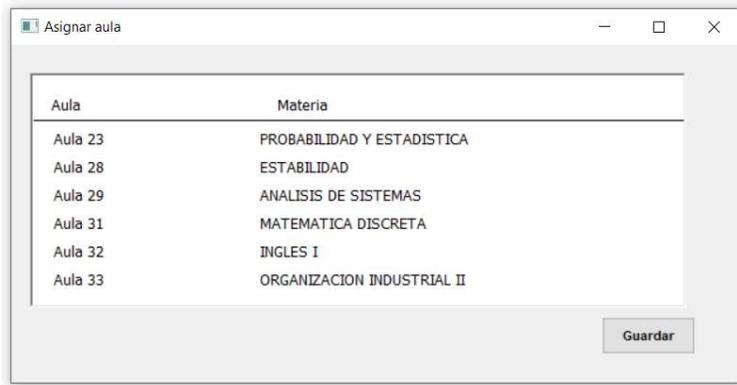


Figura 43: Pantalla despliega aulas disponibles.

Para utilizar la Pantalla de la Figura 43, se debe seleccionar el aula e ir al botón Guardar. Aquí se libera el aula seleccionada y se fija el aula elegida en la anterior pantalla (Figura 42), si es que viene del botón “Asignar Aula Disponible”, mientras que si se eligió el botón “Asignar Aula Ocupada” puede ser que el aula elegida en esta pantalla no se pueda intercambiar, ya sea por la capacidad o por el horario, entonces la aplicación dará el siguiente mensaje (Figura 44), el cual permite seleccionar una nueva aula a intercambiar.



Figura 44: Pantalla de diálogo con el usuario.

Si la respuesta del usuario es NO el cambio no se puede realizar, en caso contrario debe seleccionar una nueva aula en la misma Pantalla que se muestra en la Figura 42.

De esta manera, se puede modificar Aulas en el resultado arribado por la aplicación.

Ahora para modificar un curso, se debe acceder por el clic del botón Modificar Cursos dentro de la Pantalla que referencia la Figura 41, entonces, se abre otra ventana que tiene la función de permitir cambiar un curso previamente asignado por la aplicación. Se puede cambiar dos días de la semana, dos horas cátedra para una determinada carrera, en un determinado año, dos materias seleccionadas por el usuario, como se muestra en la siguiente pantalla se ve en la Figura 45.

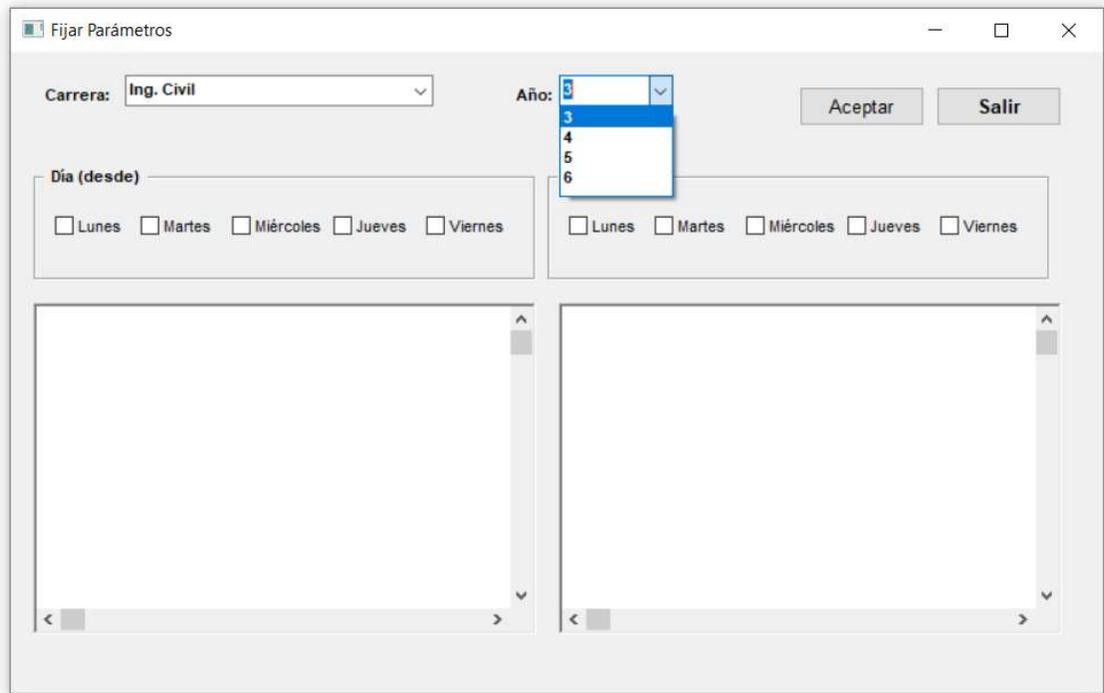


Figura 45: Pantalla para modificar cursos.

La manera de interactuar del usuario es mediante la selección de una carrera, una vez determinada esta, se habilita el combo de años para fijarlo; es un modo restrictivo por el solo hecho de que cada carrera presenta una duración específica; luego se determina el día Origen y el día Destino a introducir el cambio, se da clic en “Aceptar” y se muestran las materias candidatas a permutar, como se puede ver en la próxima pantalla se la puede visualizar en la Figura 46.

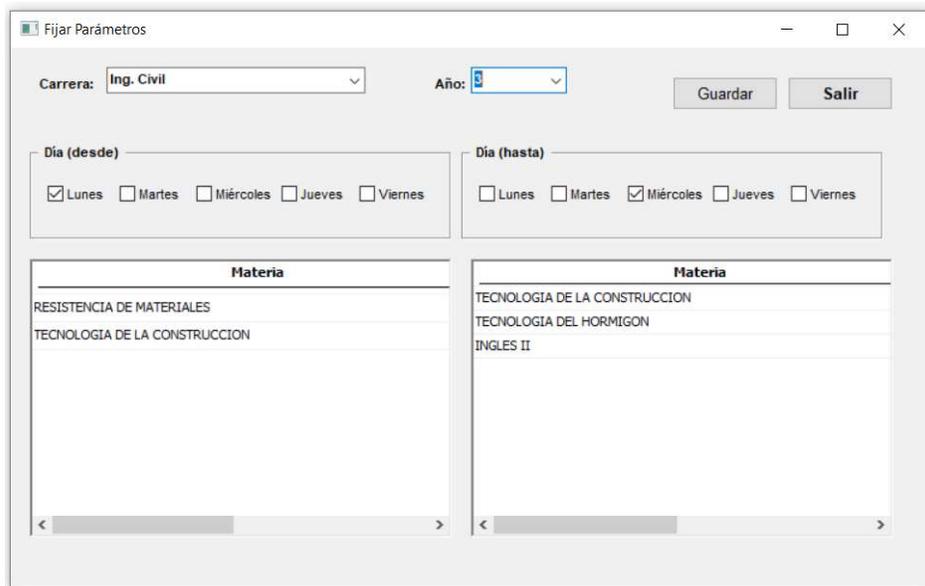
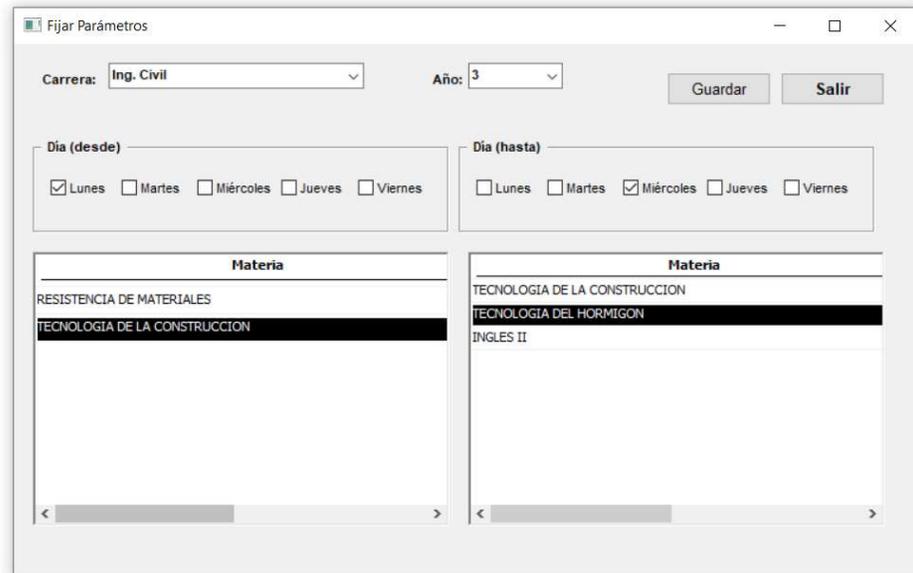


Figura 46: Pantalla que muestra los datos según parámetros ingresados.

En esta forma (Figura 46), a modo de ejemplo, la selección es la carrera “Ingeniería Civil”, el Tercer (3º) año de la carrera, el día origen lunes y el día destino miércoles, se dio “Aceptar” y desplegó las materias. A partir de aquí, se debe elegir la materia origen y la materia destino como se puede ver a continuación Figura 47:



The screenshot shows a window titled "Fijar Parámetros" with the following elements:

- Carrera:** A dropdown menu set to "Ing. Civil".
- Año:** A dropdown menu set to "3".
- Buttons:** "Guardar" and "Salir" buttons.
- Día (desde):** Radio buttons for "Lunes" (checked), "Martes", "Miércoles", "Jueves", and "Viernes".
- Día (hasta):** Radio buttons for "Lunes", "Martes", "Miércoles" (checked), "Jueves", and "Viernes".
- Materia (Left):** A list box containing "RESISTENCIA DE MATERIALES" and "TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION" (highlighted).
- Materia (Right):** A list box containing "TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION", "TECNOLOGIA DEL HORMIGON" (highlighted), and "INGLES II".

Figura 47: Pantalla para seleccionar cursos a intercambiar.

Una vez determinadas las materias a permutar, se debe hacer clic en el botón “Guardar” que fue habilitado para hacer esta operación, en este caso, el curso: Tecnología de la Construcción será ensamblado el día miércoles y Tecnología del Hormigón pasará al día lunes. Se despliega la siguiente pantalla según la Figura 48, que propone los posibles horarios a intercambiar. El usuario debe optar por un horario fijo o por la opción Otro.



The screenshot shows a window titled "Horarios" with the following elements:

- Option 1:** A radio button next to "Miércoles: 19:00 - 22:15".
- Option 2:** A radio button next to "Otro".
- Button:** "Aceptar" button.

Figura 48: Pantalla para modificar las horas de un curso.

En esta elección (Figura 48), ambas materias presentan la misma cantidad de horas coincidentemente, por ello tiene una opción a mover a miércoles de 19:00 a 22:15 hs. Luego, con “Aceptar” valida la disponibilidad de los docentes tanto origen como destino y si no es parámetro fijo inicial, entonces se produce el cambio. Se destaca que, si es parámetro fijo inicial,

el usuario tiene la decisión de poder cambiar a pesar de ello, mediante el siguiente mensaje (Figura 49):

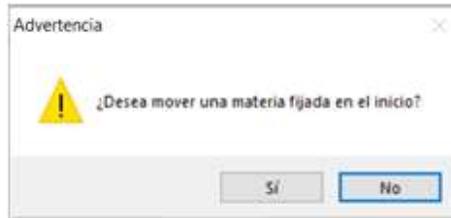


Figura 49: Pantalla de diálogo con el usuario.

En tanto que, si se elige Otro, automáticamente se despliega la siguiente pantalla que se muestra en la Figura 50, de esta forma:



Figura 50: Pantalla para modificar las horas de un curso, con opción Otro.

A partir de esta pantalla (Figura 50), el usuario selecciona la opción Otro, consecuentemente debe ingresar cantidad de horas, y oprimir el botón Ok; luego, se muestran las opciones de hora que se pueden intercambiar. Es importante destacar que la aplicación deduce las horas a partir de las horas de inicio y horas de fin. Por otro lado, la cantidad de horas son validadas con respecto a las horas seleccionadas en las materias. Al Aceptar con el botón, se comprueba la disponibilidad de horarios de los docentes y se confirma la reciprocidad.

El criterio a considerar en los horarios es intuitivo, se calcula mediante la longitud de espacios de tiempo contiguos (cantidad de horas - hora fin menos hora inicio-), se va ajustando de acuerdo posibles respuestas del usuario para no provocar violaciones en sus escalas y no se produzcan “sándwiches” en alguna materia. Por ello se toma como referente un extremo.

## 7.4. Conclusión

La planificación de horarios en el ámbito académico de la UTN FRCU es una herramienta indispensable; representa una actividad administrativa importante donde la responsabilidad de construir el calendario está condicionada por las instalaciones físicas y los recursos ofrecidos por esta Institución. Su programación se presentó como un desafío a la hora de automatizar el proceso.

Como se mencionó, el modelo actual es manual, tanto para la generación de los horarios como la asignación de las aulas, desde aquí se recolectó la información para obtener las soluciones focalizadas en las necesidades de esta Regional. Se debió equilibrar puntos de vista encontrados entre administrativos y los departamentos, ya que los administradores buscaban una asignación de recursos más efectiva y eficiente, mientras que los directores de departamento presentaban distintos objetivos, más aún, se tenía que respetar la reglamentación de la propia Institución.

Tras un período de desarrollo que implicó múltiples variaciones, se arribó a una aplicación que cumple con los requisitos de confiabilidad, validez y objetividad.

La aplicación desarrollada denominada Gestión de Horarios y Aulas es una herramienta tecnológica creada a medida, considerando las políticas de esta Facultad; presenta gran flexibilidad ante cambios y control efectivo de las actividades de planificación. Asimismo, ayuda a incrementar la efectividad en tales asignaciones, tanto de cursos como de las aulas, otorgando la disponibilidad de mayor y mejor información para los usuarios en tiempo real. Permite disminuir tiempo y recursos superfluos. Proporciona el importante beneficio de comparar los resultados alcanzados con los objetivos programados, con los fines de evaluación y control.

Al mismo tiempo, ofrece la potencialidad de acceder a una solución factible para modificar intencionalmente, ya sea aulas asignadas o disponibles de acuerdo con la conveniencia del usuario; se puede cambiar un curso tanto en días de la semana como en las horas cátedras. Esto brinda una gran ventaja debido a que se pueden adecuar ciertos datos con un criterio particular, lo que impacta directamente en hacer cumplir las restricciones de Preferencias, las cuales implican la calidad de las soluciones.

Con este nuevo modelo tecnológico se descentraliza la responsabilidad de unas pocas personas, y se asegura una mejora en la calidad del trabajo del usuario, reduciendo los tiempos hombre mediante procedimientos integrales y escalables. Por otro lado, la interfaz es amigable (sencilla), de fácil uso entregando respuesta inmediata.

Como se había expresado en este documento, los datos son reales suministrados por la Secretaría de TIC' s, los cuales permitieron realizar pruebas sólidas y cotejar sus resultados con los planes de estudio de las carreras y con los horarios adquiridos por las administrativas. La aplicación se desarrolló específicamente para satisfacer los requisitos de esta Regional y se utilizó como herramienta para la instancia de análisis y visualización de los datos, lo que garantiza su funcionalidad, quedando disponible para el personal, siempre que así lo requieran, ya que está pensado para solucionar, facilitar y optimizar de forma muy simple toda la problemática del calendario académico en general. Permite mejorar o ampliar funcionalidades ante cualquier descontento o dificultad que aparezca; a su vez, se trata de un costo mínimo, el soporte técnico directo.

El propósito de este trabajo se cumplió por medio de la aplicación, la cual proporcionó soluciones con bajos tiempos computacionales; se resolvió el proceso de encontrar una solución al problema del horario realizado manualmente. Se obtuvieron soluciones aceptables lo que indica que solo hace falta ejecutar el programa para confeccionar el calendario de UTN

FRCU, a su vez, las personas que necesitan consultar el efecto de diferentes acciones por ejemplo reasignación, intercambio de los profesores y/o de las aulas entre los lugares del horario, etc. según sus criterios lo pueden hacer antes de tomar una decisión. Los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios.

# Capítulo 8

## Conclusiones del Informe

En esta sección se presentan las conclusiones de esta tesis y se proponen los futuros trabajos como corolario de dicha investigación y brindando, además, una discusión de los resultados de los principales experimentos llevados a cabo.

### 8.1. Conclusiones Finales

La línea de esta investigación se ha caracterizado, por resolver el problema de planificación de los horarios y de las aulas de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional, el cual es una clase específica del problema de Job Shop Scheduling, ambos pertenecen a un área ampliamente estudiada para la comunidad científica; se la incluye dentro de la constante de investigación en torno al concepto de “University Course Timetabling” que presenta cada vez mayor interés debido a su dificultad y al valor agregado que su automatización puede generar, ya que no se conoce el algoritmo que pueda resolver dicho problema, en una cantidad razonable de tiempo - polinomial -. Atienden a la idea de planificar un conjunto de recursos, como son los cursos, los profesores, los estudiantes y las aulas en los diferentes días de la semana a un cierto número de espacios de tiempo. Para ello, es fundamental una correcta programación en la asignación de los mismos, y a su vez, es indispensable conocerlos de antemano.

La metodología que guio el trabajo es el enfoque cuantitativo exploratorio, para una investigación aplicada, de tipo descriptivo. En cuanto al modelo matemático se posibilita gracias a la revisión de la literatura acerca del concepto de “University Course Timetabling” por Naderi B. [53], el cual expresa todas las características del problema modeladas en restricciones; este modelo, se presenta como un agregado para la definición formal y no ambigua del problema - no como función para trasladarlo de manera directa a la implementación de las metaheurísticas -. La atención se puso en la recopilación y estudio de la bibliografía seleccionada sobre esta temática para concebir un diseño a medida. Dejando como producto final, una aplicación denominada Gestión de Horarios y Aulas, que permitió resolver este problema complejo en tiempos computacionales razonables, y satisfaciendo niveles de calidad deseados, mediante el uso de tres algoritmos de aproximación conformando un método compuesto, diseñado e implementado para tal fin, donde dos de ellos, son metaheurísticas clasificadas como “basadas en trayectoria” que por su gran flexibilidad pueden ser fácilmente adaptables para este modelo; y el otro método, fue diseñado para crear un horario preliminar en forma aleatoria. Asimismo, se realizó la etapa de análisis y evaluación, la cual permitió perfeccionar los resultados y ejecutar de manera más eficiente los algoritmos.

Al momento de modelar el problema, se categorizaron las restricciones como: Básicas, Adicionales y de Preferencia, las cuales permitieron eliminar aquellos eventos que nunca formarían parte de un calendario de UTN FRCU o que no conducían a ningún horario factible. Así también, se definió la Función Objetivo que proyectó minimizar las violaciones de las restricciones planteadas como no Básicas, para lograr una estandarización de los requerimientos, ya que es quién determina, por medio de un indicador numérico, la calidad u optimalidad de las soluciones.

Para su resolución, se diseñaron tres algoritmos que conforman un método compuesto integrado por: el de Búsqueda Inicial Aleatoria, el de Búsqueda Local Básica y el de Búsqueda por Vecindario Variables respectivamente. Su implementación se hizo, como ya se expresó, desde una programación restrictiva (CSP), que da cuenta de las relaciones que deben cumplirse, y que por medio de procedimientos novedosos se ajustaron perfectamente al modelo, definiendo una búsqueda robusta en la región factible; aunque estas contribuyen a la complejidad del problema, obedecer a ellas en su totalidad, hizo ganar en la calidad de la solución. Asimismo, dichos algoritmos fueron considerados como “adecuados” para este problema, cuya calidad es aceptable y el tiempo computacional muy razonable, a pesar de que se va incrementando por ser un método compuesto.

Su desarrollo se concretó a través de la recolección de los datos y de la información relevada por medio de las encuestas dirigidas a cada director de departamento y al personal no docente de la Secretaría Académica, quienes dieron a conocer la reglamentación que rige, asimismo, suministraron los horarios vigentes de las carreras de grado y la forma de asignar las aulas. Por otro lado, hizo lo suyo, la secretaría de TICs que proporcionó el conjunto de datos reales para efectuar las pruebas y cotejar sus resultados con los planes de estudio de las carreras y con dichos horarios otorgados.

El diseño de estos algoritmos cumple con programar la lista de eventos semanales, del número de carreras de grado, que es oferta académica de esta Facultad Regional, con sus conjuntos de materias, de docentes y de estudiantes, dispuestas adecuadamente en las aulas, lo cual implícitamente se piensa en el Timetabling de la Universidad al reconocer la definición expresada por Wren A. [75].

Se completó la etapa de desarrollo del software para satisfacer las necesidades de esta Institución, con una aplicación que se empleó como herramienta para la instancia de análisis y visualización de los datos, la cual garantiza su funcionalidad ya que a través de ella, se evaluó el desempeño de los tres algoritmos citados anteriormente.

La interfaz gráfica es amigable (sencilla) y su diseño es simple, admite interactuar con el usuario, ingresando datos de entrada, y mostrando las soluciones reportadas en diferentes formatos. Esto converge en una aplicación completamente práctica, de fácil uso y que entrega respuesta inmediata. Además, proporciona un sinnúmero de beneficios para la Institución, tales como: la agilización de las actividades que se llevan a cabo por el personal que genera los horarios; la optimización del uso de recursos, una mejor organización en la asignación de las aulas y una adecuada administración de los tiempos con respecto a los años de carrera. Sobre todo esto, la oportunidad de tener información del personal docente y del alumnado de la Facultad en forma instantánea, además, asegura guardar la información de los horarios en un

servidor de base de datos. Su impronta es solucionar, facilitar y optimizar de forma muy simple toda la problemática del calendario académico de la Regional, la misma incluye los siguientes procesos:

- Automatización de los procesos de selección, planificación de los horarios y asignación de las aulas.
- Optimización del horario automatizado por período académico.
- Generación de reportes que servirán para la toma de decisiones.
- Agilización de tareas administrativas.

Asimismo, ofrece la potencialidad de acceder a un calendario para modificar intencionalmente ciertos eventos entre sí o parte de ellos, tal como: cambiar de un curso los días de la semana, en las horas iniciales y/o finales, también, las aulas asignadas o disponibles según el criterio del usuario. Consecuentemente, le da flexibilidad en la mejora de sus resultados. Además, descentraliza la responsabilidad de unas pocas personas, y reduce las horas hombre mediante esos procesos que se integran como parte de la lógica de esta aplicación.

Para completar este apartado se dan algunos detalles de los algoritmos referenciados anteriormente que son parte integral de dicha aplicación.

El algoritmo de Búsqueda Inicial Aleatoria obtuvo instancias de resultados al azar que satisfacen las restricciones Básicas y definieron una región factible garantizando la obtención de soluciones viables. Utilizó la aleatoriedad para reducir los errores, para acotar el tiempo de ejecución y para una apropiada administración de los recursos involucrados. Su único fin es crear un calendario preliminar para esta Facultad, el cual es la base inicial que da operabilidad al método heurístico BLB.

La Búsqueda Local es la metaheurística que sigue un procedimiento simple pero muy efectivo; su principal objetivo es optimizar el mejor horario recibido de BIA, mediante la inspección de vecindarios que ataca el desperdicio de espacios y de tiempos obsoletos dentro del mismo horario, su ejecución alcanzó determinadas metas institucionales tales como balancear el Timetabling de los cursos tanto en el día como en la semana; respetar los recreos, considerando satisfacer las restricciones no Básicas. Para justificar el uso de este método, se buscó en la literatura propuesta la que se relaciona directamente con el tema y el uso de Búsqueda Local rescatando así, la investigación de Faillace Mullen N. [28], que resolvió el problema planteado utilizando una Búsqueda Local mediante una función de penalidad (lineal); consiguiendo resultados que dejan tiempos computacionales razonablemente aceptables y permiten prioridades que son establecidas por los directivos. Lo cual indica una misma dirección en los comportamientos. También, es importante destacar que si bien, el algoritmo obtiene soluciones muy rápidamente produce un estancamiento en el primer mínimo local encontrado lo cual dificulta determinar si existen soluciones mejores. Ante esta realidad se pensó implementar el método VNS para escapar de dichos óptimos locales, por tal motivo BLB entrega el mejor horario al siguiente método: VNS.

El objetivo principal de la estrategia de Búsqueda por Vecindarios Variables es optimizar el horario recibido de BLB, para evitar, de alguna manera, los mínimos locales y moverse a otras regiones prometedoras del espacio de búsqueda evaluando mejores resultados. Este

algoritmo mostró buen rendimiento en lo que respecta a la calidad de las soluciones y a los recursos empleados. Sus Timetables atienden a determinados deseos individuales de los docentes y de los departamentos; asimismo, consiguen algunas metas generales de la propia institución, procurando cierto grado de confianza al encontrar horarios automatizados de alta calidad en tiempo polinómico. Esta metaheurística se mostró sencilla y su principal característica es el cambio sistemático en el vecindario, el cual tuvo una buena performance, en particular, en el vecindario  $N_4$ . De la bibliografía consultada, Abdullah S. [2] plantea la planificación de horarios, en la cual utiliza tres métodos de aproximación tales como: la Búsqueda de Vecindario a gran escala, los algoritmos teóricos de gráficos implementados en un Gráfico de mejora y por un método de Hibridación que incorpora el enfoque de Vecindario a gran escala con Búsqueda Tabú; informando los resultados computacionales que demuestra que la Búsqueda de Vecindarios arroja soluciones de mejor calidad y el tiempo de cálculo requerido es más alto (usa instancias estándares de referencia universitaria). Esta literatura da fundamento a los resultados obtenidos para esta investigación.

De esta manera, se pudo comprobar que el problema de Job Shop Scheduling definido por Even S. et al. [26] como un sistema complejo en el que se deben considerar varios temas a la vez, es clasificado como problema NP-Completo. Dicha categorización es heredada por el Timetabling de la Universidad -por ser una clase particular del JSS- del cual Garey M. y Johnson D. [31] establecen que lleva una complejidad inherente tanto en la formulación del modelo como en su resolución (desarrollo); a pesar del tamaño y la dificultad para optimizar los resultados, logró soluciones automatizadas de alta calidad en tiempo polinómico, de acuerdo a la evaluación de la Función Objetivo, la cual indica una adecuada implementación debido a que disminuye su valor en convergencias, sumamente rápidas.

Las pruebas experimentales llevadas a cabo por la propuesta algorítmica, permitieron mostrar tras treinta ejecuciones, cómo se desempeña cada método, la calidad de la solución y la construcción de cada horario que involucra a la aleatoriedad cuando administra los recursos en tiempos de ejecución. En la primera técnica BIA se efectuaron con diferentes secuencias aleatorias y distintas configuraciones iniciales para darle a la solución variabilidad, los horarios entregados son calificados como satisfactorio. Mientras que las otras dos, generaron sus treinta instancias con la misma solución inicial - ejecución homóloga - su calidad es aceptable devolviendo horarios de buena calidad en ambos métodos. Esta evolución de los resultados es esperable, por la propiedad de las metaheurísticas basadas en trayectoria, la cual se enuncia como: la solución final depende fuertemente de la solución inicial (Glover F. y Kochenberger G. [32]).

La hipótesis es aceptada y se lograron los objetivos planteados, debido a que alcanzó calendarios automatizados para esta Facultad, la metaheurística seleccionada encontró soluciones finales con una buena calidad. Asimismo, garantiza que el método compuesto ha distribuido en forma correcta los recursos involucrados en el problema de Timetabling de la Universidad. Este trabajo proporciona un aporte valioso dentro de la administración académica, permitiendo sustituir la realización de una ardua labor que actualmente se realiza en forma manual por un sistema automático que resuelve el problema en menos de una hora, lo cual su tiempo de respuestas es admisibles, y teniendo en cuenta que el algoritmo necesita pocos recursos computacionales, lo hace ideal para esta Institución. De igual modo, este sistema complejo converge en un horario que es aplicable en la práctica, demostrando correctitud en la asignación de los eventos que responden a ciertas aspiraciones que se ganan por el principio

de optimalidad y aumentando la consistencia de la planificación de los horarios y asignación de las aulas por contemplar las características propias de la esta Regional, pues, la aplicación desarrollada contribuye significativamente en la optimización de la selección y planificación de calendarios. Dejando la implementación para UTN FRCU y para la comunidad científica y productiva interesada en el área de estudio.

La experiencia lograda durante esta tesis y la evaluación de las propuestas que surgieron durante su desarrollo son tanto teóricas como empíricas. En cuanto a la factibilidad, se hace notar, la disponibilidad de la literatura en la temática, lo que permitió llevar adelante varias pruebas experimentales que ponen en valor los algoritmos propuestos.

## 8.2. Trabajos Futuros

El problema de asignación de horarios o también conocido como problema de Timetabling en la Universidad - aplicado a cualquier institución de educación superior - es un reto arduo de enfrentar, debido a la gran cantidad de variables y restricciones existentes; sin embargo, esto no es motivo para evitar su estudio.

Las líneas futuras tienen que ir por las mejoras necesarias para resolver eficientemente este tipo de problemas complejos que lleven esta forma. Quizás, sería interesante abordar su resolución con otra técnica de la metaheurística o realizar combinación de métodos (hibridación). Otra opción sería con este mismo enfoque de búsqueda de vecindarios agrandar el número de vecindarios, de esta manera mejorar la diversificación e intensificación respectivamente.

Ampliar este estudio para entregar resultados más precisos. Junto con esto, y, adicionalmente, se propone para un posible trabajo futuro, una revisión de la literatura que involucran las metaheurísticas y los métodos estocásticos de búsqueda. Dichos métodos deben servir para encontrar la mejor solución posible, ya que se hace necesario contar con herramientas adicionales, cuando la complejidad del problema aumenta.

Se pueden incluir restricciones que consideren el grado de satisfacción de los alumnos con los horarios generados, en cuanto a variables como las distancias entre las aulas para los eventos consecutivos en los que participen, así también restricciones que determinen la prioridad de los docentes, sin tener que ingresarlas manualmente.

El modelo matemático propuesto se vale para evitar ambigüedades y no tiene como función el traslado al desarrollo de esta tesis; quizás podría ser opción viable valerse de este en cada avance y analizando cómo impacta el modelo en la medida en que se cumplen las restricciones y afectan a la FO.

Igualmente, se propone la inspección y optimización del ajuste de parámetros actuales, posiblemente, utilizando un conjunto de instancias estándares de referencia universitaria para las pruebas y una herramienta de ajuste de parámetros estandarizada. Teniendo siempre presente que, en el ambiente de las ciencias de la computación, cuando se hace referencia al

término optimización se lo asocia a la concreción de un objetivo utilizando la menor cantidad de recursos disponibles, o en una visión similar, la obtención del mejor objetivo posible utilizando todos los recursos con lo que se cuenta.

# Bibliografía

- [1] Aarts E. y Lenstra J. (1996) *Local Search in Combinatorial Optimization*. Wiley.
- [2] Abdullah S. (2006) Tesis doctoral: Heuristic approaches for university timetabling problems. Disertación: University of Nottingham de Malasia.
- [3] Abramson D. (1991). Constructing School Timetables Using Simulated Annealing: Sequential and Parallel Algorithms. *Manag. Sci.* 37, Pág. 98–113.
- [4] Adamuthe A. y Bichkar R. (2012) Tabu search for solving personnel scheduling problem. En *Communication, Information Computing Technology (ICCICT)*.
- [5] Álvarez Valdes R., Crespo E. y Tamarit J. (2002) Design and implementation of a course scheduling system using Tabu Search. *Eur. J. Oper. Res.* 137, Pág.512–523.
- [6] Antúnez M. (2015) Tesis de la carrera de grado de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Nacional del Centro de la Prov. de Bs. As.: Sistema para optimizar asignación de aulas UNICEN.
- [7] Avella P., D’Auria B., Salerno S., y Vasil’ev I. (2007) A computational study of local search algorithms for Italian high-school timetabling. *J. Heuristics Res.* 13, Pág. 543–556.
- [8] Bai R., Burke E., Kendall G., Li J. y Mc- Collum B. (2010) A Hybrid Evolutionary Approach to the Nurse Rostering Problem. En *Evolutionary Computation*, IEEE Transactions on 14 N° 4, Pág. 580.
- [9] Barnhart C. (2009) *Airline Schedule Optimization*: John Wiley & Sons, Ltd. The Global Airline Industry. Pág. 183-211.
- [10] Bayes T. (1763) An Essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances. *Philosophical Transactions* 53:370-418.
- [11] Beligiannis G., Moschopoulos C., Kaperonis G. y Likothanassis S. (2008) Applying evolutionary computation to the school timetabling problem: The Greek case. *Comput. Res.* 35, Pág. 1265–1280.
- [12] Bellman R. (1957) *Dynamic Programming* Band 33 der Reihe Princeton Landmarks in Mathematics and Physics  
<https://pubsonline.informs.org/doi/pdf/10.1287/opre.50.1.48.17791>.

- [13] Bernoulli J. (1697) Acta eruditorum: anno ... publicata. Publicada: Lipsiae: prostant apud Joh. Grossium y J. F. Gleditschium: 1682-1731. <https://catalog.hathitrust.org/Record/009334721>.
- [14] Blaz Aristo S. (2016) Un sistema de generación de horarios para la enseñanza de pregrado en universidades peruanas mediante algoritmos genéticos. Tesis de Título de Ingeniero de Sistemas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Lima - Perú.
- [15] Blazewicz J., Ecker E. Pesch G. Schmidt y J. Weglarz (2007) Handbook on Scheduling from Theory to applications. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Pág. 647.
- [16] Burke E., Kendall G., Mısır M. y Özcan E. (2004) Applications to timetabling. En Handbook of Graph Theory, Capítulo 5.6.
- [17] Cabezas Garcia J. (2009) Diseño e implementación de una heurística para resolver el problema de calendarización de horarios para universidades. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- [18] Carter M. y Laporte G. (1996) Recent developments in practical examination timetabling. Practice and Theory of Automated Timetabling, Vol.1153 ISBN: 978-3-540-61794-5.
- [19] Cobo Vargas D. y Osorio Arcila J. (2020) Propuesta de Programación de Horarios y Asignación de Salones de Clase en una Institución de Educación Superior. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Zarzal Colombia.
- [20] Corne D., Ross P., y Hsiao-Lan F. (1995) Evolving Timetables. In Practical Handbook of Genetic algorithms: Applications, Vol. 1, Pág. 219-276.
- [21] Cruz Chávez M. y Díaz Parra O. (2009) Un Mecanismo de Vecindad con Búsqueda Local y Algoritmo Genético para el Problema de Transporte con Ventanas de Tiempo. CIICAp, Universidad Autónoma del estado de Morelos, México. Vol. 1. No 1. ISSN: 2007-3283.
- [22] Dantzig G. (1963) Linear Programming and Extensions, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J. ISBN-13: 978-0691059136.
- [23] Dean W. (2016) Computational Complexity Theory. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- [24] Dhar V. y Ranganathan N. (1990) Integer Programming versus Expert Systems: An Experimental Comparison. Communications Pág.323–336.
- [25] De Leone R., Festa P. y Marchitto E. A Bus Driver Scheduling Problem: a new mathematical model and a GRASP approximate solution. J Heuristics **17**, 441–466 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10732-010-9141-3>

- [26] Euler L., Daudet R., Delamonce F. y Pierre J. (1744) Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes, sive, Solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti, publicado Apud Marcum-Michaelem Bousquet & Socios, Genevæ.
- [27] Even S., Itai A. y Shamir A. (1975) On the complexity of time table and multi-commodity flow problems. En 16<sup>th</sup> annual symposium on foundations of computer science Pág. 184-193 IEEE.
- [28] Faillace Mullen N. (2018) Tesis de grado: Implementación de una heurística para la programación automática de horarios de una escuela secundaria. Universidad De Buenos Aires Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Dpto. de Matemática.
- [29] Fermat P. (1894) Œuvres de Fermat, Vol. 2, Éd. Paul Tannery Maison d'édition Gauthier-Villars. Paris.
- [30] Friedman J. (1997). Job Shop Scheduling. Technical Report, Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, Seattle, <http://www.salford.ac.uk/planning>.
- [31] Garey M. y Johnson D. (1979) Computadoras e intratabilidad: una guía para la teoría de NP-Completeness. WH Freeman, Nueva York. NP-completitud débil [https://es.qaz.wiki/wiki/Weak\\_NP-completeness](https://es.qaz.wiki/wiki/Weak_NP-completeness).
- [32] Glover F. y Kochenberger G. (2003) Handbook of Metaheuristics. Academic Publishers.
- [33] Gombauld de Mere A. (1654) Oeuvres Posthumes Editorial: Nabu Press ISBN-10: 1271671050, ISBN-13: 978-1271671052 Francia.
- [34] González Fernández M. (2011) Tesis Doctoral: Soluciones Metaheurísticas al Job Shop Scheduling. Problem with Sequence-Dependent Setup Times. Universidad de Oviedo – España, Tesis 2011-084. <http://hdl.handle.net/10651/12911>
- [35] Gülcü A., (2020) Problemas de asignación de horarios de clases robustos de cursos universitarios sujeto a interrupciones únicas y múltiples. European Journal of Operational Research.
- [36] Hansen P. y Mladenovic N. (1999) An Introduction to Variable Neighborhood Search. En Voss S., et al., editors, Metaheuristics, Advances and trends in Local Search Paradigms for Optimization, Pág. 433-458.
- [37] Hernández R., Miranda J., y Rey P. (2008). Programación de Horarios de Clases y Asignación de Salas para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Diego Portales - Chile - mediante un Enfoque de Programación Entera. Revista Ingeniería de Sistemas, Vol. 12, <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103046>.
- [38] Hernández Sampieri R., Collado Fernández C. y Baptista L, (2013) Metodología de la Investigación. McGraw-Hill Interamericana. México, D. F., Pág. 312-371.

- [39] Hoos H. y Stützle T. (2004) Stochastic Local Search: Foundations & Applications, Morgan Kaufmann.
- [40] Jackson J. (1955). Scheduling a production line to minimize maximum tardiness. California Univ Los Angeles numerical analysis research.
- [41] Joyanes Aguilar L. y Zahonero Martínez I. (2004) Algoritmos y estructuras de datos. Una perspectiva en C, McGraw-Hill Interamericana, Madrid, Pág. 33.
- [42] Kantoróvich L. (1939) Métodos matemáticos para la organización y la producción, editado por la Universidad de Lenengrado, V. S. Nemchinov.
- [43] Karmarkar N. (1983) A new polynomial time algorithm for linear programming based on projective transformations of polytopes. Stanford Talk, - Proceedings of the 16<sup>th</sup> Annual ACM Symposium on Theory of Computing.
- [44] Lagrange J. (1797) Théorie des fonctions analytiques, Publ. de l'imprimerie de la Republique. Paris.
- [45] Laplace P. (1814) Essai Philosophique Sur Les Probabilités -French Edition- 978-0-270-54894-5.
- [46] Lehmer D. (1954) Random number generation on the BRL high-speed computing machines, by M. L. Juncosa. Math. Rev. 15.
- [47] Lü Z. y Hao J. (2010) Adaptive Tabu Search for course timetabling. Eur. J. Oper. 200, Pág. 235–244.
- [48] Mejía Caballero M. y Paternina Arboleda C. (2010) Asignación de Horarios de Clases Universitarias mediante Algoritmos Evolutivos Facultades de Ingeniería, Colombia ISSN 1900-8260 N° 9 Pág. 140-149.
- [49] Melián B., Moreno Pérez J. y Moreno Vega M. (2003) Metaheurísticas: una visión global, Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. N° 19 Pág. 7-28.
- [50] Mitzenmacher M. y Upfal E. (2017) Probability and computing: randomization and probabilistic techniques in algorithms and data analysis - Cambridge University Press ISBN: 9781107154889.
- [51] Mladenovic N. (1995) Variable Neighborhood Algorithm: A New Metaheuristic for Combinatorial Optimization. Abstracts of papers presented at Optimization Days, Pág. 112.
- [52] Moreno P. y Sánchez J. (2017) Revisión de algoritmos de búsqueda aplicadas al problema de creación de calendarios de exámenes.
- [53] Naderi B. (2016) Modeling and Scheduling University Course Timetabling Problems. Department of Industrial Engineering. Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran.

- [54] Papadimitriou C. y Steiglitz K, (1998) Combinatorial optimization. Algorithms and complexity, Dover Publications, Nueva York, Pág. 351.
- [55] Pascal B. (1665) Traite du triangle arithmetique, avec quelques autres petits traitez sur la mesme matiere. Par monsieur Pascal, édition Guil. Desprez Universidad de Lausanne.
- [56] Pérez Brito D. y Moreno Pérez J. (2005) Búsqueda por entornos variables: desarrollo y aplicaciones en localización. Universidad de La Laguna España.
- [57] Pillay N. (2014) A survey of school timetabling research. Ann. Oper. 218, Pág. 261–293.
- [58] Pirlot M. (1996) General local search methods. European Journal of Operational Research, 92(3), 493-511.
- [59] Pontryagin L. (1987) Mathematical Theory of Optimal Processes, 1º Edition ISBN 9782881240775.
- [60] Qaurooni D. y Akbarzadeh-T M. (2013) Course timetabling using evolutionary operators. Appl. Soft Comput. 13, Pág. 2504–2514.
- [61] RAND Corp (1947) Washington Home Center for Palliative Care Studies. United States California Santa Monica, ISN 0000 0004 0370 7685. <https://isni.org/isni/0000000403707685>.
- [62] Rossi Doria O., Blum C., Knowles J., Sampels M., Socha K., y Paechter B. (2002) A local search for the timetabling problem. Conference: Practice and Theory of Automated Timetabling IV, 4<sup>th</sup> International Conference, PATAT 2002, Gent, Belgium, August 21-23, 2002, Selected Revised Papers.
- [63] Rotenberg A. (1960) A new pseudo-random number generator. Journal of the Association of Computing Machinery.
- [64] Russell S. y Norvig P., (2003), Artificial Intelligence: A Modern Approach. ISBN 0-13-080302-2 Pág. 26.
- [65] Sabar N., Ayob M., Kendall G., y Qu R. (2012) A honey-bee mating optimization algorithm for educational timetabling problems. Eur. J. Oper. Res. 216 Pág.533–543.
- [66] Santamaría Arana L. y Rabasa Dolado A., (2004) Metodología de programación. Principios y aplicaciones, ECU, San Vicente, Pág. 8.
- [67] Schaerf A., (1999) A Survey of Automated Timetabling. Artificial Intelligence Review 13, 87–127 (1999). <https://doi.org/10.1023/A:1006576209967>.
- [68] Schönberger J., Mattfeld D. y Kopfer H. (2004) Memetic Algorithm timetabling for non-commercial sport leagues. En European Journal of Operational Research 153 N° 1, Pág. 102 -116.

- [69] Song T., Liu S., Tang X., Peng X., Chen M. (2018) An iterated local search algorithm for the University Course Timetabling Problem. *Applied Soft Computing*, Vol. 68, Pág. 597-608.
- [70] Sutherland I. (1963) Tesis doctoral: Sketchpad A Man-Machine Graphical Communications System, dirigida por Claude E. Shannon.
- [71] Thomson W. (1958) A Modified Congruence Method of Generating Pseudo-random Numbers, *The Computer Journal*, Vol. 1, Issue 2 <https://doi.org/10.1093/comjnl/1.2.83>.
- [72] Valouxis C. y Housos E. (2003). Constraint programming approach for school timetabling. *Comput. Oper. Res.* 30, Pág.1555–1572.
- [73] Von Neumann J. y Morgenstern O. (1944) *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton Univ. Press, Princeton, N.J.
- [74] Werra D. (1995) An introduction to timetabling. En *European Journal of Oper Research* 19 N° 2, Pág.151-162.
- [75] Wren A., (1996) Scheduling, Timetabling and Rostering-A special Relationship, En Burke, E. and Ross, P. *Practice and Theory of Automated Timetabling*, Springer-Verlag LNCS 1153, Pág.46-75.
- [76] Wright M. (1996) School Timetabling Using Heuristic Search. *J. Oper. Res.* Pág. 47, 347.
- [77] Zelada Cabezudo H. (2019) Algoritmo Genético para la Elaboración del horario de Exámenes en Universidades.
- [78] Zhang D., Liu Y., M'Hallah R., y Leung S. (2010) A simulated annealing with a new neighborhood structure based algorithm for high school timetabling problems. *European Journal of Operational Research*, Pág.550–558.
- [79] Zhipeng L. y Jin Kao H. (2022) Solving the Course Timetabling Problem with a Hybrid Heuristic Algorithm. LERIA, Université d'Angers, 2 Boulevard Lavoisier, 49045 Angers Cedex 01, France. Y School of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074, China.

# Anexos

# Anexo I

## Entrevistas

### Secretaría académica: responsable Cecilia Dutria (no docente)

1. ¿Cómo se realiza actualmente el calendario?  
Básicamente el calendario lo heredé así, ya que viene de año a año realizado.
2. ¿Por qué depto. se comienza?  
Se inicia con Básica porque son las asignaturas comunes a todas las carreras, además existen varias comisiones por materia por el volumen de alumnos que cursante y por ser troncal común a las carreras.
3. ¿Tiene una forma de asignación?  
La mejor manera es hablar con el equipo docente para conocer la disponibilidad, que de ello se encarga cada departamento y este es quien nos da o no el OK.
4. ¿Lleva alguna regla la manera de hacerlo (lleva una lógica)?  
Solo se mira el calendario actual y se estudia alternativas, se hace manual y con la cabeza bien descansada.
5. ¿Los profesores tienen alguna prioridad?
6. Si tienen prioridad los docentes concursados, los cuales al momento de concursar tienen una banda horaria especificada, que se debe respetar, en caso de no ser concursado se los puede asignar en cualquier día que se encuentre disponible, entonces se va armando por descarte.
7. ¿Cómo cree Ud., qué sería un calendario óptimo?  
Sin superposición de horarios para los alumnos de primero y segundo año especialmente en Básicas, ya que como te comenté anteriormente muchos cursante
8. ¿Está pensado para el alumno o para el docente?  
Totalmente para el alumno.
9. ¿Cómo se hace una modificación?  
Siempre se dialoga, por medio del departamento.

## Departamento de Básicas: Directora Ing. Adriana Poco (Docente)

1. ¿Cómo se realiza actualmente el calendario?  
Cuando se inicia un cuatrimestre se envía el calendario del año anterior que fue cumplido y se le pide a los docentes que den su aprobación, anteriormente a esta aprobación el equipo docente se reúne.
2. Tiene una forma de asignación  
Sí, la asignación como se cita anteriormente, se hace mirando y comparando a ojo todo. Se analiza cada caso, se comienza por docente por año
3. ¿Los profesores tienen alguna prioridad?  
Sí claro, la preferencia es el docente concursado en la secuencia de categoría Titular, Asociado, Adjunto, JTP y Auxiliares. Luego del docente que viaja para dar clases y también aquellos que están en varias materias en especial en diferentes departamentos como Aguiar.
4. ¿Cómo cree Ud., qué sería un calendario óptimo?
5. Bueno, cumplir de forma adecuada con cada año, donde no existen espacios grandes sin asignación. Cada asignatura tiene dos o más comisiones, una siempre debe cumplir con la banda horaria registrada en la ordenanza de 2017.
6. Otra cosa, podría ser que no estén en forma consecutiva los horarios de Álgebra con Análisis matemático y que sea en diferentes días no consecutivos cada asignatura, pero tampoco que tengamos por Ejemplo Lunes y viernes.
7. ¿Está pensado para el alumno o para el docente?  
Bueno, desde el alumno lo miramos como año de cursado, y desde docente, cumpliendo con sus mínimos deseos.
8. ¿Cómo se hace una modificación?  
Es muy complejo. Se analiza cada caso y el primero que se afecta es al docente que tiene dedicación exclusiva previo diálogo de posibles cambios. Como mi departamento es Básica y es pilar en todas las carreras debo fijarme también en los horarios de los departamentos. Mirar quienes están a cargo y dialogar su disponibilidad.

## Departamento de Civil: Director Ing. Raúl Martín (Docente)

1. ¿Cómo se realiza actualmente el calendario?  
El horario lo hace la Académica ya que se repite de año en año, solo grandes excepciones de docentes que piden cambio se los da.
2. Tiene una forma de asignación  
Se hace una reunión con el equipo docente aquí en el departamento y se pauta como definirán la carga horaria, si hay divisiones en sus horas o todo corrido, a partir de allí se fijan en primero y segundo año las básicas y se asigna las demás asignaturas idénticamente al año anterior, o en el caso de haber definido con el equipo docente lo pactado.
3. ¿Los profesores tienen alguna prioridad?  
Sí, los profesores que vienen de afuera tienen prioridad. Los cuales se deben amoldar al de Básica. Luego se piensa en aquellos que trabajan en otras ciudades y entonces sí los otros docentes.
4. ¿Cómo cree Ud., qué sería un calendario óptimo?  
Considero que el horario actual es óptimo porque no hay superposición de horarios, los alumnos tienen todas las materias que el plan amerita.
5. ¿Está pensado para el alumno o para el docente?  
Se intenta, mirar en la disponibilidad del docente para reflejar al alumno la mejor cursada.
6. ¿Cómo se hace una modificación?  
En el momento de la modificación, generalmente viene de Académica, pero los primeros afectados son quienes tienen una dedicación exclusiva. Luego quienes se sabe que viven y trabajan en la ciudad y luego el resto.

## Departamento de Sistemas de Información: Directora Ing. Patricia Cristaldo (Docente)

1. ¿Cómo se realiza actualmente el calendario?  
El horario lo se repite del año anterior el inicial vino de académica, docentes que piden cambio se los debe evaluar debido a que se torna imposible modificarlos en especial tercer año por la gran carga horaria de las materias.
2. Tiene una forma de asignación  
Como se especificó viene de académica el horario del año anterior, existen nuevas asignaciones cuando hay docentes que se jubilan y su equipo tiene disponibilidades de horarios, entonces se procede a las asignaciones sino queda igual
3. ¿Los profesores tienen alguna prioridad?  
Sí, la principal prioridad la tienen los docentes concursados, luego, los vienen de afuera que generalmente le damos un día para cubrir todas las horas.
4. ¿Cómo cree Ud., qué sería un calendario óptimo?  
Bueno, la idea de óptimo es muy alta, me conformo con no superposición de horarios, que exista un horario balanceado en todos los días y no por ejemplo libre un día y otra mucha carga horaria.
5. ¿Está pensado para el alumno o para el docente?  
Es para el estudiante, respetando la disponibilidad del docente.
6. ¿Cómo se hace una modificación?  
Se contacta al equipo docente que desea hacer el cambio, se pauta los posibles horarios que podrían cumplir, se hace un análisis de esos posibles horarios, se habla con el equipo docente del posible cambio sí están de acuerdo ¡Listo!, de lo contrario se va a la otra alternativa y se procede igual.

## **Departamento de Licenciatura en Organización Industrial: Directora Lic. María José Jairala (Docente)**

1. ¿Cómo se realiza actualmente el calendario?  
Básicamente está realizado desde académica, solamente el departamento se adecua o intenta realizar cambios cuando Académica no puede.
2. Tiene una forma de asignación  
La asignación se hace desde aquel horario de académica. La última modificación que se hizo fue a partir de la ordenanza que cambió la franja horaria, que debimos adecuar docentes y estudiantes.
3. ¿Los profesores tienen alguna prioridad?  
La prioridad se la damos a los concursados, y con eso incluyo al equipo docente, sería muy bueno tener una lista de preferencias de la disponibilidad de los docentes.
4. ¿Cómo cree Ud., qué sería un calendario óptimo?  
La verdad Óptimo es no tener por nivel grandes espacio de horarios sin clases, y que esté balanceado en los días, donde preferentemente el viernes debe ser muy relajado.
5. ¿Está pensado para el alumno o para el docente?  
Está pensado para aquellos alumnos que van en la carrera al día, de manera que la consecutividad está dada y la no superposición también.
6. ¿Cómo se hace una modificación?  
¡Qué gran tarea!. Inicialmente cuando se plantea un cambio se analiza todas las alternativas de cambios con los demás equipos docentes , cuando se tiene todas las posibilidades se los convoca a todos los equipos docentes a una reunión en el departamento y se coordina la forma de hacer el cambio. Una vez dada la solución se hace y se informa a académica

## **Departamento de Electromecánica: Director Ing. Raúl Charadía (Docente)**

1. ¿Cómo se realiza actualmente el calendario?

El horario viene de Académica confeccionado, desde el departamento se envía a los equipos docentes el posible horario, si existe disconformidad en algún caso se replantea, haciendo foco solamente aquellos equipos docentes que estén implicados, generalmente no hay cambios si existen las bajas por jubilación, muerte o renuncia y es entonces que se dispone de horarios hasta reasignar nuevos equipos condicionados a un horario específico.

2. Tiene una forma de asignación  
Como ya te comenté anteriormente...

3. ¿Los profesores tienen alguna prioridad?

Sí, mi prioridad la tienen los docentes que viajan, se les asigna un día y generalmente ese día es un lunes o viernes, así lo prefieren. Tienen prioridad los concursados pero aun así les he propuesto cambiar y han aceptado.

4. ¿Cómo cree Ud., qué sería un calendario óptimo?

Mi óptimo sería que se respete por parte del equipo docente los horarios, tanto inicio como fin de las clases, que los alumnos no tengan superposición, que el viernes esté la integradora: Proyecto, ya que con ella los alumnos que rinden se reciben y habitualmente vienen familiares de otras ciudades en algunos casos y los estudiantes quieren descansar de semejante presión.

5. ¿Está pensado para el alumno o para el docente?

Desde el departamento está dado para que el docente sirva al alumno y que este pueda tener una carrera balanceada en su cursada.

6. ¿Cómo se hace una modificación?

Casi no se hace modificación como ya mencioné algunos pasos, pero la verdad se las dejo a los docentes que están involucrados para que se arreglen y lo resuelvan.

# Anexo II

## Documentación

### II.1. Planes de Estudio por Carrera de Grado. UTN FRCU

#### INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN

MARZO 2015ORD. N° 795 (modificada por Ord.1150 y Res.CD. N°218/2014)

Código Asignat	PARA CURSAR		TENER REGULARIZA	TENER APROB	
	PARA PROMOVER ó RENDIR	H. Sem			TENER APROBADA
<b>PRIMER Año</b>					
<b>1º Cuatrimestre</b>					
K9519	2- SISTEMAS Y ORGANIZACIONES (Integradora)	3			
K9513	3- ALGEBRA Y GEOMETRIA ANALITICA	10			
K951C	4- MATEMÁTICA DISCRETA	6			
K951D	5 - QUIMICA	6			
K951J	6- SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN	6			
<b>2º Cuatrimestre</b>					
K9511	1 - ANÁLISIS MATEMÁTICO I	10			
K9517	7- ALGORITMOS Y ESTRUCTURAS DE DATOS	10			
K9515	8- ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS	8			
K9519	--- SISTEMAS Y ORGANIZACIONES (Integradora)	3			
<b>SEGUNDO Año</b>					
<b>1º Cuatrimestre</b>					
K9521	9 - ANÁLISIS MATEMÁTICO II (Anual)	5	1 - 3	-----	1 - 3
K952B	10 - FÍSICA I	10	-----	-----	-----
K9523	11 - ANÁLISIS DE SISTEMAS (Integradora)	6	2 - 7	-----	2 - 7
K9527	12 - SINTAXIS Y SEMÁNTICA DE LOS LENGUAJES	8	4 - 7	-----	4 - 7
K951A	13- INGLES I	2	-----	-----	-----
<b>2º Cuatrimestre</b>					
K9529	14- PARADIGMAS DE PROGRAMACIÓN	8	4 - 7	-----	4 - 7
K9523	---- ANÁLISIS DE SISTEMAS (Integradora)	6	2 - 7	-----	2 - 7
K952A	15- SISTEMAS OPERATIVOS	8	4 - 7 - 8	-----	4 - 7 - 8
K9521	---- ANALISIS MATEMATICO II (Anual)	5	1 - 3	-----	1 - 3
K951A	---- INGLÉS I	2	-----	-----	-----
<b>TERCER Año</b>					
<b>1º Cuatrimestre</b>					
K951E	16- INGLÉS II	2	-----	13	
K9539	17-DISEÑO DE SISTEMAS (Integradora)	6	11 - 14	2 - 4 - 7	11 - 14
K952D	18- FÍSICA II	10	1 - 10	-----	1 - 10
K9535	19-ECONOMÍA	6	11	2 - 7	11

K9531	20-GESTIÓN DE DATOS	8	11 - 12 -	2 - 4 - 7	11 - 12 - 14
K953E	21- MATEMÁTICA SUPERIOR (Anual)	4	9	1 - 3	9
<b>2º Cuatrimestre</b>					
K9533	22- COMUNICACIONES	8	8 - 9 - 1	1 - 3 - 10	8 - 9 - 18
K9539	--- DISEÑO DE SISTEMAS (Integradora)	6	11 - 14	2 - 4 - 7	11 - 14
K9525	23- PROBABILIDADES Y ESTADÍSTICAS	6	1 - 3	-----	1 - 3
K951B	24- INGENIERÍA Y SOCIEDAD	4	-----	-----	-----
K953E	--- MATEMÁTICA SUPERIOR (Anual)		9	1 - 3	9
K953H	25- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN (Electiva)	4	-----	2	-----
K951E	---- INGLÉS II	2	-----	13	

**CONDICIÓN ACADÉMICA: Tener Aprobado INGLÉS I para cursar Asignatura Integradora de 4º nivel.**

<b>CUARTO Año</b>					
<b>1º Cuatrimestre</b>					
K9541	26-ADMINISTRACION DE RECURSOS (Integradora)	6	15 - 17 - 19	8 - 11 - 13 -	15 - 17 - 19
K9543	27- INVESTIGACIÓN OPERATIVA (Anual)	5	21 - 23	9	21 - 23
K9545	28- LEGISLACIÓN	4	11 - 24	2 - 7	11 - 24
K9547	29- SIMULACIÓN	8	21 - 23	9	21 - 23
K9537	30- REDES DE INFORMACIÓN	8	15 - 22	4 - 7 - 8 - 9	15 - 22
<b>2º Cuatrimestre</b>					
K9541	----ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS (Integradora)	6	15 - 17 - 19	8 - 11 - 13 -	15 - 17 - 19
K954C	31- INGENIERÍA DE SOFTWARE	6	17 - 20 - 23	11 - 12 - 1	17 - 20 - 23
K954A	32- TEORÍA DE CONTROL	6	5 - 21	9 - 18	5 - 21
K954B	33- SISTEMAS DISTRIBUIDOS (Electiva)	8	30	-----	30
K9543	--- INVESTIGACIÓN OPERATIVA (Anual)	5	21 - 23	9	21 - 23

**CONDICIÓN ACADÉMICA: Tener Aprobado INGLÉS II para cursar asignatura Integradora del 5º nivel.**

<b>QUINTO Año</b>					
<b>1º Cuatrimestre</b>					
K9551	34- PROYECTO FINAL (Integradora)	6	26 - 28 - 30 - 31	6 - 15 - 16 - 17 - 19 - 23 - 24	TODAS
K9552	35- SISTEMA DE GESTIÓN	8	26 - 27 - 29	15 - 17 - 19 - 21	26 - 27 - 29
K955H	37- RELACIONES HUMANAS (Electiva)	5	26	-----	26
K955M	38- Tecnologías para la Explotación de Datos (Electiva)	6	26 -27- 31	29	26 -27- 31
K955J	41- SEGURIDAD EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN (Electiva)	5	30	20	30
K955Q	45- CONSOLIDACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORME Y LAS COMUNICAS. (Electiva)	6	30	15	30
K955F	<b>- PRÁCTICA SUPERVISADA</b>	<b>200</b>	26 - 28 - 30 - 31	6 - 15 - 16 - 17 - 19 - 23 - 24	6 - 15 - 16 - 17 - 19 - 22 23 - 24
<b>2º Cuatrimestre</b>					
K9551	--- PROYECTO FINAL (Integradora)	6	26 - 28 - 30 - 31	6 - 15 - 16 - 17 - 19 - 23 - 24	TODAS
K955G	36- DESARROLLO DE APLICACIONES CLIENTESERV (Electiva)	5	30	20	30
K9555	39- ADMINISTRACION GERENCIAL	6	26 - 27	15 - 17 - 19 - 21	26 - 27
K9557	40- INTELIGENCIA ARTIFICIAL	6	27 - 29	17 - 21 - 23	27 - 29
K955K	42- GESTIÓN AVANZADA DE DATOS (Electiva)	6	30	20	30
K955L	43- AUDITORIA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN (Electiva)	6	26 - 31	-----	26 - 31
K955N	44- EMPRENDEDORISMO (Electiva)	4	19	-----	19

## INGENIERÍA CIVIL

**AGOSTO 2016**

**ORD. N° 1030 (adecuación  
Diseño Curricular)**

COD. ASI	PARA CURSAR	H. S	TENER REGULARIZ	TENER APROBADA	TENER APROB
	PARA PROMOVER ó RENDIR				TENER APROB
<b>PRIMER Año</b>					
<b>1° Cuatrimestre</b>					
O9511	1- ANÁLISIS MATEMÁTICO I	10			
O951A	2- INGENIERÍA Y SOCIEDAD	4			
O9513	3- ÁLGEBRA Y GEOMETRÍA ANALÍTICA	10			
O951G	4- INGENIERÍA CIVIL I (Integradora)	3			
O951B	5- SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN	3			
<b>2° Cuatrimestre</b>					
O9517	6- QUÍMICA GENERAL	10			
O9515	7- FÍSICA I	10			
O951G	--- INGENIERÍA CIVIL I (Integradora)	3			
O951B	--- SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN	3			
O951H	8- FUNDAMENTOS DE INFORMÁTICA	4			
<b>SEGUNDO Año</b>					
<b>1° Cuatrimestre</b>					
O952A	9 - ESTABILIDAD	10	1 - 3 - 7		1 - 3 - 7
O9525	10 - ANÁLISIS MATEMÁTICO II	10	1-3		1-3
O9523	11 - TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES	4	6 - 7		6 - 7
O9521	12 - INGENIERÍA CIVIL II (Integradora )	3	4 - 7		4 - 5 - 7
O951R	13 - INGLES I	2	-----		-----
<b>2° Cuatrimestre</b>					
O9537	14- GEOLOGÍA APLICADA (electiva)	4	4 - 6 - 7		4 - 6 - 7
O9529	15- FÍSICA II	10	1 - 7		1 - 7
O9527	16- PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA	6	1 - 3		1-3
O9523	----- TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES	4	6 - 7		6 - 7
O9521	----- INGENIERIA CIVIL II (Integradora)	3	4 - 7		4 - 5 - 7
O951R	-----INGLÉS I	2	-----		-----
<b>CONDICIÓN ACADÉMICA:</b> Tener aprobada Sistemas de Representación para cursar las materias del 3° nivel.					
<b>TERCER Año</b>					
<b>1° Cuatrimestre</b>					
O9531	17- HIDRÁULICA GENERAL Y APLICADA	10	9 - 10	1 - 3 - 5 - 7	9 - 10
O953R	18- TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN	4	11 - 16	1 - 3 - 5 - 6 - 7	11 - 16
O9535	19- TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN (Integradora)	6	9 - 11 - 12	1 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7	9 - 11 - 12
O951S	22- INGLES II	2	13	-----	13
O952B	23- RESISTENCIA DE MATERIALES	8	9	1 - 3 - 5 - 7	9
<b>2° Cuatrimestre</b>					
O953T	20- CÁLCULO AVANZADO	4	10	1 - 3 - 5	10
O9547	21- ECONOMÍA	6	12	2 - 5	12
O9539	24- INSTALACIONES ELECTRICAS Y ACUSTICAS	4	11 - 15	1 - 5 - 6 - 7	11 - 15
O953A	25- GEOTOPOGRAFIA	8	10 - 15	1 - 3 - 5 - 7	10 - 15
O9535	-----TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN (Integradora)	6	9 - 11 - 12	1 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7	9 - 11 - 12
O953S	26- INSTALACIONES TERMOMECAÑICAS	4	11 - 15	1 - 5 - 6 - 7	11 - 15

	---INGLÉS II	2	13	-----	13
<b>CONDICIÓN ACADÉMICA: Tener Aprobado para cursarlas asignatura nº 13 para la Integradora del 4º nivel.</b>					
<b>CUARTO Año</b>					
<b>1º Cuatrimestre</b>					
O954G	27- INSTALACIONES SANITARIAS y de GAS	6	11 - 17	6 - 7 - 9 - 10	11 - 17
O953B	28- ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	10	18 - 19 - 23	9 - 11- 12- 16	18 - 19 -23
O954I	29- DISEÑO ARQUITECTÓNICO, PLANEAMIENTO Y URBANISMO(Integradora)	5	19	9 - 11 - 12 - 1	19
O9533	30- ANÁLISIS ESTRUCTURAL I	10	12 - 23	4 - 7 - 9	12 - 23
<b>2º Cuatrimestre</b>					
O954I	---DISEÑO ARQUITECTÓNICO, PLANEAMIENTO Y URBANISMO (Integradora)	5	19	9 - 11- 12 - 13	19
O9541	31- GEOTECNIA	10	17 - 19 - 23	9 - 10 - 11 - 1	17 - 19 - 23
O954H	32- HIDROLOGÍA y OBRAS HIDRÁULICAS	8	17 - 19 - 25	9 - 10 - 11 - 12	17- 19 - 25
O955O	33- INGENIERÍA LEGAL	6	12	2	12
<b>CONDICIÓN ACADÉMICA: Tener Aprobado para cursarlas asignatura nº 13 y 22 para la Integradora del 5º nivel</b>					
<b>QUINTO Año</b>					
<b>1º Cuatrimestre</b>					
O9551	34- ORGANIZACIÓN Y CONDUCCIÓN DE OBRAS	5	21 - 24 - 26 - 27 29	12- 13 - 17 - 19 - 22	21 - 24 - 26 - 27 - 29 33
O955L	35- VÍAS DE COMUNICACIÓN I	8	25	10 - 15	25
O954A	37- ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD (electiva)	6	10 - 20	1- 3 - 9 - 23	10 - 20
O9555	38- PREFABRICACIÓN (electiva)	4	11 - 28	19	11 - 28
O9549	39- CIMENTACIONES	6	28 - 31	17 - 18 -19 - 2	28 - 31
O955Q	48-AMBIENTAL (electiva)	4	-----	21-29-33	-----
O955K	<b>-PRÁCTICA SUPERVISADA- Anual-</b>	<b>200</b>	28 - 29 - 32 - 33	12- 16 - 17 - 19 - 2	28 - 29 - 32 - 3
<b>2º Cuatrimestre</b>					
O9551	----- ORGANIZACIÓN Y CONDUCCIÓN DE OBRAS	5	21 - 24 - 26 - 27 29	12- 13 - 17 - 19 - 22	21 - 24 - 26 - 27 29 - 33
O954B	36- ANALISIS ESTRUCTURAL II	10	28-30	18-19-20-23	28-30
O955M	40 -VIAS DE COMUNICACIÓN II	8	31 – 35	17- 19 - 23 - 2	31 - 35
O955C	42 - ANÁLISIS ESTRUCTURAL III (electiva)	4	37	30	37
O955E	43- DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y DE PLANEAMIENTO II (electiva)	3	29	19	29
O955T	---INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA (electiva)	4	21-33	-----	21-33
O955R	49- GESTIÓN DE LA RESP. SOCIAL EN LAS ORG. (electiva)	4	21 - 33		21 - 33
<b>SEXTO Año</b>					
<b>1º Cuatrimestre</b>					
O955N	41 - PROYECTO FINAL (Integradora)	6	28 - 29 - 32 - 3	12 - 16 - 17 - 19 - 2	TODAS
O9553	44 - CONSTRUCCIONES METÁLICAS y DE MADERA	8	30	12 - 23	30
O9557	45– INGENIERIA SANITARIA	6	32	17 - 19 - 25	32
O955D	46 – PUENTES (electiva)	4	36 - 39	19 - 28	36 - 39
O955J	47 - OBRAS FLUVIALES Y MARÍTIMAS (electiva)	5	36 - 39	17	32- 36 -39

## AGOSTO 2017 Plan de Estudios INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**ORD. N° 1029** (Modificada por Res. 06/2010 C.D.)

COD. ASIG.	PARA CURSAR	H. S	TENER REGU	CURSAR. SIMU	TENER APROB.	TENER APROB.
	PARA PROMOVER ó RENDIR	H. S				TENER APROB.
<b>PRIMER Año – 1º Cuatrimestre</b>						
X9511	1- ANÁLISIS MATEMÁTICO I	1				
X951E	2- INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA I (	3				
X9513	3- ÁLGEBRA Y GEOMETRÍA ANALÍTICA	10				
X951C	4- SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN	6				
<b>2º Cuatrimestre</b>						
X9519	5- QUÍMICA GENERAL	10				
X9515	6- FÍSICA I	10				
X951E	--- INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA (Int)	3				
X9517	7 – INGENIERÍA Y SOCIEDAD	4				
X951B	8 – REPRESENTACIÓN GRÁFICA	6	-----	-----	-----	4
<b>SEGUNDO Año – 1º Cuatrimestre</b>						
X9521	9 – ESTABILIDAD	6	1 – 3 - 6			1 – 3 - 6
X9523	10 – INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA (Int.)	3	1 – 2 - 3			1- 2 – 3
X9525	11 – ANÁLISIS MATEMÁTICO II	10	1 – 3			1 - 3
X953A	12 – PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA	6	1 - 3			1 - 3
X951M	13 – INGLES I	2	-----			-----
<b>2º Cuatrimestre</b>						
X9527	14- FÍSICA II	10	1 – 6			1 - 6
	---- ESTABILIDAD	6	1 – 3 - 6			1 – 3 - 6
	---- INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA II	3	1 – 2 - 3			1 – 2 – 3
X952B	15- CONOCIMIENTO DE MATERIALES	8	5			5
X952E	16 –PROGRAMACION EN COMPUTAC	6	1 - 3			1 - 3
	---- INGLÉS I	2	-----			-----

**CONDICIÓN ACADÉMICA:** Tener aprobada Sistemas de Representación para cursar materias del 3º nivel.

<b>TERCER Año – 1º Cuatrimestre</b>						
X9535	17 – TECNOLOGÍA MECÁNICA	1	14 -15		1 – 5 – 6 - 8	14 -15
X9537	18 – INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA II (Int.)	3	10- 11 -14		1 – 2 – 3 - 6	10-11-14
X9539	19- ELECTROTECNIA	6	11- 14		1 – 3 - 6	11 -14
X9531	20 – TERMODINÁMICA TÉCNICA	4	14		1 – 6	14
X953C	21- MATEMÁTICA PARA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	6	11		1 – 3	11
X951N	22- INGLES II	2	-----		13	-----
<b>2º Cuatrimestre</b>						
	---- INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA III	3	10- 11 - 14		1 – 2 – 3 - 6	10 – 11 – 14
X953B	23 – MECANICA Y MECANISMOS	8	8 – 9 -11		1 – 3 – 4 - 6	8 – 9 -11
	---- ELECTROTECNIA	6	11 -14		1 – 3 – 6	11- 14
	---- TERMODINÁMICA TÉCNICA	4	14		1 – 6	14
X955H	24- HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	4	14		1 – 5 – 6 - 7	14
	---- INGLÉS II	2	-----		13	-----

**CONDICIÓN ACADÉMICA:** Tener Aprobado asignaturas nº 13 para cursar Asignatura Integradora del 4º nivel.

<b>CUARTO Año – 1º Cuatrimestre</b>						
-------------------------------------	--	--	--	--	--	--

X9549	25- ELEMENTOS DE MÁQUINAS (Int.)		17 - 18 - 23		9 - 10 - 11- 13 -14- 16	17 - 18 -
X9541	26- MECANICA DE LOS FLUIDOS MÁQUINAS FLUIDODINÁMICAS		20- 23		9 - 11- 14- 16	20 - 23
X9543	27 - MÁQUINAS ELÉCTRICAS		19		14	19
X9545	28 - MEDICIONES ELÉCTRICAS		19 - 21		11 - 14	11
X9547	29 - MÁQUINAS TÉRMICAS	10	20			14
<b>2º Cuatrimestre</b>						
	----- ELEMENTOS DE MÁQUINA (Int.)		17- 18 - 23		9 - 10 - 11- 13 -14- 16	17 -18 -
X954A	30 - ELECTRÓNICA INDUSTRIAL		19		14	19
	----- MECÁNICA DE LOS FLUIDOS MÁQUINAS FLUIDODINÁMICAS		20 -23		9 - 11- 14- 16	20 - 23
X952A	31 - ECONOMÍA		10		7	10
X9529	32 - LEGISLACIÓN		10		7	10
X954B	33- DISEÑO Y FABRICACIÓN ASISTIDO POR COMPUTADORA (Electiva)		15 -17 - 23	25	9 -11 -14	15- 17-2
	----- MÁQUINAS ELÉCTRICAS		19		14	19
X954R	48- INGENIERÍA DE SUPERFICIES				6 -14- 15	6- 12 - 14
<b>CONDICIÓN ACADÉMICA:</b> Tener Aprobado asignaturas nº 13 Y 22 para cursar Asignatura Integradora del 5º nivel.						
<b>QUINTO Año – 1º Cuatrimestre</b>						
X9555	34- REDES DE DISTRIBUCIÓN E INSTALACIONES ELÉCTRICAS		27 - 28		19	27 -28
X955A	35- ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL		31 -32		10-12	31 -32
X9557	36- AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL		21 -26 -27 -28		19 - 20- 23	21 -26 -27 30
X955O	37- PROYECTO FINAL (Int.)		25 - 26-27 -		17- 18 -19 -20 - 21-22 24	TODAS
X9559	38- MÁQUINAS DE ELEVACIÓN Y TRANSPORTE (Electiva)		25-26		17- 18 - 20 -23	25-26
X9551	39- ELECTRÓNICA de POTENCIA (electiva)		28 -30		19 -21	28 -30
X955F	40- INTRODUCCIÓN AL PROYECTO DE INSTALACIONES INDUSTRIALES (Electiva)		-----	34	19 - 20- 21 - 23	26 -28 -
X955P	46- AMBIENTAL (Electiva)		31-32		24	
X955N	<b>-PRÁCTICA SUPERVISADA- Análisis de un sistema de potencia</b>	20	25 - 26 - 27 -		17 -18-19 -20- 21- 22- 2	-----
<b>2º Cuatrimestre</b>						
X9555	--- REDES DE DISTRIBUCIÓN E INSTALACIONES ELÉCTRICAS		27 - 28		19	27 -28
X955O	---- PROYECTO FINAL (Int.)		25 - 26-27 -		17- 18 -19 -20 - 21-2 24	TODAS
X955B	41- INSTALACIONES TÉRMICAS MECÁNICAS Y FRIGORÍFICAS		26 -29		20 -23	26 -29
X955C	42- CENTRALES Y SISTEMAS DE TRANSMISIÓN		26 - 27 -28-		19- 20 -21 -23	26 -27- 28
X9553	43- HIDRODINÁMICA Y NEUMÁTICA (Electiva)		26		20 - 23	26
X955D	44- AUTOMATISMOS (electiva)		36 - 39 (A)		19 - 20- 21 - 23	36
X955J	45- INSTALACIONES INDUSTRIALES REGIONALES (electiva)		40 - (B)	41	19 - 20- 21 - 23	26-27-28-
X955Q	47- EMPRENDEDORISMO (electiva)		35		31-32	35
	49 - INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN. CIENTÍFICA (electiva) (semipresencial)		10		7	10

**La cantidad de horas de asignaturas electivas a cursar debe ser de 28 horas totales**

# LICENCIATURA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

MARZO 2015

ORD. N° 760 / Modificatoria y ORD.N ° 1156

CÓDIGO DE ASIGNATURA	PARA CURSAR		TENER REGULARIZADA	TENER APROBADA	
	PARA PROMOVER ó RENDIR	Sem			TENER APROBADA
	PRIMER AÑO				
	<b>1° Cuatrimestre</b>				
29513	1- ÁLGEBRA	6			
29517	2- INFORMÁTICA I	6			
29515	3- QUÍMICA	6			
2951D	4-ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL I (Integradora)	6			
2951G	INGLÉS I – Anual	3			
	<b>2° Cuatrimestre</b>				
2951B	5- ECONOMÍA GENERAL	6			
2951C	6- FÍSICA	6			
29511	7- ANÁLISIS MATEMÁTICO	6			
2951D	--- ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL I (Integradora)	6			
2951G	INGLÉS I – Anual	3			

**Para cursar Asignatura Integradora de 3er. año tener Aprobado INGLÉS I**

	SEGUNDO AÑO				
	<b>1° Cuatrimestre</b>				
29525	10- CONOCIMIENTO DE MATERIALES		3 - 6	-----	3 - 6
29527	11- COSTOS		2 - 5	-----	2 - 5
2952C	12- INFORMÁTICA II		2	-----	2
29521	13- ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL II (Integradora)		4 - 5	-----	4 - 5
29519	14- PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA		1 - 7	-----	1 - 7
2951H	INGLÉS II- Anual				
	<b>2° Cuatrimestre</b>				
2952D	15- COMERCIALIZACIÓN		2 - 14	1- 7	2 -14
2952B	16- ESTUDIO DEL TRABAJO		-----	2 -5	-----
2952 <sup>a</sup>	17- PROCESOS INDUSTRIALES		4 - 10	3 - 6	4 - 10
29529	18- INVESTIGACIÓN OPERATIVA		14	1 -7	14
29521	---- ORGANIZACION INDUSTRIAL II (Integradora)		4 -5	-----	4 - 5
2951H	INGLÉS II- Anual				

**Para cursar Asignatura Integradora de 4to. año y presentar Práctica Supervisada tener Aprobado: INGLÉS II**

	TERCER AÑO				
	<b>1° Cuatrimestre</b>				
29535	19- ECONOMÍA DE LA EMPRESA		2 - 5	-----	2 - 5
29539	20- ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL III (Integradora)		13	INGLÉS I 4 - 5 - 18	13
29523	21- LEGISLACIÓN		-----	-----	-----
29531	22- SISTEMAS Y MÉTODOS ADMINISTRATIVOS		12 - 13	4-5-18	12 - 13

29537	23- PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN		16 - 18	11-14	16 - 18
2953B	26- INGENIERÍA DE CALIDAD		17	4 - 10 - 14	17
<b>2º Cuatrimestre</b>					
29533	24- ANÁLISIS DE ESTADOS CONTABLES		13	4-5	13 - 19
2953A	25- SEGURIDAD, HIGIENE E INGENIERÍA AMBIENTAL		16 - 17 - 21	4-10-11	16 - 17 - 21
2953B	--- INGENIERÍA DE CALIDAD		17	4 - 10 - 14	17
29539	---ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL III (Integradora)		13	INGLÉS I 4 - 5 - 18	13

<b>CUARTO AÑO</b>					
<b>1º Cuatrimestre</b>					
29547	27- COMERCIO EXTERIOR		19 - 26	11-15-17-21	19-26
29545	28- EVALUACIÓN DE PROYECTO		19 - 20 - 23	INGLES II 11-13-18	19-20-23
2954C	29- GESTIÓN DE PYMES (Electiva)		20 - 23 - 25	13 - 16-17-18-21	20 - 23 - 25
29549	30- PROYECTO FINAL (Integradora)		20 - 23 - 25	13-16-17-18-21	TODAS
2954F	<b>- PRÁCTICA SUPERVISADA</b>	180	20 - 23 - 25	13-16-17-18-21	13-16-17-18-21
<b>2º Cuatrimestre</b>					
29549	---PROYECTO FINAL (Integradora)		20 - 23 - 25	13-16-17-18-21	TODAS
29543	31- RELACIONES INDUSTRIALES		23 - 25	16-17-18-21	23 - 25
29541	32- CONTROL DE GESTIÓN		20 - 23	13 - 16 - 18	20 - 23
2954D	33- FLUJO DE INSUMOS Y PRODUCTOS (Electiva)		20 - 23 - 25	13-16-17-18-21	20 - 23 - 25
2954E	34- SEMINARIO DE PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO (Electiva)		20 - 23 - 25	13-16-17-18-21	20 - 23 - 25
2954G	35- EMPRENDEDORISMO (Electiva)		20-23-25	13-16-17-18-21	20-23-25
2954H	36-GESTIÓN DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EN LAS ORGANIZACIONES (Electiva)		13-21-22	5	13-21-22

## II.2. Ordenanza 1549 UTN



**APRUEBA EL REGLAMENTO DE ESTUDIO PARA TODAS LAS CARRERAS DE  
GRADO EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL.**

**- DEROGA LA ORDENANZA N° 908 -**

Buenos Aires, 15 de septiembre de 2016.

VISTO la Ley de Educación Superior y su modificaciones, el Estatuto de la Universidad Tecnológica Nacional y la necesidad de actualizar el Reglamento de Estudio, y

CONSIDERANDO:

Que la transformación curricular en que se encuentra inmersa la Universidad Tecnológica Nacional necesita continuar con la actualización y adecuación de la organización académica y las normas que la rigen.

Que en este campo y con el aporte de las distintas Facultades Regionales, Consejeros Superiores de los distintos claustros y la Secretaría Académica de la Universidad se ha propuesto la adecuación del Reglamento de Estudio que rige a todas las carreras de grado.

Que la Comisión de Enseñanza conjuntamente con la Comisión de Interpretación y Reglamento evaluó exhaustivamente la propuesta y aconsejó su aprobación.

Que el dictado de la medida se efectúa en uso de las atribuciones otorgadas por el Estatuto Universitario.

Por ello,





EL CONSEJO SUPERIOR DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

ORDENA:

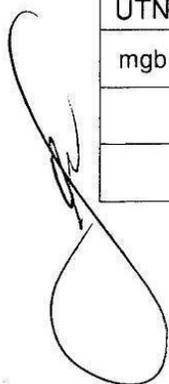
ARTÍCULO 1º.- Aprobar y poner en vigencia a partir del ciclo lectivo 2017, el Reglamento de Estudio para todas las Carreras de Grado que se dictan en la Universidad Tecnológica Nacional, que se agrega como Anexo I y es parte integrante de la presente ordenanza.

ARTÍCULO 2º.- Derogar la Ordenanza N° 908 y las ordenanzas N° 783, 927, 932, 934, 945, 957, 960, 1345 y 1395.

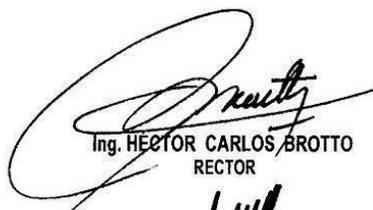
ARTÍCULO 3º.- Derogar la Ordenanza N° 643 y Dejar sin efecto la Resolución de Consejo Superior N° 403/2009.

ARTÍCULO 4º.- Regístrese. Comuníquese y archívese.

ORDENANZA N° 1549

UTN
mgb

  
Ing. HECTOR CARLOS BROTTO  
RECTOR  
  
A.U.S. RICARDO F. O. SALLER  
Secretario del Consejo Superior



ANEXO I

ORDENANZA Nº 1549

INDICE

**CAPÍTULO 1: DISPOSICIONES GENERALES**

1.1.	Ámbito de aplicación	5
1.2.	Reglamentación	5
1.3.	Excepciones	5
1.4.	Situaciones no previstas	5

**CAPÍTULO 2: REGIMEN DE INGRESO**

2.1.	Títulos de enseñanza de nivel secundario	6
2.2.	Requisitos Generales	7
2.3.	Ingreso	7
2.4.	Ingreso por pase	9

**CAPÍTULO 3: REGIMEN DE EQUIVALENCIAS**

3.1.	Requisitos Generales	12
3.2.	Requisitos Particulares	12
3.3.	Presentación de Solicitudes	13
3.4.	Evaluación Complementaria	13

**CAPÍTULO 4: RÉGIMEN DE ACREDITACION**

4.1.	Solicitud de Acreditación	15
4.2.	Actividades Ofrecidas por las Facultades Regionales	15
4.3.	Estudios y/o trabajos realizados por el estudiante fuera del ámbito de la Universidad Tecnológica Nacional.	15
4.4.	Acreditación	16
4.5.	Conformación de los Tribunales	16
4.6.	Criterios para la Acreditación	16
4.7.	Certificación	17
4.8.	Acreditación Total	17
4.9.	Alcance	17
4.10.	Excepción	17

**CAPITULO 5: INSCRIPCION**

5.1.	Inscripción de Ingresante a Primer Nivel	18
5.2.	Inscripción por Asignatura	18
5.3.	Excepciones	18

**CAPITULO 6: REGIMEN LECTIVO**

6.1.	Calendario Académico	20
6.2.	Mesas Especiales	20
6.3.	Horario Lectivo	20
6.4.	Publicidad	21



**CAPÍTULO 7. RÉGIMEN DE CURSADO Y APROBACIÓN**

7.1.	Régimen de Cursado	22
7.2.	Régimen de Aprobación	22
7.3.	Evaluaciones Libres	23
7.4.	Condición de Estudiante Regular	23
7.5.	Licencia Especial	24

**CAPÍTULO 8. RÉGIMEN DE EVALUACIÓN**

8.1.	Norma General	25
8.2.	Evaluaciones por Examen Final	25

**CAPÍTULO 9: CERTIFICADOS Y DIPLOMAS**

9.1.	Constancia de asignaturas aprobadas	27
9.2.	Certificado final de estudios	27
9.3.	Constancias de trámites	27
9.4.	Diplomas	28

**CAPITULO 10. DEFINICIONES**



**ANEXO I**  
**ORDENANZA N° 1549**

**REGLAMENTO DE ESTUDIO DE CARRERAS DE GRADO**

**CAPÍTULO 1: DISPOSICIONES GENERALES**

**1.1. Ámbito de aplicación**

El presente reglamento se aplicará obligatoriamente en todas las carreras de grado que se dicten en las Facultades Regionales dependientes de la Universidad Tecnológica Nacional.

**1.2. Reglamentación**

Los Consejos Directivos de las Facultades Regionales podrán dictar normas complementarias de aplicación compatibles con el presente Reglamento, y deberán informarlas al Consejo Superior en el término de TREINTA (30) días hábiles.

**1.3. Excepciones**

Las Facultades Regionales no podrán establecer excepciones a las disposiciones de este Reglamento, si ello no está previamente autorizado por el Consejo Superior.

**1.4. Situaciones no previstas**

Los casos no contemplados en el presente Reglamento quedarán sujetos a la decisión del Consejo Superior. En caso de convalidarse las situaciones no previstas, serán establecidas como normas complementarias que deberán ser comunicadas a las Facultades Regionales en un plazo no mayor a TREINTA (30) días corridos desde su aprobación.



5



## **CAPÍTULO 2: REGIMEN DE INGRESO**

### **2.1. Títulos de enseñanza de nivel secundario**

#### **2.1.1. Títulos reconocidos:**

La aprobación de los estudios correspondientes a la enseñanza de nivel secundario, quedará automáticamente acreditada con la presentación de alguno de los títulos expedidos por establecimientos educativos dependientes del Gobierno Nacional, los Gobiernos Provinciales, el Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, las Municipalidades, las Universidades Nacionales o Provinciales y por establecimientos educativos privados reconocidos por la Nación, las Provincias o el Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

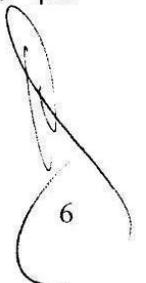
#### **2.1.2. Títulos extranjeros:**

El aspirante al ingreso que posea título de enseñanza de nivel secundario expedido por establecimiento extranjero con validez legal en el país de origen, deberá revalidarlo previamente ante el Ministerio de Educación y Deportes de la Nación. Cuando existan convenios internacionales o disposiciones legales sobre equivalencias de ese nivel, el aspirante, antes de su inscripción, deberá gestionar la aplicación de tales regímenes y la habilitación de su título ante la autoridad que corresponda. El aspirante extranjero quedará sujeto a la aplicación de las normas legales que correspondan, las que deberán ser resueltas con anterioridad a su inscripción.

#### **2.1.3. Otros títulos:**

Los títulos y certificados de estudios no contemplados en el artículo anterior deberán ser autorizados expresamente por el Consejo Superior, antes de su aceptación por las Facultades Regionales. Cualquier interesado podrá presentar la correspondiente solicitud ante una Facultad Regional, acreditando la equivalencia de nivel con algunos de los títulos antes mencionados. El Consejo Superior podrá condicionar su autorización a la aprobación de los estudios complementarios o de las pruebas de suficiencia que considere convenientes.

#### **2.1.4. Aspirante mayor de 25 años:**



6



Excepcionalmente, el aspirante mayor de VEINTICINCO (25) años de edad que no posea títulos de nivel secundario podrá ingresar, de acuerdo con las normas nacionales vigentes y las dictadas por el Consejo Superior.

## **2.2. Requisitos Generales**

Para ingresar a la Universidad Tecnológica Nacional, en cualquiera de las carreras de grado que se dicten en sus Facultades Regionales, se requerirá:

### **2.2.1. Plazos:**

Haber aprobado los estudios correspondientes al nivel secundario de enseñanza o bien haber cumplido lo establecido en el inciso 2.1.4. En ambos casos el cumplimiento debe hacerse efectivo al 31 de agosto del año de ingreso. El estudiante no podrá aprobar asignaturas de la carrera hasta tanto no se dé cumplimiento a este punto.

### **2.2.2. Disposiciones de admisión:**

Cumplir con las disposiciones de admisión vigentes al momento de tramitar el ingreso.

### **2.2.3. Elección del turno:**

La prioridad en la elección del turno en que se cursará se determinará en función de la ocupación laboral del aspirante y dentro de las posibilidades de la Facultad Regional.

### **2.2.4. Inscripción:**

Inscribirse mediante los procedimientos que implementen las Facultades Regionales.

## **2.3. Ingreso**

### **2.3.1. Sistemas de ingreso:**

El aspirante deberá, antes de su inscripción a la carrera de grado en que cursará sus estudios en la Universidad, satisfacer los requisitos generales establecidos en el artículo 2.2. Podrá ingresar directamente en la carrera elegida ante las siguientes circunstancias:

**2.3.1.1. Ingreso por equivalencias y/o acreditación:** El aspirante que solicite reconocimiento de asignaturas por equivalencia y/o acreditación y dé cumplimiento a los requisitos dispuestos en los Capítulos 3 y 4 de este reglamento.





**2.3.1.2. Ingreso por pase:** El aspirante que solicite ingreso por pase y dé cumplimiento a lo establecido en el artículo 2.4. de este reglamento.

**2.3.1.3. Seminario Universitario:** Cuando las disposiciones establecidas en el inciso 2.2.2. incluyan seminarios o cursos introductorios de nivelación de conocimientos académicos, el Consejo Superior determinará los temas generales y las modalidades de dictado. Las Facultades Regionales establecerán mediante resolución de Consejo Directivo la modalidad y los temas particulares, fundamentados en la mejor aplicación del diseño curricular y las realidades regionales.

**2.3.2. Validez:**

El cumplimiento de las condiciones de ingreso habilitará al estudiante para su inscripción en la Universidad Tecnológica Nacional.

**2.3.3. Procedimiento de inscripción:**

El aspirante deberá inscribirse dentro de los plazos fijados por cada Facultad Regional, mediante la presentación de los siguientes documentos dispuestos por la Universidad:

**2.3.3.1. Formulario:** Formulario oficial de ingreso debidamente cumplimentado.

**2.3.3.2. DNI:** Documento Nacional de Identidad.

**2.3.3.3. Certificado final de estudios secundarios:** Certificado final de estudios secundarios completos, con títulos reconocidos según el artículo 2.1. En caso de estar cursando o haber cursado como regular el último año del nivel secundario, o encontrarse rindiendo el último año del mismo, deberá presentar la correspondiente constancia emitida por el respectivo establecimiento. El certificado final de estudio, debidamente legalizado, deberá ser presentado en la Facultad Regional en el plazo que ésta disponga, dentro del año calendario de ingreso.

**2.3.3.4. Certificado de trabajo:** Cuando las Facultades Regionales dispongan la aplicación del inciso 2.2.3., el aspirante que se encuentre en las condiciones allí mencionadas deberá presentar el certificado de trabajo correspondiente.

**2.3.4. Libreta Universitaria o soporte físico equivalente:**

Las Facultades Regionales entregarán a cada estudiante inscripto una libreta universitaria o soporte físico equivalente, que será válida exclusivamente para acreditar



su carácter de estudiante. En ella se consignará el número de legajo definitivo del estudiante, el registro del cumplimiento de lo establecido en el artículo 2.2., los datos personales, las constancias fundamentales relativas a los estudios cursados, los exámenes rendidos y las asignaturas aprobadas, reconocidas por equivalencias y/o acreditadas. La Libreta Universitaria o soporte físico equivalente será obligatoria para rendir exámenes, efectuar trámites oficiales en el ámbito de la Universidad y acreditar condición de estudiante a los fines que estipule cada Facultad Regional.

## 2.4. Ingreso por pase

### 2.4.1. Normas generales:

Dentro de la misma carrera, las asignaturas obligatorias cursadas y las aprobadas en una Facultad Regional tendrán validez automáticamente en las demás Facultades de la Universidad, sin necesidad de reconocimiento expreso ni trámite alguno. De igual manera tendrán validez las asignaturas electivas aprobadas. Cuando se trate de asignaturas electivas cursadas y no aprobadas podrán rendirse en la Facultad Regional de origen o en la Facultad Regional de destino.

No será impedimento de pase la condición de estudiante regular. El pase de un estudiante de una Facultad Regional a otra dentro de la Universidad se registrará por las siguientes normas:

**2.4.1.1. Misma carrera:** Cuando el estudiante continúe la misma carrera se aplicarán exclusivamente las normas de este capítulo.

**2.4.1.2. Cambio de carrera:** Cuando el pase implique un cambio de carrera se aplicarán las normas de este capítulo y además las correspondientes a los Capítulos 3 y 4 (Régimen de Equivalencias y Régimen de Acreditación, respectivamente). El trámite correspondiente a la aplicación del régimen de equivalencias y/o de acreditación se efectuará en la Facultad Regional de destino.

**2.4.1.3. Efectos:** El pase producirá los siguientes efectos:

**2.4.1.3.1. Continuidad de estudios:** El estudiante continuará sus estudios en la Facultad Regional de destino, según las normas generales y específicas vigentes en ella. Si correspondiera, el estudiante tramitará la restitución de la condición de estudiante regular, en los términos del inciso 7.4.4.



9



**2.4.1.3.2. Exámenes pendientes:** Los exámenes correspondientes a las asignaturas obligatorias cursadas íntegramente en la Facultad Regional de origen, podrán rendirse en la Facultad Regional de destino.

**2.4.2. Procedimiento de pase:**

**2.4.2.1. Trámite en la Facultad Regional de origen:** El estudiante deberá solicitar el pase en la Facultad Regional de origen. El Decano de la Facultad Regional otorgará el pase, dictará resolución y la comunicará a la Facultad Regional de destino, acompañando con copia certificada de las constancias fundamentales del legajo del estudiante, en especial lo inherente a estudio cursado, asignaturas aprobadas y, cuando el pase se efectuó durante el ciclo lectivo, inasistencias registradas y exámenes parciales y/o actividades de formación práctica aprobados.

**2.4.2.2. Trámite en la Facultad Regional de destino:** La Facultad Regional de destino deberá controlar el cumplimiento de las exigencias reglamentarias pertinentes; en caso de que la documentación recibida no esté en regla será devuelta a la Facultad Regional de origen, la que asumirá la responsabilidad de completarla. Una vez recibida la documentación en forma reglamentaria, el Decano dictará resolución aceptando el pase, a partir de lo cual la Facultad Regional de destino será plena responsable de la actividad académica del estudiante. Sin perjuicio de los trámites anteriores, el estudiante estará obligado a realizar personalmente en la Facultad Regional de destino los trámites comunes para su inscripción.

**2.4.2.3. Pase provisorio:** El estudiante podrá solicitar en la Facultad Regional de origen un certificado provisorio, extendido por el Secretario Académico, en el que conste su condición de tal, carrera cursada, asignaturas aprobadas y/o asignaturas que esté cursando, para su presentación en la Facultad Regional de destino. Este certificado será entregado al propio estudiante y lo habilitará para inscribirse provisoriamente en la Facultad Regional de destino, asistir a clase y cumplir las demás exigencias del cursado incluido el acceso a examen.

**2.4.2.4. Pase transitorio:** El estudiante que solicite pase transitorio por razones laborales, familiares o personales debidamente justificadas, deberá gestionar un certificado provisorio extendido por el Secretario Académico de la Facultad Regional de origen para su presentación en la Facultad Regional de destino, en el que consten la carrera y las asignaturas que esté cursando. Este pase permitirá al



estudiante inscribirse en la Facultad Regional de destino, asistir a clase y cumplir con las demás exigencias del cursado y aprobación de las materias. Al término de este pase, el estudiante deberá volver a la Facultad Regional de origen con una constancia de la actividad realizada extendida por el Secretario Académico.

**2.4.2.5. Cursado sin pase:**

**2.4.2.5.1. Autorización:** El estudiante podrá solicitar cursar asignaturas en otra Facultad Regional. El Decano de la Facultad Regional de origen, previo estudio del caso, autorizará mediante resolución y la comunicará a la Facultad Regional de destino. El estudiante podrá optar por rendir el examen final en la Facultad Regional de destino.

**2.4.2.5.2. Asignaturas electivas:** El Departamento de especialidad de la Facultad Regional de origen propondrá que se autorice el cursado de asignaturas electivas en otra Facultad Regional, basándose en la pertinencia temática y en los prerrequisitos académicos consignados por la Facultad Regional de destino.

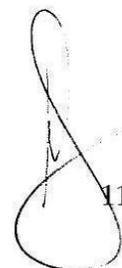
**2.4.2.6. Cursado simultáneo de carreras:**

**2.4.2.6.1. Cursado simultaneo de carreras:** El estudiante podrá solicitar el cursado de carreras en forma simultánea en la Universidad Tecnológica Nacional.

**2.4.2.6.2. En DOS (2) Facultades Regionales:** Cuando el cursado simultáneo de carreras se solicite para ser realizado en DOS (2) Facultades Regionales, se deberá contar con la aprobación de ambos Decanos.

**2.4.2.6.3. Asignaturas homogéneas:** Se reconocerán directamente las asignaturas homogéneas de una carrera en la otra.

**2.4.2.6.4. Asignaturas no homogéneas:** El reconocimiento de las asignaturas no homogéneas de una carrera en la otra, se podrá solicitar de acuerdo con el régimen de equivalencia y/o acreditación.

  
11



### **CAPITULO 3: REGIMEN DE EQUIVALENCIAS**

#### **3.1. Requisitos Generales**

Podrá solicitar el reconocimiento de asignaturas de grado aprobadas quien sea estudiante o graduado o haya sido estudiante con anterioridad en:

**3.1.1. UTN:** Otras carreras de grado de la Universidad Tecnológica Nacional.

#### **3.1.2. Universidades argentinas:**

Carreras de grado de universidades nacionales argentinas, públicas y privadas, legalmente reconocidas, con diseños curriculares de CUATRO (4) o más años de estudio posteriores a los de nivel secundario.

#### **3.1.3. Instituciones extranjeras:**

Carreras de grado de instituciones extranjeras universitarias, o de jerarquía similar, cuando los títulos que expiden tengan validez legal en el país de origen y de acuerdo con las disposiciones que rijan al momento de tramitarse el pedido de equivalencias.

#### **3.1.4. Convenios nacionales e internacionales:**

Carreras de grado de la UTN y haya aprobado asignaturas en otras universidades argentinas o extranjeras en el marco de los acuerdos internacionales. Sólo se tendrán equivalencias en las asignaturas cuya aprobación conste en un documento oficial de la Universidad de origen.

#### **3.2. Requisitos Particulares**

El estudiante proveniente de universidades nacionales, provinciales o privadas, deberá presentar la siguiente documentación:

- Certificado analítico de estudios completos de nivel secundario legalizado.
- Plan de estudios legalizado de la carrera de grado de la Universidad de origen que incluya asignaturas y carga horaria total.
- Certificado legalizado de materias rendidas, especificando fechas de examen y notas.
- Programas analíticos de materias aprobadas legalizados.

El reconocimiento de asignaturas se solicitará mediante los procedimientos reglamentarios que determine la Facultad Regional, teniendo en cuenta que las



asignaturas cuyo reconocimiento se solicite sean equivalentes a las que se cursan en la respectiva carrera, tanto en extensión como en intensidad, requisito que se juzgará comparando los planes de estudio en su totalidad, los programas de las asignaturas equivalentes y las demás exigencias curriculares.

### **3.3. Presentación de las Solicitudes**

#### **3.3.1. Estudiantes UTN:**

El estudiante de la Universidad Tecnológica Nacional que solicite reconocimiento de equivalencias por cambio o simultaneidad de carreras, podrá presentar la solicitud en los tiempos que establezca cada Facultad Regional. La solicitud de reconocimiento de equivalencias por cambio de carrera deberá ser fundamentada por el solicitante y aprobada por el Director del Departamento de destino. Se podrá solicitar reconocimiento de nuevas equivalencias durante el transcurso de la carrera.

#### **3.3.2. Estudiantes de otra Universidad argentina:**

El estudiante que no acredite estudios en la Universidad Tecnológica Nacional, deberá presentar la solicitud de reconocimiento de equivalencias en la Facultad Regional en la que desee inscribirse, en el plazo que la misma determine, dentro del año calendario académico, debiendo cumplir los requisitos establecidos en el inciso 3.4.1.

#### **3.3.3. Estudiantes de institución extranjera:**

Si provinieran de instituciones extranjeras, la documentación pertinente deberá ser legalizada por el Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, y deberá agregarse su traducción al castellano efectuada por Traductor Público Nacional.

#### **3.3.4. Plazos:**

Las Facultades Regionales deberán resolver las solicitudes de los estudiantes dentro de los SESENTA (60) días corridos de la presentación.

### **3.4. Evaluación complementaria**

#### **3.4.1. Diferencias de contenidos curriculares y plazos:**

Cuando las diferencias de contenido lleguen hasta un VEINTE por ciento (20%) o su importancia sea limitada, podrá otorgarse la equivalencia, previa aprobación del



estudiante de una evaluación complementaria sobre los temas no contenidos en el programa de origen. La misma deberá realizarse dentro de los NOVENTA (90) días corridos contados a partir de la notificación del estudiante. El estudiante podrá solicitar, justificando el pedido, la ampliación de dicho plazo, debiendo el director de Departamento expedirse al respecto.

#### **3.4.2. Repetición de las evaluaciones:**

El tribunal examinador que tomó una evaluación complementaria con resultado negativo, sobre la base del desempeño del aspirante y antes de pronunciarse en definitiva, podrá darle una segunda y última oportunidad dentro de los quince (15) días hábiles siguientes a la evaluación complementaria.

#### **3.4.3. Dictamen**

**3.4.3.1. Procedimiento:** La solicitud del interesado será enviada a los departamentos que corresponda, en virtud de las asignaturas cuyas equivalencias se solicitan. Los respectivos directores deberán expedirse antes del inicio del año calendario inmediato posterior a la presentación de las asignaturas específicas, previo informe del director de cátedra o en su defecto del profesor a cargo de la asignatura. El interesado estará obligado a completar su pedido con todos los elementos de juicio que le sean requeridos. El dictamen del Departamento deberá expresar:

a) Si existe la equivalencia invocada o no, indicando en su caso sobre la base del **inciso 3.4.1.** los temas que no sean equivalentes según el programa originario y que deberán ser materia de evaluación complementaria.

b) Dicho dictamen podrá ser apelado por el interesado en los respectivos Consejos Departamentales, como única instancia de apelación.

**3.4.3.2. Equivalencia integral:** La equivalencia deberá ser integral, no pudiéndose dar por aprobada una parte de la asignatura y obligarse a cursar el resto, salvo lo indicado en el **inciso 3.4.1.**

#### **3.4.4. Resoluciones**

El Consejo Directivo, examinados los antecedentes y el dictamen del Departamento, aprobará o no la solicitud.





**3.4.4.1. Sin complemento:** Cuando se trate de asignaturas aprobadas y no correspondan evaluaciones complementarias, el Consejo Directivo aprobará directamente la equivalencia solicitada.

**3.4.4.2. Con complemento:** Cuando se trate de asignaturas aprobadas, pero corresponda la evaluación complementaria prevista en el **inciso 3.4.1.**, el Consejo Directivo autorizará al Decano a otorgar la equivalencia, previa aprobación de la evaluación complementaria por parte del estudiante.

## **CAPÍTULO 4: RÉGIMEN DE ACREDITACION**

### **4.1. Solicitud de acreditación**

#### **4.1.1. Acreditación de competencias:**

El estudiante podrá solicitar la acreditación de competencias adquiridas en la Universidad Tecnológica Nacional y/o en forma externa a través de diferentes actividades académicas, trabajos y/o investigaciones relacionados con la carrera, conforme con las reglamentaciones emanadas del Consejo Superior.

#### **4.1.2. Procedimiento:**

El estudiante efectuará la solicitud de acreditación por nota dirigida al Secretario Académico, acompañando la presentación con el programa del curso, seminario, trabajo o pasantía y la constancia oficial de su aprobación y calificación obtenida, si correspondiera. La solicitud, debidamente conformada, se girará al Departamento de la especialidad que corresponda, iniciándose así el proceso de acreditación.

### **4.2. Actividades ofrecidas por las Facultades Regionales**

#### **4.2.1. Talleres, cursos y/o seminarios:**

Las actividades de talleres, cursos o seminarios ofrecidas por la Universidad Tecnológica Nacional, cuyas condiciones de nivel e intensidad sean acordes con las exigidas en una carrera de grado, podrán ser acreditadas en función de las condiciones descriptas.

#### **4.2.2. Actividades laborales y/o pasantías:**

Asimismo, podrán acreditarse las actividades laborales o pasantías en empresas, ofrecidas por la Universidad Tecnológica Nacional, que hayan sido realizadas por el estudiante.





#### **4.3. Estudios y/o trabajos realizados por el estudiante fuera del ámbito de la Universidad Tecnológica Nacional**

##### **4.3.1. Actividades:**

Las actividades de talleres, cursos, seminarios, laborales y/o pasantías desarrolladas fuera del ámbito de la Universidad Tecnológica Nacional cuyas condiciones de nivel, extensión e intensidad sean acordes a las exigencias de las correspondientes a una carrera de grado, podrán ser acreditadas.

##### **4.3.2. Nivel, extensión e intensidad:**

Las actividades susceptibles de ser acreditadas deberán ser comparables en nivel, extensión e intensidad con las exigencias de grado.

##### **4.3.3. Cursos, seminarios y talleres:**

Los cursos, seminarios y talleres deberán tener un mínimo de TREINTA (30) horas para ser considerados en el régimen de acreditación.

##### **4.3.4. Asignaturas y/o área electiva:**

Un estudiante podrá acreditar una asignatura y/o área electiva siempre que garantice, sin excepción, que se han cumplido en forma cualitativa los objetivos de la asignatura y/o del área electiva considerada.

#### **4.4. Acreditación**

En todos los casos la evaluación se realizará a través de un tribunal de acreditación y el análisis de competencias se completará con un coloquio.

#### **4.5. Conformación de los tribunales**

Los tribunales de acreditación estarán integrados por el Director de Cátedra de la asignatura que se pretende acreditar y DOS (2) profesores del área nombrados por el Departamento de especialidad correspondiente o bien, cuando corresponda, por el Departamento de Materias Básicas

#### **4.6. Criterios para la acreditación**

Los tribunales deberán fundamentar su decisión en:

##### **4.6.1. Pertinencia temática:**

Serán considerados los estudios y/o las actividades que guarden relación directa con algún área de la carrera de grado. Se considerarán especialmente las actividades laborales que por su especificidad puedan haber generado en el estudiante competencias



relacionadas con la especialidad, en cuyo caso serán acreditadas adaptando el sentido de los puntos anteriores.

**4.6.2. Nivel académico:** Se tendrá en cuenta que los estudios, trabajos y/o actividades se hayan realizado en instituciones reconocidas y que hayan sido certificados por la autoridad correspondiente.

**4.6.3. Vigencia temática y bibliográfica:**

Responde a la actualización y calidad del abordaje de la temática. La calidad implica profundidad y complejidad de las actividades.

**4.7. Certificación**

La acreditación se hará constar en un acta firmada por los miembros del tribunal y deberá ser visada por el Secretario Académico de la Facultad Regional. El original deberá labrarse en libro foliado. El duplicado se remitirá a Rectorado para su archivo.

**4.8. Acreditación total**

No se podrán acreditar asignaturas en forma parcial. En el caso de asignaturas electivas, se tendrá en cuenta la cantidad de horas a acreditar.

**4.9. Alcance**

Como máximo se podrá dar por aprobado por este régimen el TREINTA por ciento (30%) de las asignaturas que conforman la carrera de grado. La suma de asignaturas que se den por aprobadas mediante el régimen de equivalencias y/o acreditación indicados en los **Capítulos 3 y 4** respectivamente, no puede superar el SETENTA por ciento (70%) de la carrera de grado.

**4.10. Excepción**

El estudiante o graduado de la Universidad Tecnológica Nacional queda exceptuado de lo dispuesto en el **inciso 4.9.**, en cuanto al total de las asignaturas aprobadas por equivalencias y por acreditación.

  
17



## CAPITULO 5: INSCRIPCION

### 5.1. Inscripción de estudiante ingresante a primer nivel

Todo estudiante que haya cumplido con las condiciones establecidas en el **Capítulo 2**, estará en condiciones reglamentarias de inscribirse en la totalidad de las asignaturas del primer nivel de la especialidad elegida.

### 5.2. Inscripción por asignaturas

El estudiante deberá inscribirse expresamente en la asignatura que desea cursar y respetar las siguientes normas:

#### 5.2.1. Prerrequisitos:

Haber cumplido con la normativa vigente (requisitos exigidos y régimen de correlatividades) al momento de la inscripción.

#### 5.2.2. Elección de comisión:

Cuando exista más de un curso de la misma asignatura, podrá inscribirse en el que prefiera mientras haya vacantes y/o se cumplan las condiciones que determinen los respectivos Consejos Directivos. Al estudiante que acredite desempeño laboral se le otorgará la inscripción en el horario que prefiera dentro de la oferta de la Facultad.

#### 5.2.3. Periodo de inscripción:

El período de inscripción por asignatura finalizará antes del inicio del desarrollo de la misma y no se admitirán inscripciones condicionales con excepción de las previstas en el **inciso 2.4.2.3.**

### 5.3. Excepciones

Las únicas excepciones a las normas establecidas en el artículo anterior serán las siguientes:

#### 5.3.1. Excepción prerrequisito:

Cuando al estudiante le faltare para terminar su carrera un número de asignaturas cuya carga horaria no supere al equivalente del último nivel, no se aplicarán las normas del **inciso 5.2.1.**; dichas normas no lo eximen de respetar el Régimen de Correlatividades para rendir la evaluación final de las asignaturas cursadas en estas condiciones. En el



caso de que la carrera tenga en su último nivel un cuatrimestre, se tomará lo anterior o hasta TREINTA (30) horas según resulte el número mayor.

### **5.3.2. Recursado:**

Cuando el estudiante decida recurrar una asignatura con cursado aprobado seguirá el siguiente procedimiento:

**5.3.2.1. Solicitud:** Todo estudiante que entienda que es conveniente recurrar asignatura/s de la carrera, sin agotar las instancias reglamentarias establecidas en el **inciso 8.2.6.**, podrá solicitarlo mediante nota fundada dirigida al Director de la carrera o del Departamento de Materias Básicas de la Facultad Regional, según corresponda.

**5.3.2.2. Autorización:** El Director de la carrera de especialidad o del Departamento de Materias Básicas según corresponda, previo análisis de la solicitud, podrá autorizar el recursado de la asignatura y dicha autorización deberá ser incorporada al legajo del estudiante.

**5.3.2.3. Otras asignaturas:** La reinscripción se realizará en la misma asignatura cursada o su equivalente en el plan de estudios vigente, sin que ello signifique la pérdida de inscripción y/o del cursado de otras asignaturas correlativas.

**5.3.2.4. Recepción de presentaciones:** Cada Facultad Regional, a través de su Consejo Directivo, establecerá el proceso administrativo a seguir y la fecha límite para la recepción de las presentaciones.

### **5.3.3. Cambio de plan de estudios:**

Cuando se produzca un cambio de los planes de estudio y un estudiante regular se vea obligado a adoptar el nuevo plan, los Consejos Directivos podrán disponer excepciones transitorias a lo dispuesto en el **inciso 5.2.1.**, a los efectos de evitarle una prolongación imprevista de su carrera. El estudiante podrá ampararse en esta excepción en el momento en que cambie fehacientemente de plan.

### **5.3.4. Ingreso por equivalencias, acreditación o cambio de carrera:**

Cuando el estudiante ingrese por equivalencia a la Universidad Tecnológica Nacional, o solicite cambio de especialidad, podrá acogerse a las excepciones previstas en el **inciso 5.2.1.** Esto se podrá aplicar durante el ciclo lectivo en que se produzca el ingreso por equivalencia o cambio de especialidad.





## **CAPITULO 6: REGIMEN LECTIVO**

### **6.1. Calendario Académico**

Los Consejos Directivos deberán elevar anualmente, antes del 30 de noviembre, el calendario académico del año lectivo siguiente para toma de conocimiento del Consejo Superior. Dicho calendario deberá confeccionarse sobre las siguientes bases:

#### **6.1.1. Semanas de clases:**

Un período de clases que asegure como mínimo el desarrollo efectivo de TREINTA Y DOS (32) semanas divididas en DOS (2) semestres.

#### **6.1.2. Llamados a exámenes finales:**

Tener DIEZ (10) llamados por asignaturas a evaluaciones finales por ciclo lectivo.

### **6.2. Mesas especiales**

Podrán constituirse tribunales especiales de evaluación a solicitud del estudiante que, habiendo terminado de cursar la totalidad de la carrera (a excepción del proyecto final, que puede adeudarse), se encuentre en condiciones reglamentarias para rendir. La formación de tribunales especiales de evaluación, fuera de los turnos de evaluaciones generales, será determinada por el Decano de cada Facultad Regional en fecha y horario que no perturben el normal desarrollo de las actividades docentes, efectuando la comunicación a los interesados con una antelación no menor a SIETE (7) días corridos. Podrá inscribirse a esas fechas especiales de evaluación, pero no solicitarlas, el estudiante que se encuentre en condiciones reglamentarias para rendirlas.

### **6.3. Horario lectivo**

Los Consejos Directivos fijarán el horario lectivo de sus respectivas Facultades Regionales, de acuerdo con las características de su zona y sus propias necesidades académicas, respetando las siguientes normas:

#### **6.3.1. Mismo turno:**

Las Facultades Regionales deberán arbitrar horarios durante el ciclo lectivo que posibiliten el cursado de todas las asignaturas del mismo nivel en un mismo turno.



**6.3.2. Horarios para trabajadores:** Todas las Facultades Regionales deben tener un horario de funcionamiento, de manera tal que las personas que trabajen y quieran estudiar en la Universidad Tecnológica Nacional puedan hacerlo. El mismo debe ser establecido por el Consejo Directivo de la Facultad Regional, teniendo en cuenta las características laborales y particulares de la región.

#### **6.4. Publicidad**

El calendario académico, los horarios lectivos, los programas analíticos y las demás normas que se dicten para organizar la actividad académica, deberán darse a publicidad y difundirse ampliamente entre docentes y estudiantes inmediatamente después de aprobados.





## CAPÍTULO 7. RÉGIMEN DE CURSADO Y APROBACIÓN

### 7.1. Régimen de cursado

#### 7.1.1. Asistencia a clase:

**7.1.1.1. Inasistencias:** La inasistencia a más del VEINTICINCO por ciento (25%) de las clases establecidas para una asignatura en el diseño curricular, traerá aparejada la caducidad de la inscripción. La caducidad de la inscripción en una asignatura no perjudicará la inscripción en las demás.

**7.1.1.2. Excepciones:** El Secretario Académico de la Facultad Regional podrá, con carácter excepcional, aumentar el porcentaje de inasistencias previsto en el punto anterior, hasta un máximo de CUARENTA por ciento (40%) de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- a) Solicitud expresa del estudiante.
- b) Fundamentación de la excepcionalidad solicitada.
- c) Información por escrito del docente a cargo del curso en donde se produzcan las ausencias con relación a las actividades del estudiante, que permita valorizar su actuación académica.
- d) En casos que excedan el porcentaje estipulado en el **inciso 7.1.1.2.**, el Consejo Directivo, a solicitud del estudiante, podrá ampliar el margen de inasistencia mediante idéntico procedimiento al establecido en el inciso **7.1.1.2.**

#### 7.1.2. Cursado:

El cursado será obligatorio para todas las asignaturas, debiéndose cumplimentar dentro del ciclo lectivo. El cursado no tendrá vencimiento; solo caducará si se cumple la condición del **punto 8.2.6.**

### 7.2. Régimen de aprobación

#### 7.2.1. Aprobación Directa:

Todas las cátedras deberán establecer las condiciones de aprobación directa basada en un régimen de evaluación continua. Cuando el estudiante reúna las condiciones de aprobación directa, no serán exigidas las asignaturas correlativas para



especificadas en el plan de estudios. Son condiciones de aprobación directa las siguientes:

- Cumplir con los prerrequisitos de inscripción a la materia según diseño curricular.
- Asistir a clase.
- Cumplir con las actividades de formación práctica.
- Aprobar las instancias de evaluación.
- El estudiante que no apruebe alguna de las instancias de evaluación, tendrá al menos una instancia de recuperación, lo cual deberá consignarse en la planificación de cátedra.
- La calificación se expresará en número entero y en caso de promedios con decimales se redondeará al valor más próximo. La nota promedio de las instancias de evaluación aprobadas así obtenida será la calificación definitiva de aprobación directa.

#### **7.2.2. Aprobación no directa - Examen final:**

El estudiante que habiendo demostrado niveles mínimos y básicos de aprendizaje no alcance los objetivos de aprobación directa, estará habilitado a rendir evaluación final.

El estudiante que se inscriba a examen final en un plazo no mayor a un (1) ciclo lectivo siguiente al de cursado, no le serán exigidas las asignaturas correlativas para rendir especificadas en el plan de estudios.

#### **7.2.3. No aprobación:**

El estudiante que no haya demostrado niveles mínimos y básicos de aprendizaje, deberá re-cursar la asignatura

#### **7.3. Evaluaciones libres**

Sólo se podrá rendir examen final libre en las asignaturas que cuenten con aprobación del Consejo Superior.

#### **7.4. Condición de estudiante regular**

Para mantener la condición de estudiante regular se deberán aprobar como mínimo DOS (2) asignaturas del plan de estudios por ciclo lectivo, no computándose el año lectivo de ingreso en la Universidad.





**7.4.1. Estudiante no regular:**

El estudiante que no cumpla con lo dispuesto en el punto anterior pasará a la condición de estudiante **NO REGULAR**.

**7.4.2. Restitución automática:**

El estudiante retornará a la condición de estudiante **REGULAR** en forma automática cuando apruebe DOS (2) asignaturas dentro de un ciclo lectivo.

**7.4.3. Inscripción de estudiante no regular:**

El estudiante no regular podrá, en los periodos de inscripción de asignaturas para cursar, inscribirse como mínimo en UNA (1) asignatura.

**7.4.4. Restitución por Consejo Directivo:**

Habilitar a los Consejos Directivos, a solicitud del estudiante, a restituir la condición de estudiante **REGULAR**, únicamente en caso absolutamente justificado y al solo efecto de resolver cuestiones de carácter socioeconómico que deberán quedar fundamentadas en la resolución del Consejo Directivo.

Esta habilitación no tiene efecto académico, por lo que el estudiante a los fines de su inscripción debe ser considerado estudiante **NO REGULAR**, tal cual lo especificado en el **inciso 7.4.3.**

**7.5. Licencia especial**

El estudiante podrá solicitar licencia especial en los términos que establezca la reglamentación específica, cuando hubieren razones extraordinarias y debidamente justificadas que le impidan continuar normalmente con sus actividades académicas.

Entiéndase por licencia especial a la suspensión voluntaria por parte del estudiante de toda actividad académica por un período de tiempo determinado.



## CAPÍTULO 8. RÉGIMEN DE EVALUACIÓN

### 8.1. Norma General

Cada Facultad Regional establecerá los sistemas y métodos de evaluación que considere más adecuados, sujetos a las normas de este Reglamento, y dará adecuada publicidad a los mismos, con fechas de evaluación y recuperación de las evaluaciones. Los Consejos Departamentales deberán evaluar y aprobar la planificación y los modos de evaluación que eleven los responsables de cátedra, antes del inicio de las actividades académicas de la cátedra, correspondientes a cada ciclo lectivo, verificando que estén en concordancia con lo dispuesto en este Reglamento.

Cada cátedra dará a conocer a los estudiantes inscriptos el primer día de clase la planificación de la asignatura, la que constará como mínimo de:

- Objetivos a alcanzar por el estudiante.
- Programa analítico y bibliografía.
- Estrategias a desarrollar en el proceso enseñanza-aprendizaje, incluyendo las instancias de evaluación.
- Plan de integración con otras asignaturas (horizontal y vertical).
- Cronograma de las actividades.
- Días, horarios y modalidad de consulta.

### 8.2. Evaluaciones por examen final

#### 8.2.1. Programa de la evaluación:

El programa sobre el cual versará la instancia de evaluación final será el programa analítico completo de la asignatura, aprobado por el Consejo Directivo y vigente al momento de rendir.

#### 8.2.2. Examinadores:

La evaluación final será tomada por tribunales examinadores constituidos como mínimo por TRES (3) profesores, preferentemente del área de conocimiento del respectivo Departamento, y en el que se designará un presidente. La responsabilidad sobre la confección del acta corresponderá al presidente del tribunal. La decisión respecto de la calificación se adoptará por simple mayoría. En los casos en los cuales no sea posible reunir en un mismo ámbito físico al tribunal examinador y/o al estudiante, las Facultades

  
25



Regionales, con acuerdo de su Consejo Directivo, podrán recurrir al uso de las tecnologías de la información y la comunicación para llevar a cabo la evaluación.

### 8.2.3. Calificación:

El resultado de la evaluación del estudiante estará expresado en números enteros dentro de la escala del UNO (1) al DIEZ (10). Para la aprobación de la asignatura se requerirá como mínimo SEIS (6) puntos. A los efectos que hubiere lugar, la calificación numérica precedente tendrá la siguiente equivalencia conceptual:

**1/5 = Insuficiente    6 = Aprobado    7 = Bueno**  
**8 = Muy Bueno    9 = Distinguido    10 = Sobresaliente**

### 8.2.4. Actas:

El resultado de la evaluación se hará constar en acta firmada por DOS (2) vocales y el presidente de la mesa examinadora y visada por el Secretario Académico de la Facultad Regional, o por la persona de nivel jerárquico que por resolución específica disponga el Decano. El original deberá labrarse en acta foliada. El duplicado se remitirá a Rectorado para su archivo.

### 8.2.5. Publicidad:

A los efectos de que el estudiante tenga permanente y actualizado conocimiento de los requisitos para poder rendir examen y de las correlatividades de cada asignatura, las Facultades Regionales le darán adecuada publicidad en todo su ámbito.

### 8.2.6. Repetición de evaluaciones:

El estudiante que obtenga una calificación **INSUFICIENTE** en CUATRO (4) evaluaciones finales de una misma asignatura, deberá recursarla, sin que ello signifique la pérdida de inscripción en otras asignaturas cursadas.

### 8.2.7. Excepción última asignatura:

Se exceptúa del cumplimiento del **inciso 8.2.6.** cuando se trate de la última asignatura del plan de estudios.

### 8.2.8. Resguardo de exámenes:

Los Departamentos de Enseñanza deberán guardar los exámenes por SEIS (6) meses. El estudiante tendrá derecho a solicitar una copia de su examen y, eventualmente, pedir



la revisión del mismo dentro de los DIEZ (10) días hábiles contados desde la fecha de la evaluación.

## **CAPÍTULO 9: CERTIFICADOS Y DIPLOMAS**

### **9.1. Constancia de asignaturas aprobadas**

Las Facultades Regionales deberán otorgar a solicitud del estudiante y en cualquier estado de la carrera, constancias de las materias cursadas y/o aprobadas.

Las mismas se extenderán sobre un formulario uniforme, de acuerdo con las características dispuestas por el Rectorado, que llevará la firma del Decano, el que la podrá delegar mediante resolución en un funcionario responsable. Cuando además se solicite su legalización por parte de la Universidad, llevará también la firma del Rector o del personal jerárquico previamente autorizado por él, cuya firma esté registrada en el Ministerio de Educación y Deportes. La constancia deberá contener, como mínimo, los siguientes datos:

- Apellido, nombre completo y datos de identidad del estudiante.
- Carrera y plan de estudios correspondiente.
- Asignaturas cursadas, ordenadas por nivel, según plan de estudios.
- Año lectivo en el que fueron cursadas las asignaturas.
- Fecha de aprobación de cada asignatura.
- Calificaciones obtenidas (en números y letras).

### **9.2. Certificado final de estudios**

El certificado final de estudios que servirá de base para el otorgamiento del respectivo diploma, deberá tener la autorización del Consejo Superior, quien actuará previo dictamen favorable por parte del Consejo Directivo. Sin estos requisitos no se deberá entregar ningún certificado que lleve la constancia de haber concluido la carrera, completado el plan de estudios, o no adeudar la aprobación de alguna asignatura. En las Facultades Regionales llevará la firma del Decano y del Secretario Académico.

### **9.3. Constancias de trámites**

Se podrán otorgar constancias que acrediten que se halla en trámite el certificado final de estudio oportunamente citado.



#### 9.4. Diplomas

La Universidad otorgará al estudiante que apruebe la totalidad de las asignaturas del plan de estudios de una determinada carrera, un diploma en el que conste el título profesional establecido en el respectivo plan.

El Diploma tendrá un diseño uniforme confeccionado por Rectorado, y será firmado por el Rector, el Decano, los respectivos Secretarios Académicos y el graduado. Constarán en él, como mínimo, los siguientes datos:

- Apellido y nombre completo del graduado.
- Lugar (ciudad y provincia) y fecha de nacimiento.
- Fecha de egreso (último examen aprobado).
- Nombre de la carrera cursada.
- Título que se otorga, de acuerdo con la carrera cursada (aunque ésta haya sido suprimida al momento del otorgamiento del diploma).
- Fecha de otorgamiento de diploma.
- Documento Nacional de Identidad – DNI.

Los datos anteriores se expresarán mediante la siguiente fórmula: *"Por cuanto: (nombre del graduado), DNI, nacido el (fecha de nacimiento), en (ciudad, provincia), ha completado el plan de estudios correspondiente a la carrera (nombre de la carrera y fecha de egreso).*

*De conformidad con las disposiciones legales y estatutarias vigentes, se le otorga el título de....."*

##### 9.4.1. Procedimiento:

El otorgamiento de diplomas profesionales se tramitará de acuerdo con las siguientes normas:

- El egresado deberá solicitar expresamente el otorgamiento del diploma ante la Facultad Regional en la que terminó sus estudios.
- La Facultad Regional formará un expediente con cada solicitud, preparará el certificado final de estudios según las disposiciones del **inciso 9.2.** que llevará la firma del Secretario Académico, y lo elevará a Rectorado.
- Rectorado controlará dicho certificado, según lo expresado en tales incisos, y lo elevará al Consejo Superior quien por resolución expresa autorizará al Rector y al Decano a otorgar el título y a expedir el diploma y certificado final de estudios correspondiente.



- Cumplidos los trámites anteriores, Rectorado confeccionará el diploma y el certificado final de estudios y lo registrará y lo enviará a la Facultad Regional, debidamente firmado por el Rector y el Secretario Académico de la Universidad y debidamente legalizado por el Ministerio de Educación y Deportes. En la Facultad Regional el diploma será a su vez registrado y firmado por el Decano, el Secretario Académico y el graduado, luego de lo cual será entregado a este último, dejándose constancia escrita y firmada de ello en un libro de actas.

#### **9.4.2. Duplicados:**

Los duplicados de diplomas y del certificado final de estudios se otorgarán exclusivamente en los siguientes casos:

- Cuando el graduado presente el diploma original y/o certificado final de estudios parcialmente destruido o inutilizado por cualquier causa, el duplicado se otorgará mediante el procedimiento establecido en el **inciso 9.4.1**. El original quedará en poder de la Universidad.
- Cuando el graduado invoque extravío o sustracción del original, deberá acompañar una copia legalizada de la denuncia policial respectiva y se procederá de idéntica forma que en el inciso anterior.

**9.4.2.1.** Ante los casos mencionados, la Facultad Regional deberá elaborar un sumario, de acuerdo con las instrucciones que en cada caso imparta la Asesoría Jurídica de la Universidad, a los efectos de lo cual seguirá el procedimiento establecido en el artículo 9.4.1.

**9.4.2.2.** En todos los casos, el nuevo diploma que se expida conservará la numeración del registro correspondiente al original y consignará claramente su carácter de "**Duplicado**".

**9.4.2.3.** Al dorso del diploma se dejará constancia de la resolución que ordena su otorgamiento y la anulación del original cuando corresponda, con mención de la causa que la motiva.

**9.4.2.4.** En todos los casos el nuevo certificado final de estudios que se expida consignará claramente su carácter de duplicado.



## CAPITULO 10. DEFINICIONES

**Actividades de proyecto y diseño:** Actividades que, empleando ciencias básicas y de la ingeniería, llevan al desarrollo de un sistema, componente o proceso que satisface una determinada necesidad y optimiza el uso de los recursos disponibles.

**Aprobación:** La aprobación se realiza por asignatura e implica haber alcanzado los objetivos de la misma.

**Aspirante:** Persona que manifiesta interés en ingresar a la Universidad Tecnológica Nacional como estudiante, y que no fue estudiante anteriormente de esta misma institución.

**Ciclo lectivo:** Período que abarca desde el inicio del dictado de clases del año hasta el último llamado del turno de evaluaciones finales (febrero-marzo) del año siguiente.

**Competencia:** Capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales.

**Consulta:** Acción y efecto de consultar; donde el estudiante evacua sus dudas, solicita ampliación y aclaración de conceptos, etc., luego del estudio previo de su parte (no es una nueva clase).

**Cursado:** Cuando el estudiante alcanza los objetivos mínimos de la cátedra, lo que lo habilita a rendir un examen final.

**Egresado:** Estudiante que completó la totalidad de las asignaturas y requisitos reglamentarios de la carrera a la que pertenece.

**Estudiante activo:** Estudiante que, en un ciclo lectivo, aprueba, o cursa, o se presenta a rendir examen final, o asiste regularmente a clases al menos en una asignatura.

**Estudiante pasivo:** Quien no cumple la condición de estudiante activo.

**Estudiante Regular:** Estudiante que, en un ciclo lectivo, aprueba dos o más asignaturas o es nuevo inscripto.

**Formación experimental:** Actividades experimentales vinculadas con el estudio de las ciencias básicas así como tecnologías básicas y aplicadas. Incluye trabajo en laboratorio y/o campo que permita desarrollar habilidades prácticas en la operación de equipos, diseño de experimentos, toma de muestras y análisis de resultados.

**Formación práctica:** Actividades de formación que comprenden los siguientes grupos: formación experimental, resolución de problemas de ingeniería, proyecto y diseño, y práctica supervisada. No se incluye en estas actividades, la resolución de problemas tipo

o rutinarios de las materias de ciencias básicas y tecnologías.

**Graduado:** Egresado que por Resolución de Consejo Superior obtiene la expedición del diploma.

**Nuevo inscripto:** Aspirante a ingreso que habiendo cumplido con los requisitos de ingreso establecidos por la Universidad es admitido como estudiante en una determinada carrera.

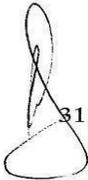
**Práctica supervisada:** Práctica profesional en sectores productivos y/o de servicios, o bien en proyectos concretos, desarrollados por la institución para estos sectores o en cooperación con ellos.

**Recursado:** Cuando el estudiante repite el cursado de una asignatura por segunda o más veces.

**Re-inscripto:** Estudiante que se reinscribe para cursar alguna asignatura en la misma carrera, en un año académico posterior y el que no cursa ninguna asignatura pero se inscriben a rendir algún examen final, se presente o no.

**Resolución de problemas de ingeniería:** Desarrollo de competencias necesarias para la identificación y solución de problemas abiertos de ingeniería. Se define como problema abierto de ingeniería, aquellas situaciones reales o hipotéticas cuya solución requiera la aplicación de los conocimientos de las ciencias básicas y de las tecnologías.

-----

  
31

## Horarios suministrados por el personal administrativo de la UTN FRCU

1º AÑO INGENIERÍA CIVIL - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES
14:00 a 14:45									
14:45 a 15:30		QUÍMICA GRAL "B" <i>OLIVER- AVANCINI</i> (15:00hs)							
15:45 a 16:30		"	SISTEMAS DE REP. <i>CANAVESSI- HARISPE</i>		QUIMICA GRAL "B" <i>OLIVER- AVANCINI</i>			QUIMICA GRAL "B" <i>OLIVER- AVANCINI</i>	
16:30 a 17:15		"	"	FÍSICA I "A" <i>HAUDEMAND - GIANERA</i>	"	ANÁLISIS MAT. I "A" <i>PINTOS-NAVAS</i>	ÁLGEBRA y G.A. "A" <i>CARENA - STEREN</i>	"	
17:30 a 18:15		"	"	"	"	"	"	"	
18:15 a 19:00	ANÁLISIS MAT. I "A" <i>PINTOS-NAVAS</i>	FÍSICA I "A" <i>HAUDEM AND - GIANERA</i>		INGENIERIA Y SOCIEDAD <i>MARCO- FOLLIN</i>	"			FÍSICA I "A" <i>HAUDEMAND- GIANERA</i>	
19:00 a 19:45	"	"		"			ANÁLISIS MATEMÁTICO I "A" <i>PINTOS-NAVAS</i>	"	
19:45 a 20:30	"	"	ALGEBRA Y G.A. "D" <i>AGUIAR</i>	"		ALGEBRA Y G.A. "D" <i>AGUIAR</i>	"	"	
20:45 a 21:30	ALGEBRA Y G.A. "A" <i>CARENA- STEREN</i>		"	"		"	"	"	
21:30 a 22:15	"	"		INGENIERIA CIVIL I <i>POCO - BLANC</i>	ALGEBRA Y G.A. "A" <i>CARENA - STEREN</i>	"	"	"	
22:30 a 23:15	"	"	"	"	"	"			
23:15 a 24:00	"	"	"	"	"	"			

**2º AÑO INGENIERÍA CIVIL- 1º CUATRIMESTRE 2019**

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES		
15:45 a 16:30		ANÁLISIS MATEMÁTICO II "A" PONCE - ROMERO					
16:30 a 17:15		"		PROB. Y ESTAD. "A" ALBERT - MICHEL			
17:30 a 18:15		"	PROB. Y ESTAD. "A" ARLBERT - MICHEL	"			
18:15 a 19:00	ESTABILIDAD MARTIN - TOMMASI	"	"	FÍSICA II "A" BRÜHL -PITTER			
19:00 a 19:45	"	INGENIERIA CIVIL II TORRAN - SANTTONI	"	"	ESTABILIDAD MARTIN -TOMMASI	FÍSICA II "A" BRÜHL -PITTER	TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES RETAMAL- SCHIERLOH - GONZALEZ
19:45 a 20:30	"	"	"	"	"	"	"
20:45 a 21:30	"	"	ANÁLISIS MAT. II "A" PONCE - ROMERO	"	"	"	"
21:30 a 22:15	"	"	"	"	"	"	"
22:30 a 23:15	ANÁLISIS MATEMÁTICO II "A" PONCE - ROMERO	FÍSICA II "A" BRÜHL - PITTER	"	"	"		
23:15 a 24:00	"	"	"				

3º AÑO INGENIERÍA CIVIL - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
16:30 a 17:15	TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN TORRAN - SAINTE MARIE				
17:30 a 18:15	"				
18:15 a 19:00	"	RESISTENCIA DE MATERIALES MARTINEZ- CALVO- MARTIN		TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN TORRAN- SAINTE MARIE	RESISTENCIA DE MATERIALES MARTINEZ - CALVO
19:00 a 19:45	HIDRAULICA GRAL. Y APLICADA ZABALETT - TURIN	"		"	"
19:45 a 20:30	"	"		"	"
20:45 a 21:30	"	"	HIDRÁULICA GRAL. Y APLICADA ZABALETT - TURIN	TECNOLOGIA DEL HORMIGÓN RETAMAL- SCHIERLOH- GONZALEZ	"
21:30 a 22:15	"	HIDRAULICA GRAL. Y APLICADA ZABALETT - TURIN	"	"	
22:30 a 23:15		"	"	"	
23:15 a 24:00		"		"	

**4º AÑO INGENIERÍA CIVIL - 1º CUATRIMESTRE 2019**

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
14:45 a 15:30			<b>DISEÑO ARQ. PLAN. Y URBANISMO</b> <i>ACUÑA- MARCO- SERSEWITZ</i>		<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL I</b> <i>CALVO- RAMOS</i>
15:45 a 16:30			"		"
16:30 a 17:15			"		"
17:30 a 18:15		<b>ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN</b> <i>PAIRONE - PENON</i>	"	<b>ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN</b> <i>PAIRONE - PENON</i>	"
18:15 a 19:00		"	"	"	<b>INSTALACIONES SANITARIAS Y DE GAS</b> <i>RAFFO- MARDON- HERLEIN</i>
19:00 a 19:45	<b>INSTALACIONES SANITARIAS Y DE GAS</b> <i>RAFFO- MARDON- HERLEIN</i>	"		"	"
19:45 a 20:30	"	"		"	"
20:45 a 21:30	"	"		"	
21:30 a 22:15	<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL I</b> <i>CALVO- RAMOS</i>	<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL I</b> <i>CALVO- RAMOS</i>			
22:30 a 23:15	"	"			
23:15 a 24:00	"	"			

5º AÑO INGENIERÍA CIVIL - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
14:45 a 15:30		VIAS DE COMUNICACION I BELVISI- HERLEIN- BURGOS		VIAS DE COMUNICACION I BELVISI- HERLEIN- BURGOS	
14:45 a 16:30		"		"	
16:30 a 17:15	CIMENTACIONES CUFFRE - HERLAX	"	CIMENTACIONES CUFFRE - HERLAX	"	
17:30 a 18:15	"	"	"	"	
18:15 a 19:00	"	"	"	"	
19:00 a 19:45		ORG. Y CONDOC. DE OBRAS RAZETTO - ALMEIDA	AMBIENTAL PEREZ - RAFFO	ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD ORBE - RETAMAR	PREFABRICACION CANAVESSI - CHICHI
19:45 a 20:30		"	"	"	"
20:45 a 21:30		"	"	"	ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD ORBE - RETAMAR
21:30 a 22:15		"	"		"
22:30 a 23:15		"			"
23:15 a 24:00					

6° AÑO INGENIERÍA CIVIL - 1° CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
08:00 a 12:30						OBRAS FLUVIALES Y MARÍTIMAS CARDINI - MARTÍN (08:15hs) SEGÚN CRONOGRAMA
15:45 a 16:30		CONST. METÁLICAS Y DE MADERA PITER - SOSA ZITTO A		CONST. METÁLICAS Y DE MADERA PITER - SOSA ZITTO A		
16:30 a 17:15		"		"		
17:30 a 18:15		"	OBRAS FLUVIALES Y MARÍTIMAS CARDINI - ZABALETT	"		
18:15 a 19:00		"	"	INGENIERIA SANITARIA LESCANO - TORRES	OBRAS FLUVIALES Y MARÍTIMAS CARDINI - ZABALETT SEGÚN CRONOGRAMA	
19:00 a 19:45		INGENIERIA SANITARIA LESCANO - TORRES	"	"	"	
19:45 a 20:30		"	PUENTES TOMMASI- BERMUDEZ	"	"	
20:45 a 21:30		"	"		"	
21:30 a 22:15	PUENTES TOMMASI- BERMUDEZ			PROYECTO FINAL PAIRONE - MARDON	"	
22:30 a 23:15	"			"	"	
23:15 a 24:00	"			"		

1º AÑO INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES	
15:45 a 16:30										
16:30 a 17:15							ALGEBRA y GEOMETRÍA. A. "A" CARENA - STEREN			
17:30 a 18:15	QUÍMICA "A" GARCIA - AZARIO				QUÍMICA "A" GARCIA - AZARIO		"			
18:15 a 19:00	"		MATEMÁTICA DISCRETA CASANOVA P. - ROMERO-		"		"		SISTEMAS Y ORGANIZACIONES NIGRO - CRISTALDO- (18:00hs)	
19:00 a 19:45	"		"		"		MATEMATICA DISCRETA ROMERO- CASANOVA -		"	
19:45 a 20:30		ALGEBRA y GEOMETRÍA. A."D" AGUIAR	"			ALGEBRA y GEOMETRÍA. A."D" AGUIAR	"		"	
20:45 a 21:30	ALGEBRA y GEOMETRÍA. A."A" CARENA - STEREN	"				"	"			
21:30 a 22:15	"	"			ALGEBRA y GEOMETRÍA. A. "A" CARENA - STEREN	"				
22:30 a 23:15	"	"			"	"				
23:15 a 24:00	"	"			"	"				

2º AÑO INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
16:30 a 17:15		FÍSICA I "A" HAUDEMAND - GIANERA		ANÁLISIS MATEMÁTICO II (ANUAL) PONCE - SUAREZ	
17:30 a 18:15		"		"	
18:15 a 19:00	FÍSICA I "A" HAUDEMAND - GIANERA	"	ANÁLISIS MATEMÁTICO II (ANUAL) PONCE - SUAREZ	FÍSICA I "A" HAUDEMAND - GIANERA	
19:00 a 19:45	"	ANÁLISIS DE SISTEMAS ANSORENA- TOURNOUR- BONNIN	"	"	
19:45 a 20:30	"	"	"	"	
20:45 a 21:30	SINTAXIS Y SEMÁNTICA DE LENGUAJES PASCAL - ALVAREZ	"	SINTAXIS Y SEMÁNTICA DE LENGUAJES PASCAL - ALVAREZ	"	
21:30 a 22:15	"	"	"		
22:30 a 23:15	"	"	"		
23:15 a 24:00	"	"	"		

**3º AÑO INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACION - 1º CUATRIMESTRE 2019**

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
15:45 a 16:30		ECONOMÍA SOLANAS - TERRANOVA			
16:30 a 17:15		"	ECONOMIA SOLANAS - TERRANOVA		
17:30 a 18:15		"	"		
18:15 a 19:00	DISEÑO DE SISTEMAS TOURNOUR- SUAREZ- NUÑEZ		"	FÍSICA II "A" BRÜHL - PITTEr- DRI	
19:00 a 19:45	"	MATEMÁTICA SUPERIOR FAURE - QUIROGA	GESTIÓN DE DATOS ZABALEGUI - RAMOS	"	FÍSICA II "A" BRÜHL - PITTEr- DRI
19:45 a 20:30	"	"	"	"	"
20:45 a 21:30	GESTION DE DATOS ZABALEGUI - RAMOS	"	"	"	"
21:30 a 22:15	"	"	"	DISEÑO DE SIST. TOURNOUR- SUAREZ- NUÑEZ	"
22:30 a 23:15	"	FÍSICA II "A" BRÜHL - PITTEr- DRI		"	
23:15 a 24:00	"	"		"	

**4º AÑO INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN - 1º CUATRIMESTRE 2019**

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
8:15 a 12:00						ADM. DE RECURSOS Según cronograma
17:30 a 18:15		HAB. PROFESIONAL RETAMAR - KLOSTER			ADM. DE RECURSOS DE BATTISTA	
18:15 a 19:00	INVESTIGACIÓN OPERATIVA LAURITTO - CASANOVA	"	INVESTIGACIÓN OPERATIVA LAURITTO - CASANOVA	ADM. DE RECURSOS DE BATTISTA	"	
19:00 a 19:45	"	"	"	"	"	
19:45 a 20:30	"	"	SIMULACIÓN HOET - BONNIN	"	SIMULACIÓN HOET - BONNIN	
20:45 a 21:30	REDES DE INFORMACION RAPALLINI - LEDESMA	REDES DE INFORMACION RAPALLINI LEDESMA	"	LEGISLACIÓN DELORENZI	"	
21:30 a 22:15	"	"	"	"	"	
22:30 a 23:15	"	"	"	"		
23:15 a 24:00	"	"	"	"		

**5º AÑO INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN - 1º CUATRIMESTRE 2019**

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES		SABADO
8:00 a 12:30							SEGURIDAD EN SIST. DE INF.
							TECNOLOGÍA PARA LA EXPLOTACIÓN DE DATOS
18:15 a 19:00	RELACIONES HUMANAS LEPRATTE - JUMILLA	PROYECTO RODRÍGUEZ P.- DARTUQUI- NADAL		RELACIONES HUMANAS LEPRATTE - JUMILLA			
19:00 a 19:45	"	"	CONSOLIDACIÓN DE TECNOL. DE LA INFORMACIÓN ARELLANO	"	TECNOLOGIA PARA LA EXPLOTACIÓN DE DATOS PYTEL- BOUCHET		
19:45 a 20:30	SISTEMA DE GESTIÓN CRISTALDO - KLOSTER	"	"	"	"		
20:45 a 21:30	"	SISTEMA DE GESTIÓN CRISTALDO - KLOSTER	"	PROYECTO RODRÍGUEZ P.- DARTUQUI- NADAL	"	SEGURIDAD EN SIST DE INF SCATTINI- CHAULET	
21:30 a 22:15	"	"	"	"	"	"	
22:30 a 23:15	"	"	"	"	"	"	
23:15 a 24:00	"		"			"	

1º AÑO INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES				MARTES	MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES
14:00 a 14:45												
14:45 a 15:30				QUÍMICA GRAL. "B" OLIVER- AVANCINI (15:00hs)								
15:45 a 16:30	SISTEMAS DE REP. CANAVESSI - HARISPE			"		QUÍMICA GRAL. "B" OLIVER - AVANCINI			QUÍMICA GRAL. "B" OLIVER- AVANCINI			
16:30 a 17:15	"			"	FÍSICA I "A" HAUDEMAND- GIANERA	"	ANÁLISIS MAT. I "A" PINTOS - NAVAS		"	ALGEBRA Y G.A. "A" CARENA - STEREN	SISTEMAS DE REP. CANAVESSI - HARISPE	
17:30 a 18:15	"			"	"	"	"		"	"	"	"
18:15 a 19:00		FÍSICA I "A" HAUDEMAND- GIANERA	ANÁLISIS MAT. I "A" PINTOS- NAVAS		"				FÍSICA I "A" HAUDEMAND - GIANERA	"	"	"
19:00 a 19:45		"	"			ING ELECTROMEC I BOZZOLO - GRASSO			"	ANÁLISIS MAT. I "A" PINTOS-NAVAS		
19:45 a 20:30		"	"	ALGEBRA Y G.A. "D" AGUIAR		"	ALGEBRA Y G.A. "D" AGUIAR		"	"		
20:45 a 21:30	ALGEBRA Y G.A. "A" CARENA - STEREN			"		"	"		"	"		
21:30 a 22:15		"	"	"		ALGEBRA Y G.A. "A" CARENA - STEREN	"			"		
22:30 a 23:15		"	"	"		"	"					
23:15 a 24:00		"	"	"		"	"					

2º AÑO INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
15:45 a 16:30		<b>ANÁLISIS MAT. II "A"</b> PONCE - ROMERO			
16:30 a 17:15		"		PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA "A" ALBERT - MICHEL	
17:30 a 18:15		"	PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA "A" ALBERT - MICHEL	"	
18:15 a 19:00		"	"	<b>FÍSICA II "A"</b> BRÜHL - PITTEP-DRI	
19:00 a 19:45	<b>ESTABILIDAD</b> WATTERS- GARCIA- LANZA	<b>INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA II</b> BOZZOLO - JONES	"	"	<b>FÍSICA II "A"</b> BRÜHL - PITTEP-DRI
19:45 a 20:30	"	"	"	"	"
20:45 a 21:30	"	"	<b>ANÁLISIS MAT. II "A"</b> PONCE - ROMERO	"	"
21:30 a 22:15		<b>ESTABILIDAD</b> WATTERS- GARCIA - LANZA	"		"
22:30 a 23:15	<b>ANÁLISIS MAT. II "A"</b> PONCE - ROMERO	"	<b>FÍSICA II "A"</b> BRÜHL - PITTEP - DRI	"	
23:15 a 24:00	"	"	"	"	

3º AÑO INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
16:30 a 17:15		MATEMÁTICA PARA ING. ELECT. PEREZ- ALVAREZ			
17:30 a 18:15		"			
18:15 a 19:00	ELECTROTECNIA DE BENEDETTI - BRUTTEN	"	ELECTROTECNIA DE BENEDETTI - BRUTTEN	ING. ELECTROMECC III GAY BALMAZ - BOZZOLO	
19:00 a 19:45	"	TECNOLOGÍA MECÁNICA CHICHI - WATTERS	"	"	TERMODINÁMICA TÉCNICA DIAZ - MARTIN
19:45 a 20:30	"	"	"	"	"
20:45 a 21:30	TECNOLOGÍA MECÁNICA CHICHI - WATTERS	"	MATEMÁTICA PARA ING. ELECT. PEREZ ALVAREZ		"
21:30 a 22:15	"	"	"		"
22:30 a 23:15	"	"	"		
23:15 a 24:00	"	"			

4º AÑO INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
16:30 a 17:15		ELEMENTOS DE MAQUINAS CIMETTA - GARCIA		MAQUINAS ELECTRICAS CHACON - ASIN	MAQUINAS ELÉCTRICAS CHACON - ASIN
17:30 a 18:15		"		"	"
18:15 a 19:00		"		MEDICIONES ELECTRICAS FABRE - ASIN	"
19:00 a 19:45	MAQUINAS TERMICAS ROSSINI - DIAZ - MARTIN	MEC. DE LOS FLUIDOS Y MAQ. FLUIDOD. DIAZ - MARTIN	MAQUINAS TERMICAS ROSSINI - DIAZ - MARTIN	"	MEDICIONES ELÉCTRICAS FABRE - ASIN
19:45 a 20:30	"	"	"	"	"
20:45 a 21:30	"	"	"	"	"
21:30 a 22:15	"			ELEMENTOS DE MAQUINAS CIMETTA - GARCIA	"
22:30 a 23:15	"			"	MEC. DE LOS FLUIDOS Y MAQ. FLUIDOD. DIAZ - MARTIN
23:15 a 24:00	"			"	"

5º AÑO INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA - 1º CUATRIMESTRE 2019

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES		JUEVES	VIERNES
14:00hs a 14:45hs	PROYECTO FINAL PUENTE - DE CARLI					
14:45hs a 15:30hs	"					
15:45hs a 16:30hs	"		INT. AL PROYECTO INST. INDUSTRIALES WOEFRAY - ROTUNDO			
16:30 hs a 17:15 hs	INT. AL PROYECTO INST. INDUSTRIALES WOEFRAY - ROTUNDO		"			
17:30 hs a 18:15 hs	"	REDES DE DISTRIBUCIÓN GOYENECHÉ - FABRE - VOGT	"			
18:15 hs a 19:00 hs	MAQ. DE ELEV. Y TRANSP. CONT. TURIN - REYNOSO	"	"		MAQ. DE ELEV. Y TRANSP. CONT. TURIN - REYNOSO	ELECTRONICA DE POTENCIA VOGT - GRASSI
19:00 hs a 19:45 hs	"	AUT. Y CONTROL INDUSTRIAL VELAZQUEZ - TURIN	AUT. Y CONTROL INDUSTRIAL VELAZQUEZ - TURIN	AMBIENTAL PEREZ - RAFFO	"	"
19:45 hs a 20:30 hs	"	"	"	"	"	"
20:45 hs a 21:30 hs	"	"	"	"	"	"
21:30 hs a 22:15 hs	REDES DE DISTRIBUCIÓN GOYENECHÉ - FABRE	ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL DE CARLI - DUBOIS		"	ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL DE CARLI - DUBOIS	
22:30 hs a 23:15 hs	"	"			"	
23:15 hs a 24:00 hs	"	"			"	

**1º AÑO LICENCIATURA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL - 1º CUATRIMESTRE 2019**

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
14:45 a 15:30				QUÍMICA "B" CORNE- ROMANO	
15:45 a 16:30		QUÍMICA "B" CORNE - ROMANO		"	
16:30 a 17:15		"		"	
17:30 a 18:15	QUÍMICA "A" GARCIA- AZARIO	ÁLGEBRA "A" CARENA- SOSA	"	QUÍMICA "A" GARCIA - AZARIO	ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL I JAIRALA - NAVAS
18:15 a 19:00	"	"	ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL I JAIRALA - NAVAS	"	"
19:00 a 19:45	"	"	"	"	"
19:45 a 20:30		"		ÁLGEBRA "A" CARENA- SOSA	
20:45 a 21:30	INFORMATICA I PONTELLI- RODRIGUEZ			INFORMATICA I PONTELLI- RODRIGUEZ	"
21:30 a 22:15 hs	"		"	"	
22:30 a 23:15	"		"	"	
23:15 a 24:00				"	

**2º AÑO LICENCIATURA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL - 1º CUATRIMESTRE 2019**

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
14:00 a 14:45					DISEÑO ASISTIDO POR PC <i>HARISPE- FELLETTI</i>
14:45 a 15:30					"
15:45 a 16:30					"
16:30 a 17:15				PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA "A" <i>ALBERT - MICHEL</i>	
17:30 a 18:15	INFORMATICA II <i>GANGGE- PIETROBONI (h)</i>		PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA "A" <i>ALBERT - MICHEL</i>	"	ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL II <i>RETAMAR</i>
18:15 a 19:00	"		"	INFORMATICA II <i>GANGGE- PIETROBONI (h)</i>	"
19:00 a 19:45	"	CONOCIMIENTO DE MATERIALES <i>CHARADIA- MARTINO- MOSCATELLI</i>	"	"	"
19:45 a 20:30	"	"	"	CONOCIMIENTO DE MATERIALES <i>CHARADIA- MARTINO- MOSCATELI</i>	"
20:45 a 21:30	ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL II <i>RETAMAR</i>	COSTOS <i>RICHARD - REYNOSO</i>	COSTOS <i>RICHARD - REYNOSO</i>	"	
21:30 a 22:15	"	"	"	"	
22:30 a 23:15		"	"	"	
23:15 a 24:00					

**3º AÑO LICENCIATURA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL - 1º CUATRIMESTRE 2019**

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
16:30 a 17:15	PLANIF. Y CONTROL DE LA PRODUC. <i>PUENTE - CETTOUR</i>				
17:30 a 18:15	"				SIST. Y METODOS ADMINISTRATIVOS <i>REYNOSO - BEL</i>
18:15 a 19:00	"	SIST. Y METODOS ADMINISTRATIVOS <i>REYNOSO - BEL</i>	ECONOMIA DE LA EMPRESA <i>ANGEROSA</i>		"
19:00 a 19:45	"	"	"	LEGISLACIÓN <i>DANIELLI</i>	"
19:45 a 20:30	"	"	"	"	INGENIERIA DE CALIDAD <i>CABEZA - VERONESI</i>
20:45 a 21:30	"		"	"	"
21:30 a 22:15	LEGISLACIÓN <i>DANIELLI</i>	ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL III <i>DIAZ - LOPEZ</i>	"	ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL III <i>DIAZ - LOPEZ</i>	"
22:30 a 23:15	"	"	"	"	"
23:15 a 24:00	"	"		"	"

**4º AÑO LICENCIATURA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL - 1º CUATRIMESTRE 2019**

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
15:45 a 16:30		EVALUACIÓN DE PROYECTO <i>HEGLIN - BLANC</i>			
16:30 a 17:15		"		EVALUACIÓN DE PROYECTO <i>HEGLIN - BLANC</i>	
17:30 a 18:15		"		"	
18:15 a 19:00		"		"	COMERCIO EXTERIOR <i>SOLANAS - RUHL</i>
19:00 a 19:45	GESTION DE PYMES <i>ANGEROSA - CETTOUR</i>	PROYECTO FINAL <i>BLANC - ISELLI</i>	GESTION DE PYMES <i>ANGEROSA - CETTOUR</i>	"	"
19:45 a 20:30	"	"	"	"	"
20:45 a 21:30	"	"	"	COMERCIO EXTERIOR <i>SOLANAS - RUHL</i>	
21:30 a 22:15	"	"		"	
22:30 a 23:15	"	"		"	
23:15 a 24:00	"	"			

