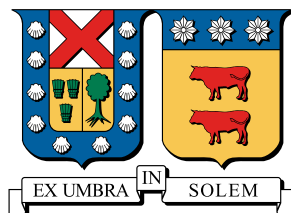


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
VALPARAÍSO - CHILE



**Modelamiento y Resolución de Asignación de Horarios Para
Bachiller De La Malla Nueva de Ingeniería Civil Informática
UTFSM, Casa Central**

CLAUDIA ANDREA CHACÓN OSSA
cchacon@alumnos.inf.utfsm.cl

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA

PROFESOR GUÍA : MARÍA CRISTINA RIFF ROJAS
PROFESOR CORREFERENTE : ELIZABETH DEL C. MONTERO URETA

Noviembre - 2019

Dedico esta memoria a mi familia quienes me acompañaron durante todo este proceso.

Agradecimientos

Primero que todo, quisiera agradecer sinceramente a mi madre que, sin su esfuerzo no sería la persona que soy, y a mi hermano Felipe por estar siempre cuando lo necesite.

También agradecer el cariño, compañía y lealtad de Agustín que ha creído en mí y me ha brindado apoyo y comprensión a lo largo de nuestro camino juntos. También a mi hija Melissa, gracias por elegirme como tu madre y darme esa sonrisa día a día que me motiva a seguir esforzándome por nuestra familia.

A lo largo de mi vida universitaria conocí a muchas personas que contribuyeron en mi formación como ingeniera, algunas quedaron en el camino y otras continuaron a mi lado, entre las últimas quisiera destacar y agradecer a Macarena, Francisca, Paulina, Yanara y Gabriela quienes, desde el primer año han sido compañeras incondicionales, cada una con una personalidad diferente que juntas hacen al mejor grupo de amigas que he tenido. También agradecer a mis compañeros con quienes sufrimos en más de una ocasión para aprobar certámenes y ramos.

A todos ellos gracias por la amistad, las largas noches de estudios, la dedicación y el esfuerzo que puso cada uno en nuestro paso por la universidad.

Finalmente, gracias a mi profesora guía, por su disposición, trato y colaboración durante el desarrollo de esta memoria.

El éxito es lo que nos da confianza para poner en práctica lo que el fracaso nos ha enseñado

Resumen

En este trabajo, se presenta el problema de Timetabling Universitario orientado a la asignación de horarios de la malla de bachiller del departamento de informática de la UTFSM. Este problema se modela matemáticamente como un problema de satisfacción de restricciones, que cuenta con un conjunto de asignaturas y de bloques de horarios que poseen restricciones asociadas, cuyo objetivo es generar propuestas de horarios factibles, es decir, que cumplan todas las restricciones del modelo. Para lo anterior, se deben respetar tanto las restricciones de cada asignatura como las preferencias de los alumnos. Se utilizó la herramienta *Opensolver* para resolver los modelos obtenidos por cada semestre del caso de estudio. Los resultados muestran que los modelos propuestos generan soluciones de calidad en tiempos computacionales aceptables y pueden ser aplicados en situaciones reales.

Palabras Claves: Ingeniería Civil en Informática, Asignación de Horarios, OpenSolver

Abstract

In this paper, the problem of Timetabling University is presented, this is oriented to the allocation of schedules of the second year of the IT department of the UTFSM. This problem is mathematically modeled as a problem of satisfaction of restrictions, which has a set of subjects and blocks of schedules that have associated restrictions, whose objective is to generate proposals for feasible schedules, that is, the proposals comply with the restrictions of the model. For the above, both the restrictions of each subject and the preferences of the students must be respected. The tool Opensolver was used to solve the models requested for each semester of the case study. The detailed results proposed models generate quality solutions in acceptable computational times and can be applied in real situations.

Keywords: Civil engineering in computer science, assignment of schedules, OpenSolver

Índice General

Índice General	II
Índice de Figuras	III
Índice de cuadros	IV
Introducción	VI
Objetivos	VI
Estructura	VII
1 Estado del Arte	1
1.1. Timetabling	1
1.2. Variantes del Problema	1
1.3. Técnicas de Resolución	2
1.4. Resumen de Capítulo	7
2 Definición del Problema	8
2.1. Identificación del Problema	8
2.2. Contexto Informática UTFSM	9
2.3. Caso De Estudio	10
2.4. Resumen de Capítulo	14
3 Encuesta	15
3.1. Diseño De Encuesta	15
3.2. Procesamiento De Encuesta	21
3.3. Resumen de Capítulo	31
4 Implementación y Resultados	32
4.1. Modelo Matemático	32
4.2. Solución Propuesta	37
4.3. Metodología de implementación	38
4.4. Resultados y Análisis	40
4.5. Resumen de Capitulo	45
5 Conclusiones	46
5.1. Conclusiones Generales	46
5.2. Cumplimiento Objetivos	47
5.3. Mejoras y Trabajo Futuro	48
Bibliografía	49

Índice de Figuras

2.1. Malla Bachiller Ingeniería Civil Informática UTFSM, Casa Central	10
3.1. ¿Te gustaría tener una ventana completa para almorzar todos los días?	21
3.2. Preferencia de bloques libres entre 2 clases consecutivas	22
3.3. Cantidad de cátedras mínimas diarias	22
3.4. Cantidad de cátedras máximas diarias	23
3.5. Inscripción de asignatura si solo se tuviese 1 clase al día	23
3.6. Cantidad mínima de días que se tienen clases	24
3.7. Cantidad máxima de días que se tienen clases	24
3.8. Preferencia de días libres (sin clases)	25
3.9. Hora de Inicio de clases	25
3.10. Hora de término de clases	26
3.11. Prioridad de parámetros de selección de asignación	26
3.12. Preferencia jornada de mañana v/s jornada de la tarde	27
3.13. Preferencia de asignación de asignaturas en jornada de la mañana	27
3.14. Preferencia de asignación de asignaturas en jornada de la tarde	28
3.15. Preferencia de clases de ramos comunes dictados el mismo día	28
3.16. Cantidad máxima de ramos de carrera diariamente	29
3.17. Cantidad mínima de ramos de carrera diariamente	29
3.18. Inscripción laboratorio de Matemáticas	30
3.19. Bloque libre para realizar informes de física	30
4.1. OpenSolver, complemento de Excel	37
4.2. Asignación de clases a un bloque de horario	38
4.3. Resultado de las restricciones aplicadas	39
4.4. Propuesta Primer Semestre ICI, Casa Central	40
4.5. Propuesta Segundo Semestre ICI, Casa Central	42
4.6. Propuesta Experimento Primer Semestre ICI, Casa Central	44
4.7. Propuesta Experimento Segundo Semestre ICI, Casa Central	44

Índice de cuadros

2.1. Asignaturas 1er año de Informática	11
2.2. 6 asignaturas Primer Semestre 2do año de Informática	11
2.3. 6 asignaturas Segundo Semestre 2do año de Informática	11
2.4. 5 ayudantías y 2 laboratorios de Asignaturas del Primer Semestre	12
2.5. 5 ayudantías y 2 laboratorios de Asignaturas del Segundo Semestre	12
2.6. Bloques de tiempo UTFSM Pregrado	12
3.1. Asignaturas 2er año de Informática posibles en la mañana	19
3.2. Asignaturas 2er año de Informática posibles en la tarde	20
3.3. Restricciones obtenidas en base a la encuesta del público objetivo	31
4.1. Asociación numérica de las asignaturas por asignar	32
4.2. Bloques de tiempo UTFSM pregrado	33
4.3. Días de la semana en los cuales se pueden tener clases	33
4.4. Cantidad de cátedras semanales de las asignaturas	33

Índice de algoritmos

1.	MAX-MIN Sistema Hormiga para UCTP	4
2.	Simulated Annealing para minimización	5

Introducción

Los problemas de optimización combinatorial pueden ser clasificados en distintas disciplinas, una de ellas es la categoría de asignación cuyo objetivo general es asignar de forma eficiente recursos disponibles para la realización de determinadas tareas al menor costo posible. Uno de los problemas más significativos dentro de esta área es *Timetabling*, un problema NP-completo referente a la programación de horarios a la cual se enfrentan todas las instituciones del mundo, una de sus variantes que será analizada en el presente documento es la programación de horarios universitarios cuyo objetivo es asignar un conjunto de eventos, actividades o recursos a un conjunto de tiempo que posee ciertas limitaciones definidas por cada institución con el fin de que cada estudiante pueda asistir a sus compromisos sin incumplir otros.

Algunas de las limitaciones que tienen los conjuntos de tiempo o bloques horarios son la disponibilidad de los profesores o personas que manejan dichas actividades, horarios en los que no se pueden realizar ciertas actividades, preferencia de los alumnos por asistir a un evento primero que otro, etc. Debido a lo anterior, no es posible definir un modelo generalizado para este problema, ya que, cada institución tiene sus propias restricciones y metas que cumplir por lo tanto su aplicación y resolución es variable según la interpretación del problema.

En esta tesis, se trabaja y desarrolla la asignación de horarios aplicada al segundo año de la malla informática de la Universidad Técnica Federico Santa María en su sede Casa Central con el fin de generar propuestas de asignación de horarios que abarque tanto restricciones generales como específicas.

Como se ha hecho mención, la asignación de horarios tiene diferentes aristas según sea el caso analizado por lo que está abierto a muchas interpretaciones y modificaciones. El objetivo final de este trabajo es generar un método de resolución que sea aplicable a cualquier caso de asignación de recursos de la vida real, tal como la asignación de personal, turnos, materiales, etc. a periodos de tiempos definidos.

Objetivos

Objetivo General

Generar mediante una estrategia de solución apropiada propuestas de asignación de horarios para el segundo año de la malla de Bachiller de Ingeniería Civil en Informática, Casa Central.

Objetivos Específicos

- Clasificar y analizar las asignaturas de la malla de Bachiller de Ingeniería Civil Informática.

- Diseñar y aplicar encuestas a estudiantes que cursan las asignaturas estudiadas con el fin de determinar perfiles de alumnos.
- Generar en base a la información obtenida uno modelo que permita una asignación de horarios factible.

Estructura

Este *paper* ha sido organizado en los siguientes capítulos:

Capítulo 1 Estado del Arte: Da un recorrido por las variantes, técnicas y conocimientos aplicados durante la historia de *Timetabling*.

Capítulo 2 Definición del Problema: Presenta el caso de estudio a tratar, sus componentes y algunas consideraciones.

Capítulo 3 Encuesta: Presenta la encuesta realizada a los alumnos, sus razones y el análisis de sus resultado.

Capítulo 4 Implementación y Resultados: Muestra el modelo matemático aplicado como un problema de tipo lineal, la solución propuesta y su posterior evaluación.

Capítulo 5 Conclusiones: Finalmente, se entregan las conclusiones obtenidas y propuesta futura luego de la realización de este trabajo.

Capítulo 1

Estado del Arte

En este capítulo se presentan las variantes del problema de *Timetabling* y los aportes teóricos realizados en su variante de asignación de horarios en instituciones educativas.

1.1. Timetabling

En primer lugar, se presentan las componentes básicas [11] que conforman un problema tipo de *timetabling*:

- Un conjunto **N** de cantidad de cursos o exámenes.
- Un conjunto **P** de periodos de tiempo disponibles.
- Un conjunto **S** de estudiantes que asisten a dichas clases o toman dichos exámenes.
- Un conjunto **K** de criterios o restricciones y sus respectivas preferencias de selección.
- Una matriz de tiempo **T** que represente la asignación de cursos o exámenes a periodos de tiempos definidos.

Cualquiera sea el grado de complejidad del problema a resolver contará de una u otra manera con las componentes mencionadas.

1.2. Variantes del Problema

Examination Timetabling

Los problemas de asignación de exámenes tienen como objetivo asignar o realizar los exámenes en un mínimo número de intervalos de tiempo o bloque sin generar conflictos, pero en algunos casos el número de intervalos está definido y el objetivo es optimizar una función de preferencia basada en las preferencias de la administración, profesores y estudiantes.

Algunas de las preferencias pueden ser:

- Maximizar el intervalo de tiempo entre 2 exámenes consecutivos de un estudiante.
- Programar los exámenes con una gran cantidad de estudiantes en los bloques de tiempo más temprano para brindar más tiempo la rendición de la evaluación.

Course Timetabling

Puede ser dividido en *School Timetabling* o asignación de horario escolar aplicado a escuelas y en *University Timetabling* o asignación de horarios en cursos universitarios, el cual es el caso a estudiar y se define según sea la técnica utilizada.

1.3. Técnicas de Resolución

Problemas de Coloreo de Grafos

En [7] se muestra que el coloreo de grafos es un problema NP-Completo, en consecuencia se deduce que un problema de *Timetabling* con sus componentes básicas puede ser resuelto mediante este sistema.

En [14] se resuelve un modelo de *Timetabling* mediante dos fases. Primero los planes de estudio se definen para cada clase o para cada grupo de estudiantes y uno tiene que asignar los diversos recursos para las clases. Segundo, cuando se ha alcanzado un acuerdo sobre estas asignaciones de recursos, entonces se verifica que exista un calendario de clases viable que sea compatible con todos los requisitos previamente definidos. El algoritmo consiste en crear un multigrafo donde sus nodos son los eventos del problema unidos por bordes que representa la imposibilidad de unir 2 eventos. Si cada periodo o bloque corresponde a un color, el problema en sí consiste en buscar una asignación de un color entre los B colores para cada relación del grafo de tal forma que no existan dos relaciones adyacentes con el mismo color.

Hill Climbing

En [10] se aplica un algoritmo que va mejorando una solución inicial recursivamente, a través de la selección del mejor vecino, hasta que ningún vecino de la solución sea mejor que la actual. Si existe más de un mejor vecino, se selecciona uno aleatoriamente del conjunto de mejores vecinos.

Algunas variantes populares de Hill Climbing son:

- Primera elección: El primer vecino que sea mejor que la solución actual es seleccionado.
- Estocástico: Se selecciona cualquier movimiento al azar, es decir, no necesariamente se tiene un mejor vecino.

El algoritmo de escalamiento es una técnica incompleta, ya que, por lo general se queda atascado en óptimos locales, siendo mayoritariamente incapaz de encontrar el óptimo, ya que, ningún vecino de la solución actual es mejor que la misma. Para escapar de este óptimo se reinicia el algoritmo con una solución inicial aleatoria.

Algoritmos Genéticos

Un algoritmo genético es análogo a la evolución darwiniana, es decir, considera una población que estará conformada por combinaciones factibles de horarios a las cuales se les asigna un valor de penalización dependiendo de qué óptimo sea. La combinación "más apta" en base a la asignación anterior es seleccionada para formar la base de la generación siguiente, es decir, la siguiente iteración del algoritmo descarta así las soluciones menos aplicables y mejorando la factibilidad de las posibilidades manteniendo una diversidad en las soluciones.

La representación más común de un algoritmo genético para un problema de asignación es un *Long bit String* codificado sobre cuando y donde cada asignación toma lugar. Por lo tanto, a cada par de horarios obtenidos se le pueden aplicar *crossover*. En [4] se encontró un operador inteligente de mutación para hacer más exitosa el cruzamiento entre dos horarios. Su sistema, es ahora usado exitosamente para determinar los horarios de la Universidad de Edimburgo y otras aledañas.

En [9] se desarrolló un sistema el cual ha sido usado para programar cursos en la Universidad de Ciencias de la Computación de *Napier*. Su algoritmo genético codifica horarios como si fuese un ordenamiento de las clases, el cual debe ser un input a un programa especial que usa el orden para producir una asignación de horarios. Esto requiere un tipo diferente de operador combinatorial, el cual toma elementos del orden de cada padre o nodo a cruzar para producir un nuevo orden.

Algoritmos Meméticos

Los algoritmos meméticos son una extensión de los algoritmos genéticos, basados en un modelo de como las ideas evolucionan. Las unidades básicas de ideas son memes, que, a diferencia de los genes, se pueden mejorar durante su vida. Por lo tanto una función *Hill-Climbing* es usada para establecer intervalos, asegurando que los miembros de la población de horarios sean todos óptimos locales.

La universidad de Nottingham desarrollo algoritmos meméticos para la variante *Examination Timetabling* en [2]. Una mutación es aplicada a miembros seleccionados de la población. Cada asignación de horario escogida es interrumpida por un operador de mutación, y este es localmente optimizado por un algoritmo de *HillClimbing*. Esta combinación genera soluciones de buena calidad.

En [8] la Universidad de Napier desarrolló un Algoritmo memetico cuyos horarios seguían una codificación específica de una lista de bloques sugeridos para cada asignatura. Estos bloques son probados en orden, y el bloque exitoso es movido a la parte superior de la lista para mejorar el material memetico. El operador de recombinación construye nuevas listas de sugerencias tomando bloques alternativos de cada una de las listas de los padres.

Sistema de Hormigas (Máx - Mín)

En [12] se planteó por primera vez el uso de algoritmos hormigas para resolver el problema de Timetabling asociado a un curso universitario. Su objetivo es construir un grafo y un modelo de feromonas apropiados para University Course Timetabling. Para ello, se tiene una colonia de M hormigas que es utilizada en cada iteración, cada hormiga construye una asignación completa de clase-bloque de horario mediante la colocación de las clases, una por una, en los intervalos de tiempo. Las asignaturas son tomadas en un orden prescrito el cual es utilizado por todas las hormigas. El orden es calculado antes de aplicar el algoritmo y está basado en las restricciones entre clases. La elección de cual bloque de tiempo es asignado a cada evento es una elección aleatoria influenciada por el nivel de feromonas (una matriz que indica la posición absoluta donde deben ser colocadas las clases). Los valores de las feromonas son inicializados en un tiempo máximo y luego actualizados a través de cada iteración mediante una regla. Al final del algoritmo, una asignación de clase-bloque de horario es convertida en una solución candidata.

Después que cada M hormiga ha generado su propia solución candidata, una solución es escogida basado en la función objetivo. Esta candidata a solución se mejora aún más aplicando Búsqueda Local. Si la solución encontrada es mejor que la solución actual, esta es reemplazada por la nueva solución. Entonces se actualiza el valor global de la feromona usando la mejor solución global. El valor de la feromona correspondiente a la mejor solución global se incrementa y después todos los niveles en la matriz de feromonas se reducen de acuerdo con un coeficiente. Por último, algunos valores se ajustan de manera que todos ellos se encuentren dentro de los límites definidos por un tiempo máximo y un tiempo mínimo. Todo el proceso se repite, hasta que se alcanza el límite de tiempo.

La aplicación de este algoritmo subraya el hecho de que los sistemas de hormigas son capaces de manejar los problemas de múltiples restricciones heterogéneas. Incluso sin el uso de información específica es posible generar buenas soluciones. Con el uso de una primera mejora mediante búsqueda local, se encontró que el algoritmo permite un muy simple manejo de los problemas de horarios.

Algoritmo 1 MAX-MIN Sistema Hormiga para UCTP

Input: Un problema de Instancia I

- 1: $\tau_{max} \leftarrow \frac{1}{p}$
 - 2: $\tau(e, t) \leftarrow \tau_{max} \forall (e, t) \in E \times T$
 - 3: Calcular $c(e, e') \forall c(e, e') \in E^2$
 - 4: Calcular $d(e)$
 - 5: Ordenar E acorde a $\prec$, Resultando en $e_1 \prec e_2 \prec \dots \prec e_n$
 - 6: **Mientras** El tiempo limite no ha sido alcanzado **Hacer**
 - 7: **Para** $a = 1$ **to** m **Hacer**
 - 8: proceso de construcción de una hormiga a
 - 9: $A_0 \leftarrow \emptyset$
 - 10: **Para** $i = 1$ **to** $|E|$ **Hacer**
 - 11: Elegir periodo de tiempo τ aleatoriamente acorde a la probabilidad $P_{e_i, \tau}$ para un evento e_i
 - 12: $A_i \leftarrow A_{i-1} \cup (e_i, \tau)$
 - 13: **Fin Para**
 - 14: $C \leftarrow$ Solución después de aplicar el algoritmo a A_n
 - 15: $C_{mejoriteracion} \leftarrow$ Mejor de C y $C_{mejoriteracion}$
 - 16: **Fin Para**
 - 17: $C_{mejoriteracion} \leftarrow$ Solución después de aplicar búsqueda local a $C_{mejoriteracion}$
 - 18: $C_{mejorglobal} \leftarrow$ Mejor de $C_{mejoriteracion}$ y $C_{mejorglobal}$
 - 19: Actualizar feromona global para τ usando $C_{mejorglobal}, \tau_{min}$ y τ_{max}
 - 20: **Fin Mientras**
- Output:** Una solución candidata optimizada $C_{mejorglobal}$ para I
-

Simulated Annealing

Simulated Annealing implica realizar una búsqueda estratégica que realiza un seguimiento de una asignación de horarios factible. En cada iteración, se genera un vecino, es decir, otra asignación de horarios factible. Este vecino se acepta como la solución actual si su es baja. Si el vecino tiene una penalización alta, este es aceptado acorde a su probabilidad cuyo control está sujeta al parámetro de la temperatura que se define. La temperatura, y por ende la probabili-

dad de que los vecinos inferiores sean aceptados, decrece en cada iteración o particularmente después de una cantidad constante de iteraciones.

Algoritmo 2 Simulated Annealing para minimización

```

1: Seleccionar una solución inicial  $S_0$ 
2: Seleccionar una temperatura inicial  $t_0 > 0$ 
3: Seleccionar una función de reducción de temperatura  $\alpha$ 
4: Repetir
5:   Repetir
6:     selección aleatorio  $s \in N(S_0)$ 
7:      $\lambda = f(s) - f(s_0)$ 
8:     Si  $\lambda < 0$  Entonces
9:        $s_0 = s$ 
10:    Si No
11:      generar random  $x \in U(0, 1)$ 
12:      Si  $x < \exp -\lambda/t$  Entonces
13:         $S_0 = S$ 
14:      Fin Si
15:    Fin Si
16:
17:  Hasta que contador de iteración =  $nrep$ 
18:     $t = \alpha(t)$ 
19:
20: Hasta que condición de parada = TRUE
21:  $s_0$  es la aproximación a la solución óptima
  
```

Este algoritmo ha sido aplicado exitosamente en [13] usando un modelo de coloreo de grafos. El problema se divide en 2 fases, la primera de ellas en encontrar una solución factible optimizando las restricciones blandas. Sin embargo, este enfoque resulta en una considerable reducción, y posible espacio de búsqueda desconectado. Por lo tanto, se utilizando cadenas kempe para proporcionar un espacio de búsqueda más conectado. La diferencia es que para aplicar la función de enfriamiento en realidad se aumenta la temperatura y el rango en que una variable es rechazada es aumentado geométricamente.

Tabu Search

Al igual que Simulated Annealing, Tabú Search solo trabaja con una solución factible a la vez. La diferencia con el método anterior está en cómo se va trasladando la solución factible, ya que, se mantiene una lista Tabu, que representa las soluciones o las asignaciones de horarios que han sido visitadas recientemente y por lo tanto están prohibidas con el objetivo de evitar Loops y así poder escapar de óptimos locales. La lista Tabú es generalmente de un tamaño fijo, eliminando movimientos más antiguos para agregar los nuevos. Dado que la misma restricción puede impedir llegar a soluciones mejoradas, un nivel de aspiración se mantiene y representa la mejor solución visitada hasta ahora. Si una asignación de horarios alcanza el nivel de aspiración, este puede ser retirado de la lista tabú.

Este algoritmo ha sido aplicado con éxito en [1]. Su lista tabú contiene los siete movimientos más recientes. Si el actual vecino no contiene una solución mejorada, la función de nivel de aspiración puede seleccionar uno de la lista tabú.

Particle Swarm Optimization

En este trabajo se analiza tanto la calidad de un *Timetabling* como el tiempo necesario para su creación. Está técnica intenta simular los comportamientos sociales que difieren de los esquemas de selección natural utilizados por los algoritmos genéticos. En PSO, la población del algoritmo son soluciones potenciales llamadas partículas, inicialmente se selecciona una población aleatoria y luego se busca el óptimo actualizando las generaciones. Todas las partículas tienen puntajes que son evaluados en una función de evaluación para ser optimizados y cuentan con una velocidad que dirige el camino de la solución. Cada partícula actualiza su velocidad y posición en base a la experiencia adquirida por la población total. La política de actualización causa que el enjambre de partículas se mueva a una región con un valor objetivo más alto.

En [3] se propone un método aplicado a *Timetabling* de exámenes. En primer lugar, se genera aleatoriamente un grupo de 20 soluciones candidatas como partículas. Cada partícula es equivalente a un candidato de solución del problema. El rendimiento de los 20 candidatos es primero evaluado y ordenado. La mejor posición anterior de la partícula k_{th} debe ser puesta en P_k^i en la iteración i . La mejor posición entre todas las partículas desde la primera iteración hasta la iteración i debe ser puesta en G_i . Entonces el nuevo horario de la siguiente generación se calcula mediante el movimiento entre 2 partículas seleccionadas aleatoriamente. El ciclo evolutivo de la solución se repite hasta que la solución óptima es alcanzada o se alcanza el límite de iteraciones establecido, además se van aplicando penalizaciones si hay cierta cantidad de exámenes en el mismo día o existe diferencias de medio día entre cada par de exámenes.

Problemas de satisfacción de restricciones (CSP)

Timetabling puede ser modelado como un problema de satisfacción de restricciones. En un CSP los valores que satisfacen un conjunto de restricciones deben ser encontrados para un conjunto de variables discretas con dominio finito. Programación lógica de restricciones (CLP) se basa en la aplicación de lenguajes como Prolog. Un programa basado en Prolog consiste en un conjunto de cláusulas, que en CLP pueden contener limitaciones, la factibilidad de cada uno es verificada durante la ejecución del algoritmo. En CLP, una estrategia de etiquetado dicta el orden en que el espacio de búsqueda es recorrido, lo cual es vital para una búsqueda efectiva. Existen 2 tipos de ordenamiento:

- El orden en que las variables crean instancias.
- El orden en que los valores son asignados.

Un sistema de programación basado en Prolog ha sido desarrollado para la Universidad de Ottawa en [6]. Las restricciones se dividen en primarias y secundarias. Las primeras siempre deben ser satisfechas y las secundarias pueden ser relajadas. Cada curso es programado por turnos. Si no es posible asignar un tiempo y una sala sin violar las restricciones, el programa retrocede, relaja una restricción secundaria una por una hasta que el curso o asignatura puede ser asignada. Si el curso aún no puede ser asignado, una clase similar será temporalmente asignado y la búsqueda se intentará de nuevo.

1.4. Resumen de Capítulo

El proceso de realizar una asignación de horarios para una universidad puede disminuir su dificultad al automatizar la tarea de generación de horarios. Sin embargo, la inmensa complejidad y variabilidad del problema significa que hay un margen de mejora extenso en los sistemas actuales, cada uno por si solo puede ser mejorado dependiendo del problema estudiado. Los algoritmos más exitosos son los que combinan meta-heurísticas con una gran cantidad de problemas específicos basados en las restricciones.

Capítulo 2

Definición del Problema

En este capítulo, se explica el problema de *Timetabling*, específicamente su variante aplicada a cursos universitarios y que tiene la distinción de que aprobar un año académico no se restringe solamente a aprobar un conjunto de asignaturas, cada una es independiente de otra por lo que el rendimiento académico de los alumnos disminuye al ingresar a la universidad. Se presentan las variables generales que luego son homologadas a un caso de estudio en específico.

2.1. Identificación del Problema

Componentes y Consideraciones

Un problema tipo de *timetabling* tal como el descrito en [11] tiene las siguientes componentes:

- Un conjunto A de asignaturas o ramos a distribuir en conjuntos de tiempo B separados en bloques de una hora y media de lunes a viernes.
- Un conjunto S de salas de clases donde las asignaturas pueden tener lugar.
- Un conjunto E de estudiantes o alumnos que asisten a dichas clases.
- Un conjunto P de profesores que dictan dichas clases.
- Un conjunto R de restricciones que se deben cumplir en base a limitaciones en:
 - Salas de Clases: Disponibilidad horario, capacidad máxima de la sala e implementaciones.
 - Preferencia de profesores: Algunos profesores están más dispuestos a realizar clases en unos bloques de horario más que en otros.
 - Preferencia de los alumnos: Algunos alumnos están más dispuestos a asistir a clases en unos bloques de horario más que en otros.
 - Asignaturas: La mayoría de las asignaturas poseen otras asignaturas como prerrequisitos para poder ser cursadas por ende es un factor influyente en la distribución de horarios.

Restricciones

Una asignación de horarios factible es aquella en donde todas las asignaturas han sido asignadas en un espacio de tiempo único (bloque) cumpliendo con las siguientes restricciones:

- Un alumno puede asistir a una asignatura en un mismo intervalo de tiempo, por ende, dos clases que comparten estudiantes no pueden ser asignadas al mismo bloque de horario.
- Un profesor no puede enseñar más de una clase en el mismo intervalo de tiempo.
- La asignación de asignaturas en un mismo intervalo de tiempo no puede exceder la cantidad de salas disponibles para ese bloque.
- Cada clase debe ser asignada en un bloque de horarios.
- Cumple con las preferencias de los alumnos que cursan la asignatura.

Para determinar las restricciones en base a las preferencias del alumnado se aplica una encuesta a estudiantes que cursan su segundo año de Bachiller de la Malla de Informática. Esta encuesta se explica en detalle en el capítulo 3. Para determinar la factibilidad de la solución obtenida se deben cumplir todas las restricciones asociadas.

2.2. Contexto Informática UTFSM

El Departamento de Informática a partir del año 2014 da inicio a un rediseño del plan de estudio de Ingeniería Civil Informática dictado en los Campus Casa Central y San Joaquín:

- Reduce su duración de 6 a $5\frac{1}{2}$ años, donde el último semestre está dedicado exclusivamente a realizar un proyecto de titulación.
- Establece 3 ciclos de formación: Bachiller, Licenciatura y Desarrollo Profesional.
- Cuenta con una malla curricular flexible con un enfoque basado en competencias, que, a través de asignaturas Electivas, permite adaptarse a los avances tecnológicos y a los intereses propios de los alumnos.

El estudiante, antes de ingresar al Ciclo de Desarrollo Profesional, debe presentar una propuesta de Electivos a cursar según sean sus intereses. Por lo que una de las primeras decisiones que debe tomar al estar en la universidad se refiere a la selección de asignaturas y profesores que determinarán su perfil de ingeniero.

En temas de deserción universitaria, el informe de Autoevaluación realizado en 2017 por el Departamento de Informática [5] indica que un 38 % de los estudiantes se retira de la carrera en el campus de Casa Central por causa de su rendimiento académico. El rendimiento de un alumno está determinado por la aprobación de las asignaturas cursadas, las cuales a partir del segundo año es responsabilidad del alumno inscribir y distribuir a lo largo de sus años de carrera.

2.3. Caso De Estudio

El presente estudio considera las asignaturas del plan de bachiller de la carrera que abarca los dos primeros años del plan de estudios distribuidos en 4 semestres académicos.

PLAN DE ESTUDIOS		
	1er año	2do año
1er semestre	• Programación • Matemática I • Introducción a la Física • Humanístico I • Educación Física I	• Estructura de Datos • Matemática III • Física General III • Estructuras Discretas • Teoría de Sistemas • Libre 1 / Actividad co-curricular
2do semestre	• Introducción a la Ingeniería • Matemática II • Física General I • Química y Sociedad • Humanístico II • Educación Física II	• Lenguajes de Programación • Matemática IV • Física General II • Informática Teórica • Economía IA • Libre 2 / Actividad co-curricular

Figura 2.1: Malla Bachiller Ingeniería Civil Informática UTFSM, Casa Central

Asignaturas

La malla curricular cuenta con 3 tipos de asignaturas:

1. Un conjunto de asignaturas **obligatorias** que cubren el eje central de la disciplina.
2. Asignaturas **electivas de Informática** dictadas por el Departamento de Informática y orientadas a especializarse en alguna de las siguientes áreas de la disciplina:
 - Ingeniería de Software y Datos
 - Infraestructura TIC
 - Sistemas de Información y de Decisión
 - Computación en Ciencia e Ingeniería
3. Asignaturas **electivas** dictadas por otro Departamento u otra Universidad (para favorecer el intercambio) que complementen la especialización del estudiante.
4. Asignaturas **libres** que permiten adaptar el plan a los intereses de los estudiantes fortaleciendo habilidades profesionales y humanas.

La malla considera ramos del departamento de Informática como tal y otros pertenecientes a departamentos de Física, Química, Matemáticas, Humanista entre otros con el fin de formar a un profesional en todos los aspectos. Dependiendo de la demanda de la asignatura existe la posibilidad de que tenga uno o más paralelos dictado por el mismo profesor o diferentes académicos. La carga académica de cada asignatura se ve reflejada en la cantidad de créditos que tiene asignada, a mayor cantidad de créditos mayor carga académica.

Primer Año Bachiller

En el primer año de la carrera, las asignaturas y los horarios de las clases son asignados a los alumnos por el sistema siendo todas las clases de **carácter obligatorio y sin posibilidad de elección de horario** por parte del estudiante. Estas asignaturas son las siguientes:

Primer Semestre	Segundo Semestre
Programación	Química y Sociedad
Matemáticas I	Matemáticas II
Introducción a la Física	Física general I
Humanístico I	Introducción a la Ingeniería
Educación Física I	Humanístico II
	Educación Física II

Cuadro 2.1: Asignaturas 1er año de Informática

Segundo Año Bachiller

Es en el segundo año donde los alumnos deciden que ramos cursar en el semestre, en que horarios y si existe la posibilidad con que profesores aplicar en base a sus propios interés y necesidades. Las asignaturas correspondientes a este año académico y por ende las consideradas en este estudio son las siguientes:

Asignaturas	Obligatoria	Informática	Créditos	N. Paralelos	Cátedras Semanales
Estructura de Datos	✓	✓	3	2	2
Estructuras Discretas	✓	✓	3	2	2
Teoría De Sistemas	✓	✓	3	2	2
Matemática III	✓	-	4	13	3
Física General III	✓	-	4	5	2
Libre 1	-	-	1	*	1

Cuadro 2.2: 6 asignaturas Primer Semestre 2do año de Informática

Asignaturas	Obligatoria	Informática	Créditos	N. Paralelos	Cátedras Semanales
Lenguaje de Programación	✓	✓	3	1	2
Informática Teórica	✓	✓	3	2	2
Economía IA	✓	-	3	5	2
Matemática IV	✓	-	4	10	2
Física General II	✓	-	4	10	2
Libre 2	-	-	1	*	1

Cuadro 2.3: 6 asignaturas Segundo Semestre 2do año de Informática

Paralelos

Por meta de la institución la cantidad de alumnos por paralelo se limitará como máximo a un total de 40 estudiantes en aula de clases. En caso de existir una mayor cantidad de alumnos que inscriban una asignatura se procede a la apertura de otro paralelo del ramo.

Ayudantías y Laboratorios

Adicional a las asignaturas, existen las ayudantías y laboratorios de los ramos impartidas por alumnos que han cursado y aprobado la asignatura y que refuerzan los contenidos aprendidos en clases:

Asignatura	Cátedras Semanales Ayudantía	Cátedras Semanales Laboratorio
Estructura de Datos	1	0
Estructuras Discretas	1	0
Teoría De Sistemas	1	0
Matemática III	1	1
Física General III	1	1
Libre 1	0	0

Cuadro 2.4: 5 ayudantías y 2 laboratorios de Asignaturas del Primer Semestre

Asignatura	Cátedras Semanales Ayudantía	Cátedras Semanales Laboratorio
Lenguaje de Programación	1	0
Informática Teórica	1	0
Economía IA	1	0
Matemática IV	1	1
Física General II	1	1
Libre 2	0	0

Cuadro 2.5: 5 ayudantías y 2 laboratorios de Asignaturas del Segundo Semestre

Horarios

La universidad distribuye sus clases en función de bloques de tiempo. Cada clase considera 2 bloques y cada uno tiene una duración de 45 minutos. Además, se consideran recesos de 15 minutos entre sus clases matutinas y 10 minutos entre sus clases de la tarde y 1 hora de colación entre el horario de mañana y de tarde. Los bloques establecidos son los siguientes:

Bloque	Hora
1 - 2	08:00 - 09:30
3 - 4	09:45 - 11:15
5 - 6	11:30 - 13:00
Almuerzo	13:00 - 14:00
7 - 8	14:00 - 15:30
9 - 10	15:40 - 17:10
11 - 12	17:20 - 18:50
13 -14	19:00 - 20:30

Cuadro 2.6: Bloques de tiempo UTFSM Pregrado

Salas de Clases

La infraestructura de la Universidad cuenta con la cantidad de salas y auditorios para permitir la realización de clases por lo que no se considera como una variable en el modelo del caso.

Profesores

La carrera cuenta con una planta de académicos, docentes e investigadores de jornada completa que, junto a un equipo de profesores jornada parcial y funcionarios de planta a cargo de la infraestructura tecnológica departamental, dan sustentabilidad y proyección al desarrollo de la carrera:

- **Académicos:** Profesores de jornada completa, que adquieren el compromiso de desarrollar la disciplina en lo que a docencia, investigación y vinculación con el medio se refiere, como así también a realizar labores de gestión académica.
- **Docente:** Profesor de jornada completa, pero su función se circunscribe fundamentalmente al ámbito de la docencia propiamente tal.
- **Investigadores:** Profesores con contrato de jornada completa por su parte, tienen su prioridad en desarrollar investigación pueden realizar funciones docentes en jornada parcial.
- **Profesores de jornada parcial:** Profesores que apoyan la docencia de la carrera en casos específicos. Esto se da en asignaturas que, por el aumento en la cantidad de paralelos o por la alta carga de los académicos (para cumplir en comisiones de servicios) o por la necesidad de dictar una asignatura con orientación profesional (electivos), no pueden ser cubiertas por profesores jornada completa.
- Profesores de otros departamentos académicos que dictan asignaturas de servicio de las asignaturas de ciencias básicas comunes a alumnos del departamento de informática.

Para el caso de estudio no existe distinción a la hora de asignar un profesor a un ramo, ya que esta asignación es realizada de forma administrativa por los departamentos de cada asignatura.

Alumnos

Los alumnos involucrados en este estudio corresponden a los alumnos de Ingeniería Civil Informática de la Casa Central que actualmente cursen su segundo año de carrera y hayan aprobado todos sus ramos del primer año académico.

2.4. Resumen de Capítulo

La generación de propuestas de horarios para el caso de Ingeniería Civil en Informática contempla la asignación de asignaturas obligatorias, libres, ayudantías y laboratorios en 7 bloques de horario de una hora y media de duración. La asignación considera:

Primer Semestre

En el primer semestre se cuenta con un máximo de 19 cátedras semanales distribuidas de la siguiente manera:

- Se imparten 6 asignaturas con un total de 12 cátedras semanales (incluyendo la asignatura libre 1).
- Se imparten 5 ayudantías con un total de 5 cátedras semanales.
- Se imparten 2 laboratorios con un total de a lo más 2 cátedras semanales. Esto porque no se realizan las sesiones todas las semanas y se debe considerar que el laboratorio de matemáticas no es obligatorio.
- En el segundo semestre se imparten 6 asignaturas con un total de 11 cátedras (incluyendo la asignatura libre 2)

Segundo Semestre

En el segundo semestre se cuenta con un máximo de 18 cátedras semanales distribuidas de la siguiente manera:

- Se imparten 6 asignaturas con un total de 11 cátedras semanales (incluyendo la asignatura libre 1).
- Se imparten 5 ayudantías con un total de 5 cátedras semanales.
- Se imparten 2 laboratorios con un total de a lo más 2 cátedras semanales. Esto porque no se realizan las sesiones todas las semanas y se debe considerar que el laboratorio de matemáticas no es obligatorio.
- En el segundo semestre se imparten 6 asignaturas con un total de 11 cátedras (incluyendo la asignatura libre 2)

Las restricciones del problema vienen dadas por las preferencias del alumnado que cursa 2do Año de Bachiller con el fin de distribuir de mejor forma sus asignaturas y mejorar su rendimiento académico.

Capítulo 3

Encuesta

En este capítulo se explica el objetivo de la encuesta, su modo de realización y difusión, la razón en la selección de las preguntas y cual es su publico objetivo para posteriormente realizar un procesamiento de la información y determinar restricciones que serán utilizadas en la generación del modelo del caso de estudio.

3.1. Diseño De Encuesta

Objetivo

La presente encuesta tiene por finalidad identificar las preferencias de horario de los estudiantes de Ingeniería Civil en Informática generación 2018 al momento de inscribir sus asignaturas académicas al inicio de cada semestre a través de la plataforma "Sistema De Información De Gestión Académica"(SIGA) ¹.

Modo De Aplicación

La encuesta fue creada mediante un formulario de Google ² y consta de 20 preguntas de tipo de opción múltiple, casillas de verificación y listas desplegables. Fue difundida a los alumnos del curso de Estructuras Discretas 2-2019 a través de la plataforma Moodle del curso, además se le envió a cada uno de los 48 alumnos un correo electrónico con la misma encuesta y finalmente se difundió a través del grupo "Pregrado informática UTFSM casa central" de plataforma social Facebook. Para determinar que el público objetivo fuese quien respondiera la encuesta se solicitó su Rol USM (Número identificador único de cada alumno) y su correo electrónico.

Preguntas

1 *¿Te gustaría tener una ventana completa para almorzar todos los días?*

Actualmente los alumnos cuentan con un horario asignado de lunes a viernes para su hora de almuerzo (13:00 - 14:00). La pregunta busca determinar si ese horario asignado es suficiente para la realización de tal actividad. Las opciones de respuesta y como afectan en la generación del modelo se explican a continuación:

¹<https://siga.usm.cl//pag/>

²<https://forms.gle/tfpuBjvakA38XzHr5>

- Sí: El modelo tendrá la restricción de que al menos uno de los bloques 5-6 y 7-8 de cada día sea considerado un bloque "libre" para permitir que los alumnos puedan tener una ventana para almorzar cada día.
- No: No se aplica una restricción al modelo.
- Es irrelevante: No se aplica una restricción al modelo.

2 Respecto a las ventanas entre clases, selecciona un orden de preferencia para las siguientes opciones (1 mayor preferencia 4 menos preferencia)

Esta pregunta busca determinar qué tan seguidas se realizan las diferentes clases a lo largo de un día. Las opciones y las restricciones asociadas son las siguientes:

- Clases sin ventanas: Implica que la mayoría de los estudiantes prefieren tener las clases seguidas. Por ende, se aplicaría una restricción que no permita bloques libres entre 2 clases seguidas.
- 1 Ventana: Cada 2 clases consecutivas se aplica la restricción de una ventana.
- 2 Ventanas: Cada 2 clases consecutivas se aplica la restricción de 2 ventanas.
- 3 Ventanas o más: Cada 2 clases consecutivas se aplica la restricción de 3 ventanas. Por la cantidad total de cátedras a dictarse cada semestre (14 en el primer semestre y 13 en el segundo semestre) no es posible que todos los días las clases estén separadas por 3 ventanas por lo que, en caso de seleccionarse esta opción, la restricción será considerada blanda y llevará un puntaje de penalización para seleccionar la propuesta óptima.

3 ¿Cuántas clases tendrías como MÍNIMO por día?

Esta pregunta determina el límite inferior de la cantidad de clases diarias que tendrán los estudiantes. Las posibles respuestas son:

- 1: Mínimo una clase diaria. Esta opción obliga que al menos exista una clase al día.
- 2: Mínimo dos clases diarias. Esta opción obliga que al menos existan dos clases al día.
- 3: Mínimo tres clases diarias. Esta opción obliga que al menos existan tres clases al día.
- 4: Mínimo cuatro clases diarias. De ser seleccionada esta opción la restricción pasa a ser una restricción blanda, ya que implica la realización de 20 cátedras si se realizan clases los 5 días de la semana.
- 5: Mínimo cinco clases diarias. De ser seleccionada esta opción la restricción pasa a ser una restricción blanda, ya que implica la realización de 25 cátedras si se realizan clases los 5 días de la semana.
- 6 o más: Mínimo seis clases diarias. De ser seleccionada esta opción la restricción pasa a ser una restricción blanda, ya que implica la realización de al menos 30 cátedras si se realizan clases los 5 días de la semana.

4 *¿Cuántas clases tendrías como MÁXIMO por día?*

Esta pregunta determina el límite superior de la cantidad de clases diarias que tendrán los estudiantes. Las posibles respuestas son:

- 1: Máximo una clase diaria.
- 2: Máximo dos clases diarias.
- 3: Máximo tres clases diarias.
- 4: Máximo cuatro clases diarias. Implica la incorporación de una restricción al modelo del caso.
- 5: Máximo cinco clases diarias. Implica la incorporación de una restricción al modelo del caso.
- 6 o más: Máximo seis clases diarias. En el caso de los martes y jueves que tienen disponible 6 de los 7 bloques esta opción no genera ninguna restricción en el modelo. para los lunes, miércoles y viernes implica la incorporación de una restricción.

Las opciones 1, 2 y 3 de ser preferidas por el alumnado pasarán a ser restricciones blandas ya que la cantidad mínima de cátedras a realizar contempla al menos 17 clases y las opciones anteriores nos permiten un máximo de 5, 10 y 15 cátedras de realizarse clases todos los días viables de la semana.

5 *¿Inscribirías un ramo si una de sus clases fuese la única clase que tienes en el día?*

Esta pregunta va enfocada en determinar si los alumnos teniendo una sola clase al día asistirían a la clase.

- Si: Esto no afecta al modelo del caso de estudio, ya que no incorpora restricciones extras.
- No: Se incluye la restricción de que debe dictarse más de una clase por día.

6 *¿Cuál es la cantidad MÍNIMA de días a la semana que tendrías clases?*

Las clases de cátedra, laboratorio y ayudantía se dictan de lunes a viernes. Esta pregunta busca determinar si el alumnado prefiere tener menos días de clases, pero una mayor cantidad de clases diarias.

- 1 día: Esta respuesta no agrega restricciones al modelo, ya que, es necesario tener al menos 1 día de clases.
- 2 días: Esta respuesta no agrega restricciones al modelo, ya que, por la cantidad de cátedras se deben tener al menos 2 días de clases.
- 3 días: Incorporación de una restricción de límite inferior a la cantidad de días de clases.
- 4 días: Incorporación de una restricción de límite inferior a la cantidad de días de clases.
- 5 días: Se incluye la restricción de tener clases todos los días de la semana.

7 ¿Cuál es la cantidad MÁXIMA de días a la semana que tendrías clases? (por cantidad de cátedras no es posible realizar las clases en menos de 3 días)

Las clases de cátedra, laboratorio y ayudantía se dictan de lunes a viernes. Esta pregunta busca determinar si el alumnado prefiere tener más días de clases, pero una menor cantidad de clases diarias.

- 3 días: Esta opción es posible, pero implica una mayor cantidad de clases por día.
- 4 días: Incorporación de una restricción que permite tener un día libre de clases a la semana.
- 5 días: Se incluye la restricción de tener clases todos los días de la semana.

8 ¿Qué día preferirías NO tener clases?

Esta pregunta va dirigida principalmente a los alumnos de otras regiones. Se busca determinar si se prefiere tener un fin de semana largo (en caso de escoger los lunes o viernes) o prefieren tener un descanso en la semana entre clases (escogiendo martes, miércoles o jueves). Por defecto las opciones son: lunes, martes, miércoles, jueves y viernes.

9 ¿En qué bloque de horario prefieres que INICIEN tus clases?

Esta pregunta busca excluir los bloques horarios que son más propensos a tener inasistencias debido a la hora en que son dictadas las clases.

- 1-2: Esta restricción obliga que las clases comiencen a las 8 AM diariamente.
- 3-4: Esta restricción obliga que las clases comiencen a las 9.45 AM todos los días.
- 5-6: Esta restricción obliga a que las clases comiencen a las 11:45 AM.
- 7-8: Esta opción permite solamente clases en la tarde.
- 9-10: Esta opción permite el inicio de clases desde las 15.40 PM.

10 ¿En qué bloque de horario prefieres que FINALICEN tus clases?

Se busca determinar la máxima cantidad de tiempo que los estudiantes están dispuestos a dedicarle de forma presencial a las asignaturas, ya sea para dedicar su tiempo a actividades personales, extracurriculares o trabajo.

- 5-6: Esta restricción indica que los alumnos prefieren dedicar la mañana a tener clases para realizar otras actividades durante la jornada de la tarde.
- 7-8: Esta restricción indica que los alumnos quieren dedicar la mañana y una pequeña parte de la tarde a sus actividades académicas.
- 9-10: Indica una restricción que no pueden realizarse clases en los bloques 11-12-13-14.
- 11-12: Indica que las últimas clases deben terminan a las 18:50 PM.
- 13-14: Indica que para el alumno el horario de finalización de las clases no es un impedimento para inscribir una asignatura.

11 Si una asignatura obligatoria tiene más de un paralelo ¿Que factor consideras prioritario a la hora de escoger entre uno y otro paralelo?

Esta pregunta es de carácter informativo para definir una tendencia en que es lo primero que consideran los alumnos al inscribir una asignatura.

- Profesor que dicta el ramo: En este caso no se aplica una restricción al problema, ya que la asignación de profesores a los cursos proviene de parte del departamento.
- Horario en que se dicta el ramo: Esto implica que el horario de clases es más importante que quien dicte el ramo o si llega a generar una cantidad indeterminada de bloques libres.
- Si hay clases inmediatamente antes o después del ramo a inscribir: Esta opción señala que un alumno puede o no seleccionar inscribir la asignatura dependiendo de si tiene clases antes o después con el fin de disminuir la cantidad de bloques libres o por el contrario de incorporarlos entre clases.
- Cantidad de ventanas que genera inscribir ese ramo: Esto indica que la cantidad de bloques libres tiene mayor importancia que quien dicte el ramo o incluso el horario mismo del curso.

12 Si un ramo tiene 2 paralelos que se dictan en diferentes horarios ¿Cual prefieres?

Esta pregunta busca seleccionar un parámetro de decisión si al momento de asignar asignaturas y ya aplicadas el resto de las restricciones existe más de una opción disponible de asignación.

- Horario Mañana (Bloque 1-2, Bloque 3-4, Bloque 5-6)
- Horario Tarde (Bloque 7-8, 9-10, 11-12, 13-14)
- No tengo preferencia: Si no hay preferencia indica la generación de diferentes propuestas de horarios.

13 ¿De los siguiente ramos cuales preferirías tener en la MAÑANA? (antes de almuerzo: 1-2-3-4-5-6)

Primer Semestre	Segundo Semestre
Estructuras de datos	Lenguaje De Programación
Estructuras Discretas	Informática Teórica
Teoría De Sistemas	Economía IA
Matemática III	Matemática IV
Física General III	Física General II
Libre 1	Libre 2

Cuadro 3.1: Asignaturas 2er año de Informática posibles en la mañana

Esta pregunta busca acotar las posibilidades de asignación de las asignaturas disminuyendo las opciones disponibles durante la mañana.

14 ¿De los siguiente ramos cuales preferirías tener en la TARDE? (Bloques 7-8-9-10-11-12-13-14)

Primer Semestre	Segundo Semestre
Estructuras de datos	Lenguaje De Programación
Estructuras Discretas	Informática Teórica
Teoría De Sistemas	Economía IA
Matemática III	Matemática IV
Física General III	Física General II
Libre 1	Libre 2

Cuadro 3.2: Asignaturas 2er año de Informática posibles en la tarde

Esta pregunta, al igual que la anterior busca acotar las posibilidades de asignación de las asignaturas disminuyendo las opciones disponibles durante la tarde.

15 ¿Preferirías tener Matemáticas y Física el mismo día?

- Si: Se aplica una restricción que tanto en el primer como el segundo semestre ambos ramos deben dictarse en el mismo día de ser posible.
- No: Se incorpora la restricción de que las cátedras de ambos cursos deben dictarse en días diferentes.
- No es relevante: No se incorpora ninguna restricción al modelo.

16 ¿Cuántos ramos de carrera tendrías como MÁXIMO el mismo día? (ramos: LP, Estructura de datos, TALF, Discretas, Teoría de Sistemas)

Esta pregunta busca determinar un límite máximo de cátedras de los cursos del departamento de informática con el fin de distribuir la carga académica de forma uniforme a lo largo de la semana. Las opciones contemplan 1, 2, 3, 4 o 5 cátedras al día.

17 ¿Cuántos ramos de carrera tendrías como MÍNIMO el mismo día? (ramos: LP, Estructura de datos, TALF, Discretas, Teoría de Sistemas)

Esta pregunta busca determinar un límite inferior de cátedras de los cursos del departamento de informática con el fin de distribuir la carga académica de forma uniforme a lo largo de la semana. Las opciones contemplan 1, 2, 3, 4 o 5 cátedras al día.

18 Los laboratorios de Matemáticas (Mat023 y Mat024) se dictan en 1 bloque y son opcionales ¿Inscribirías el laboratorio?

- Si: Implica la asignación de un bloque libre a la realización del laboratorio de Matemáticas.
- No: No se considera el laboratorio de Matemáticas en el modelo.
- No lo sé: Se deja al menos un bloque libre en el caso de que el alumno quiera cursar el laboratorio.

19 Los laboratorios de física son de carácter obligatorio ¿Preferirías tener una ventana libre después del laboratorio para poder realizar el informe?

Esta pregunta busca determinar si los alumnos al inscribir sus ramos consideran usar un bloque adicional al finalizar su laboratorio para poder realizar el informe correspondiente a la experiencia dada.

- Si: Incorpora la restricción que después del laboratorio de física debe existir un bloque libre.
- No: No incorpora ninguna restricción al modelo.
- No es relevante: No incorpora ninguna restricción al modelo.

20 Comentarios (Si existe alguna otra variable que consideren a la hora de inscribir asignaturas)

Esta pregunta no influye en el modelamiento del caso de estudio, ya que las variables a considerar fueron seleccionadas y aplicadas en la encuesta. Se permite la opción de esta pregunta con el objetivo de determinar futuras variables que puedan o no generar un modelo con mayor precisión.

3.2. Procesamiento De Encuesta

En primer lugar, se organizan los datos recolectados para detectar posibles errores, garantizando que la información utilizada para la creación de las restricciones del modelo refleje lo que la encuesta concluye. A continuación, se procede al análisis de los datos obtenidos:

Preguntas

1 ¿Te gustaría tener una ventana completa para almorzar todos los días?

Un 7% de los encuestados considera que no es necesario tener una ventana completa para almorzar y un 14% no considera esto una problemática. En cambio, un 79% prefiere tener un bloque completo para almorzar diariamente, ya que la hora destinada para esta actividad (13:00 a 14:00) no es suficiente. Por lo anterior, se requiere incorporar la siguiente restricción:

“De lunes a viernes, el bloque 5-6 o el bloque 7-8 deben ser bloques libres”



Figura 3.1: ¿Te gustaría tener una ventana completa para almorzar todos los días?

2 Respecto a las ventanas entre clases, selecciona un orden de preferencia para las siguientes opciones (1 mayor preferencia 4 menos preferencia)

Respecto a la cantidad de bloques libres entre clases, los encuestados prefieren en casi igual medida tener clases seguidas (sin ventanas) o a lo más con un bloque libre entre ellas. Lo que implica la incorporación de la siguiente restricción:

“Al asignar una cátedra a un bloque de horario la siguiente cátedra del mismo día debe ser asignada al bloque siguiente o al subsiguiente”

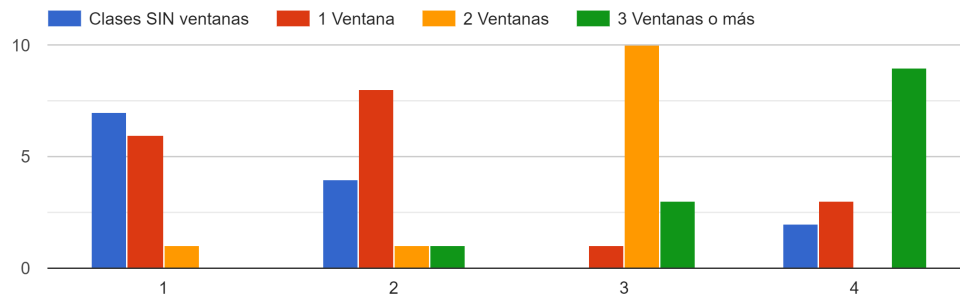


Figura 3.2: Preferencia de bloques libres entre 2 clases consecutivas

3 ¿Cuántas clases tendrías como MÍNIMO por día?

La mitad de los encuestados indican que tendrían por lo menos 3 clases diarias, seguido de un 28.6 % que tendría como mínimo 2 clases y por un 14.3 % que tendría al menos una clase. Lo anterior se traduce en la siguiente restricción:

“De lunes a viernes, se deben asignar al menos 3 cátedras diarias”

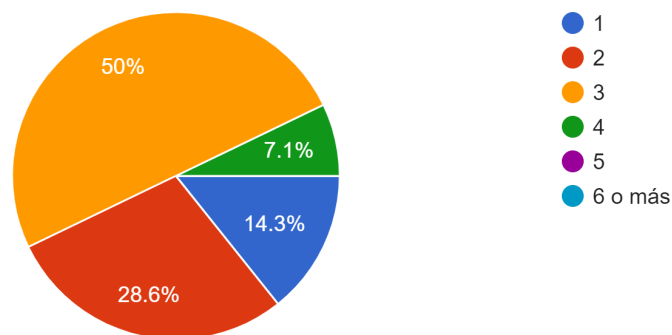


Figura 3.3: Cantidad de cátedras mínimas diarias

4 ¿Cuántas clases tendrías como MÁXIMO por día?

El 64 % de los encuestados indican que tendrían a lo más 5 clases diarias, lo que es posible debido a que la cantidad total de cátedras por semestre corresponde a 17 y 18 respectivamente. Por lo anterior, se incorpora la siguiente restricción:

“De lunes a viernes, se deben asignar a lo más 5 cátedras diarias”

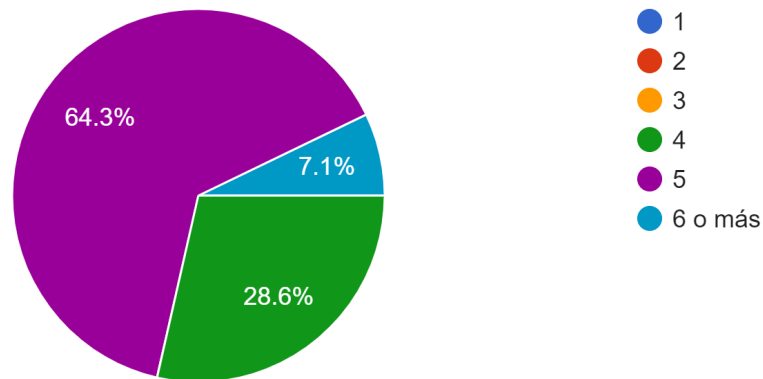


Figura 3.4: Cantidad de cátedras máximas diarias

5 ¿Inscribirías un ramo si una de sus clases fuese la única clase que tienes en el día?

Solo un 28.6 % de los encuestados no asistiría a su clase inscrita si esta fuese la única que tendrían en el día por el contrario un 71.4 % si cursaría la clase. En base a lo anterior, **no se incorporan restricción al modelo del caso.**

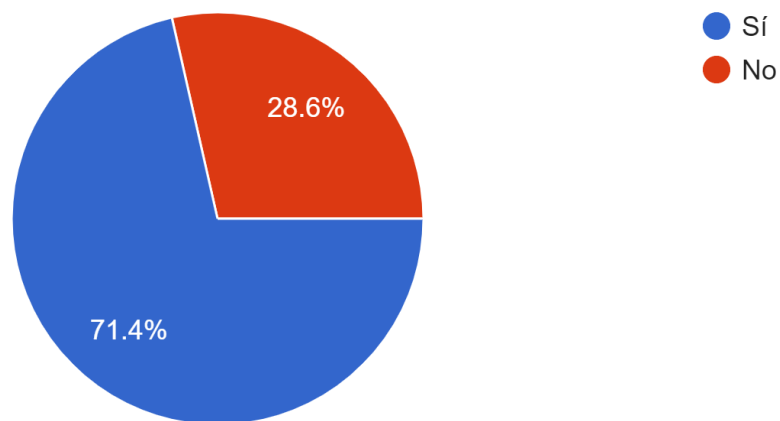


Figura 3.5: Inscripción de asignatura si solo se tuviese 1 clase al día

6 ¿Cuál es la cantidad MÍNIMA de días a la semana que tendrías clases?

La mitad de los encuestados prefiere tener al menos 4 días de clases, una cantidad cercana (42.9 %) prefiere tener al menos 3 días de clases y solo un 7.1 % prefiere tener clases todos los días. Por ende, se incorpora la siguiente restricción:

“Se deben realizar asignaciones de cátedras en al menos 4 días”

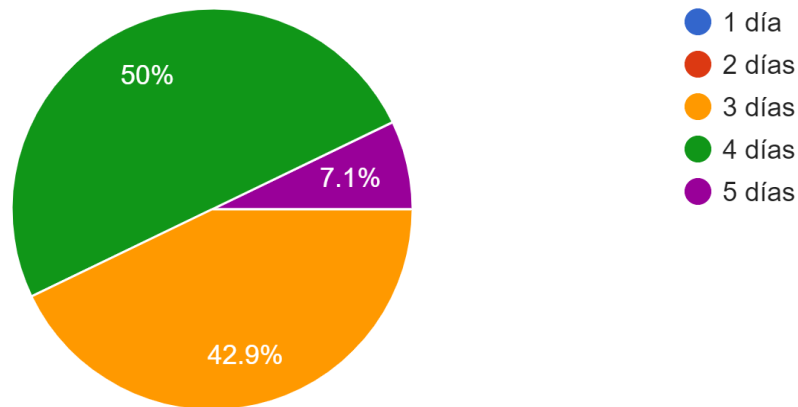


Figura 3.6: Cantidad mínima de días que se tienen clases

7 ¿Cuál es la cantidad MÁXIMA de días a la semana que tendrías clases? (por cantidad de cátedras no es posible realizar las clases en menos de 3 días)

Un 92,9% de los encuestados está dispuesto a tener clases todos los días de la semana y solo un 7.1 % está dispuesto a tener a lo más 4 días de clases. A efectos del caso, 5 es la cantidad máxima de días en los que está permitido tener clases por lo que incorporar esta restricción al modelo no agrega información adicional.

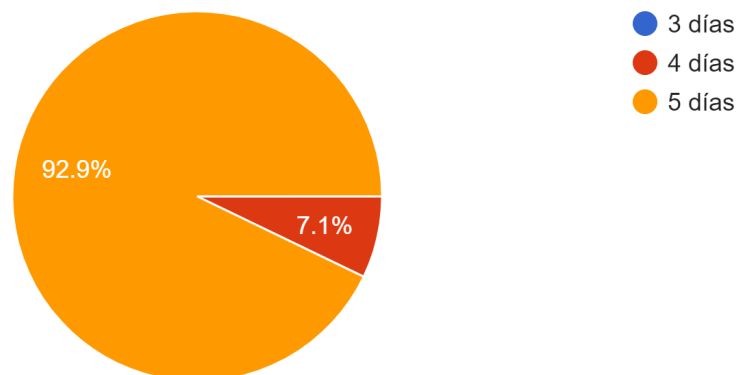


Figura 3.7: Cantidad máxima de días que se tienen clases

8 ¿Qué día preferirías NO tener clases?

A modo de complementar la información obtenida en la pregunta anterior (3.7) se realizó esta pregunta en el caso de que los alumnos NO quisieran tener clases todos los días de la semana, el cual no fue el caso. Por lo anterior, la información de que un 92.9 % hubiese preferido no tener clases los días viernes queda como información complementaria y **no implica una restricción en el modelo.**

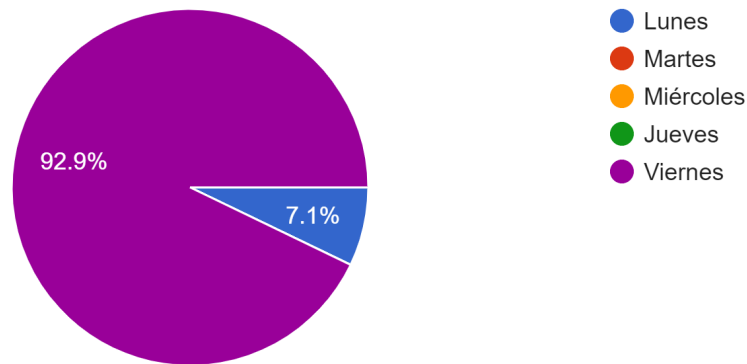


Figura 3.8: Preferencia de días libres (sin clases)

9 ¿En qué bloque de horario prefieres que INICIEN tus clases?

Un 78.6 % de los encuestados prefieren que sus clases inicien en el bloque 3-4, mientras que un 14.3 % prefiere que inicien en el bloque 1-2 y solo un 7.1 % prefiere que inicien en el bloque 5-6. En general los alumnos prefieren iniciar sus clases en la jornada de la mañana. Lo anterior, incorpora la siguiente restricción al modelo:

“De lunes a viernes, no se pueden asignar cátedras en el bloque 1-2”

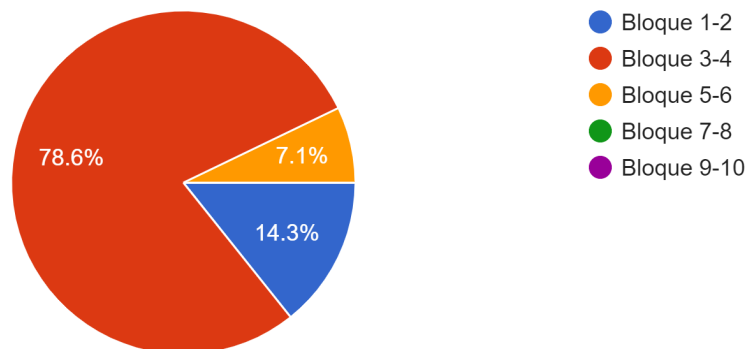


Figura 3.9: Hora de Inicio de clases

10 ¿En qué bloque de horario prefieres que FINALICEN tus clases?

Un 57 % de los encuestados prefieren que sus clases finalicen en el bloque 9-10, mientras que un 35.7 % prefiere que terminen en el bloque 11-12 y solo un 7.1 % prefiere que finalicen en el bloque 13-14. Lo anterior, incorpora la siguiente restricción al modelo:

“De lunes a viernes, no se pueden asignar cátedras en el bloque 11-12 y 13-14”

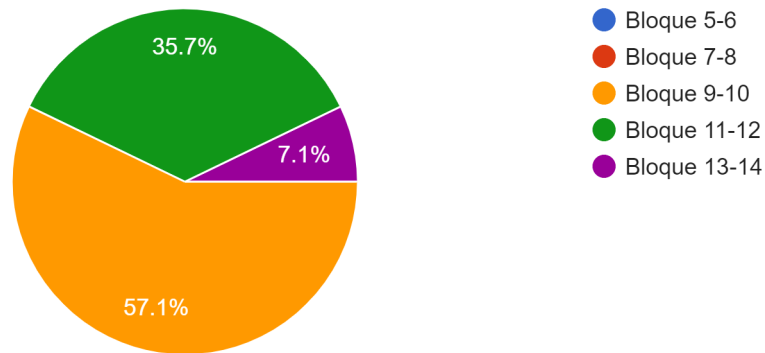


Figura 3.10: Hora de término de clases

11 Si una asignatura obligatoria tiene más de un paralelo ¿Que factor consideras prioritario a la hora de escoger entre uno y otro paralelo?

Esta pregunta al ser de carácter informativo no incorpora ninguna restricción al modelo. Solo busca sentar un antecedente de que el 42.9 % de los alumnos le da prioridad al horario de una asignatura por sobre el profesor que dicte el ramo y por sobre la generación de bloques libres entre cátedras.

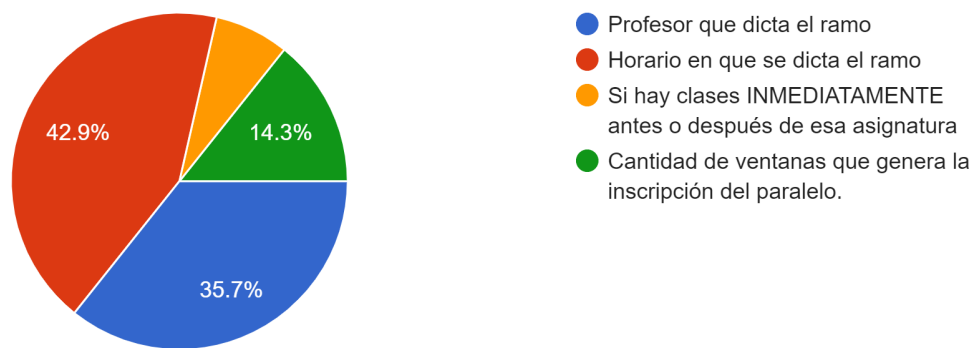


Figura 3.11: Prioridad de parámetros de selección de asignación

12 Si un ramo tiene 2 paralelos que se dictan en diferentes horarios ¿Cual prefieres?

Siguiendo la línea de la información obtenida en las preguntas anteriores, los alumnos prefieren en un 64.3% tener una clase en la jornada de la mañana aunque esta sea impartida también en la jornada de la tarde. Se incorpora la siguiente restricción:

“Se da prioridad en la asignación en los bloques 1-2, 3-4 y 5-6”

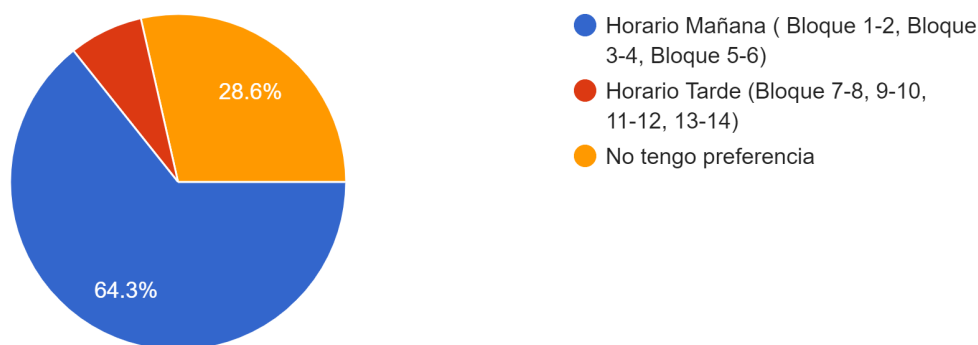


Figura 3.12: Preferencia jornada de mañana v/s jornada de la tarde

13 ¿De los siguiente ramos cuales preferirías tener en la MAÑANA? (antes de almuerzo:1-2-3-4-5-6)

La mayoría de los alumnos prefieren tener sus clases de matemáticas y física en la jornada de la mañana.

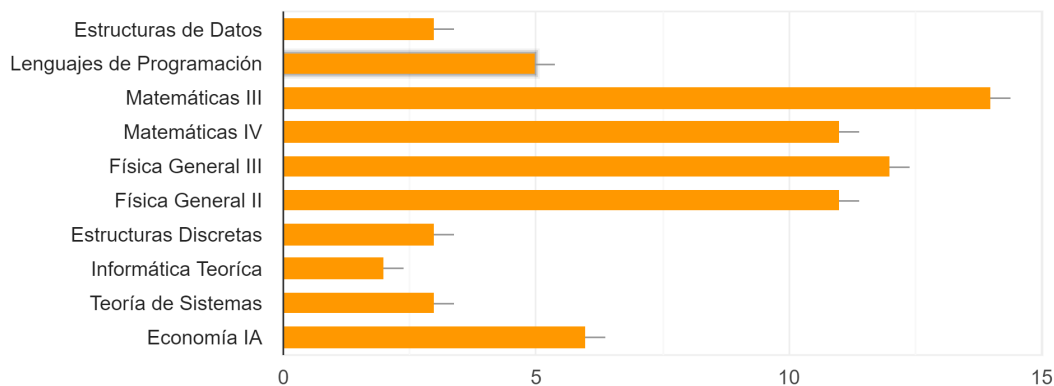


Figura 3.13: Preferencia de asignación de asignaturas en jornada de la mañana

14 ¿De los siguiente ramos cuales preferirías tener en la TARDE? (bloques 7-8-9-10-11-12-13-14)

La mayoría de los encuestados prefieren tener las clases de los ramos de informática en la jornada de la tarde.

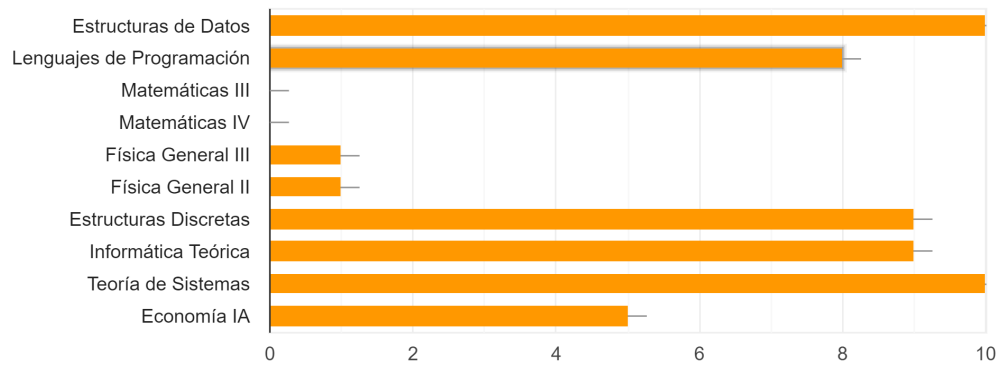


Figura 3.14: Preferencia de asignación de asignaturas en jornada de la tarde

15 ¿Preferirías tener Matemáticas y Física el mismo día?

El 78.6 % de los encuestados no consideran como un parámetro de decisión que los ramos de matemáticas y física se dicten o no el mismo día. Por lo tanto **esta pregunta no afecta el modelo y por ende no agrega una restricción.**

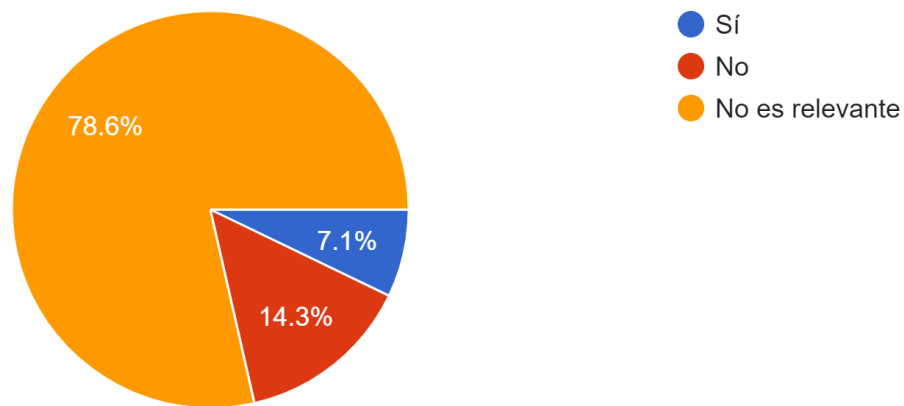


Figura 3.15: Preferencia de clases de ramos comunes dictados el mismo día

16 ¿Cuántos ramos de carrera tendrías como MÁXIMO el mismo día? (ramos: LP, Estructura de datos, TALE, Discretas, Teoría de Sistemas)

A diferencia de los ramos comunes, los encuestados indican en un 57.1 % que a lo más tendrían 3 clases de las asignaturas del departamento de Informática al día. Esto incorpora la siguiente restricción:

"De lunes a viernes, se pueden asignar como máximo 3 clases de asignaturas de informática"

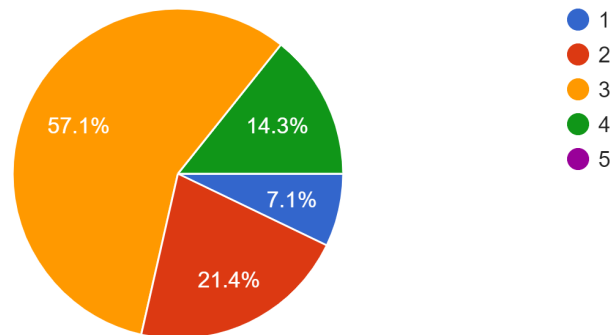


Figura 3.16: Cantidad máxima de ramos de carrera diariamente

17 ¿Cuántos ramos de carrera tendrías como MÍNIMO el mismo día? (ramos: LP, Estructura de datos, TALE, Discretas, Teoría de Sistemas)

Los encuestados indican en un 64.3 % que a lo menos tendrían 1 clase de las asignaturas del departamento de Informática al día. Esta selección, **no incorpora una restricción al modelo.**

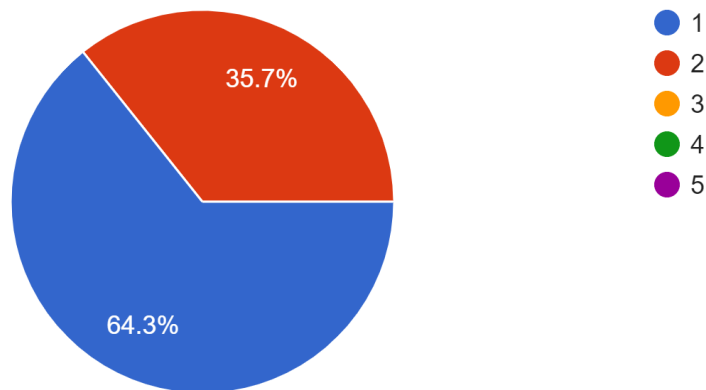


Figura 3.17: Cantidad mínima de ramos de carrera diariamente

18 Los laboratorios de Matemáticas (Mat023 y Mat024) se dictan en 1 bloque y son opcionales ¿Inscribirías el laboratorio?

El 78.8 % de los encuestados no inscribiría el laboratorio de matemáticas al ser de carácter opcional por lo que no genera una restricción al modelo. Sin embargo, y si la propuesta generada lo permite el laboratorio puede ser inscrito en los bloques disponibles que queden en la propuesta.

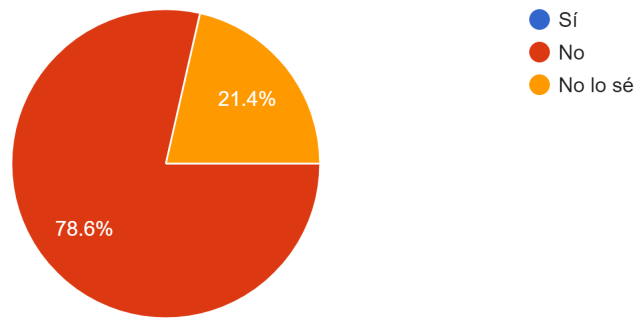


Figura 3.18: Inscripción laboratorio de Matemáticas

19 Los laboratorios de física son de carácter obligatorio ¿Preferirías tener una ventana libre después del laboratorio para poder realizar el informe?

El 85.7 % de los encuestados prefiere contar con un bloque libre después del laboratorio de física. Lo anterior genera la siguiente restricción:

“Se puede asignar el laboratorio a un bloque solo si el bloque siguiente no se tienen clases”

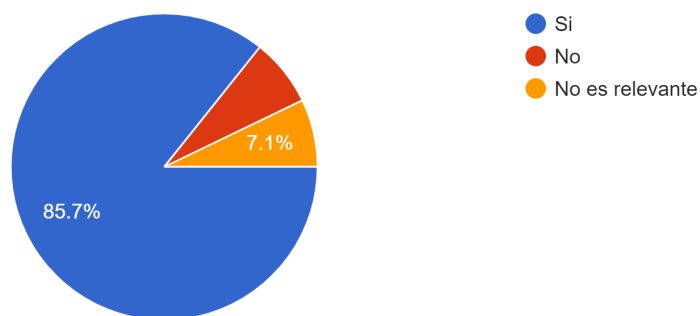


Figura 3.19: Bloque libre para realizar informes de física

3.3. Resumen de Capítulo

La encuesta realizada a los alumnos de Generación 2018 de Ingeniería Civil en Informática consta de 20 preguntas que permitieron determinar restricciones específicas para cada semestre académico del segundo año de bachiller de ICI basadas en las preferencias de los alumnos de la carrera. En 3.3 se indican las restricciones obtenidas por cada una de las preguntas.

Pregunta	Restricción
1	De lunes a Viernes, el bloque 5-6 o el bloque 7-8 deben ser bloques libres
2	Al asignar una cátedra a un bloque de horario la siguiente cátedra del mismo día debe ser asignada al bloque siguiente o al subsiguiente.
3	De lunes a Viernes, se deben asignar al menos 3 cátedras diarias
4	De lunes a Viernes, se deben asignar a lo más 5 cátedras diarias
5	Sin restricción
6	Se deben realizar asignaciones de cátedras en al menos 4 días
7	Sin restricción
8	Sin restricción
9	De lunes a Viernes, no se pueden asignar cátedras en el bloque 1-2
10	De lunes a Viernes, no se pueden asignar cátedras en el bloque 11-12 y 13-14
11	Sin restricción
12	Se da prioridad en la asignación en los bloques 1-2, 3-4 y 5-6
13	Asignación jornada mañana: Matemáticas y Física
14	Asignación jornada tarde: Ramos Informáticos
15	Sin restricción
16	De lunes a Viernes, se pueden asignar como máximo 3 clases de asignaturas de informática
17	Sin restricción
18	Sin restricción
19	Se puede asignar el laboratorio de física a un bloque solo si el bloque siguiente no se tienen clases

Cuadro 3.3: Restricciones obtenidas en base a la encuesta del público objetivo

Capítulo 4

Implementación y Resultados

En este capítulo se presenta el modelo matemático obtenido para los 2 semestres académicos, la solución propuesta, la metodología utilizada para su aplicación y los resultados obtenidos junto a un análisis de los mismos.

4.1. Modelo Matemático

El caso de estudio se define como un problema de satisfacción de restricciones, es decir, sin función objetivo y los modelos matemáticos generados para cada semestre son del tipo lineal con variables de decisión binarias. Para un mejor manejo de la información se realizarán asociaciones numéricas a los datos.

Parámetros

- A: Cantidad total de cátedras.

N	Asignatura	N	Asignatura
1	Estructura De Datos	15	Ayudantía Estructura De Datos
2	Estructuras Discretas	16	Ayudantía Estructuras Discretas
3	Teoría De Sistemas	17	Ayudantía Teoría De Sistemas
4	Matemática III	18	Ayudantía Matemática III
5	Física General III	19	Ayudantía Física General III
6	Libre 1		
7	Lenguaje de Programación	20	Ayudantía Lenguaje de Programación
8	Informática Teórica	21	Ayudantía Informática Teórica
9	Economía IA	22	Ayudantía Economía IA
10	Matemática IV	23	Ayudantía Matemática IV
11	Física General II	24	Ayudantía Física General II
12	Libre 2		
13	Laboratorio Matemática III	25	Laboratorio Matemáticas IV
14	Laboratorio Física III	26	Laboratorio Física II

Cuadro 4.1: Asociación numérica de las asignaturas por asignar

- B: Cantidad total de bloques para asignar clases.

N	Bloque	Hora
1	1 - 2	08:00 - 09:30
2	3 - 4	09:45 - 11:15
3	5 - 6	11:30 - 13:00
4	7 - 8	14:00 - 15:30
5	9 - 10	15:40 - 17:10
6	11 - 12	17:20 - 18:50
7	13 -14	19:00 - 20:30

Cuadro 4.2: Bloques de tiempo UTFSM pregrado

- D: Cantidad de días de la semana donde se pueden tener clases.

N	Día
1	Lunes
2	Martes
3	Miércoles
4	Jueves
5	Viernes

Cuadro 4.3: Días de la semana en los cuales se pueden tener clases

C_a : Cátedras semanales de la Asignatura $a \forall a = 1, \dots, A$

Asignatura	# Cátedras	Asignatura	# Cátedras
1	2	15	1
2	2	16	1
3	2	17	1
4	3	18	1
5	2	19	1
6	1		
7	2	20	1
8	2	21	1
9	2	22	1
10	2	23	1
11	2	24	1
12	1		
13	1	25	1
14	1	26	1

Cuadro 4.4: Cantidad de cátedras semanales de las asignaturas

Variables de Decisión

- Variable binaria

$$X_{abd} = \begin{cases} 1 & \text{Si la asignatura } a \text{ es asignada al bloque } b \text{ del día } d \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad \forall a = 1, \dots, A \quad \forall b = 1, \dots, B \quad \forall d = 1, \dots, D$$

Restricciones Generales

- Cantidad de clases semanales de cada asignatura

$$\sum_{d=1}^D \sum_{b=1}^B X_{abd} = C_a \quad \forall a = 1, \dots, A$$

- Bloques en los cuales no se pueden realizar clases (restricción UTFSM)

1. Día Martes bloque 5-6:

$$X_{a32} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$$

2. Día Jueves bloque 5-6:

$$X_{a34} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$$

- Un alumno solo puede asistir a una asignatura en un mismo bloque (evita tope de horarios)

$$\sum_{a=1}^A X_{abd} \leq 1 \quad \forall b = 1, \dots, B \quad \forall d = 1, \dots, D$$

Restricciones Preferencias Alumnos

- De lunes a Viernes, el bloque 5-6 o el bloque 7-8 deben ser bloques libres

$$\sum_{a=1}^A (X_{a3d} + X_{a4d}) \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$$

- Máximo 1 ventana entre 2 clases seguidas

$$2 \sum_{a=1}^A (X_{abd} + X_{a(b+1)d}) \geq X_{a(b+2)d} \quad \forall b = 1, \dots, B-2 \quad \forall d = 1, \dots, D$$

- Cantidad mínima de cátedras diarias

$$\sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B X_{abd} \geq 3 \quad \forall d = 1, \dots, D$$

- Cantidad máxima de cátedras diarias

$$\sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B X_{abd} \leq 5 \quad \forall d = 1, \dots, D$$

- Cantidad mínima de días de clases

$$\sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B X_{abd} \geq 4 \quad \forall a = 1, \dots, A \quad \forall b = 1, \dots, B$$

- De lunes a Viernes, no se pueden realizar clases en el bloque 1-2

- Día Lunes bloque 1-2: $X_{a11} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Martes bloque 1-2: $X_{a12} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Miércoles bloque 1-2: $X_{a13} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Jueves bloque 1-2: $X_{a14} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Viernes bloque 1-2: $X_{a15} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$

- De lunes a Viernes, no se pueden realizar clases en el bloque 11-12 y 13-14

- Día Lunes bloque 11-12: $X_{a61} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$

- Día Martes bloque 11-12: $X_{a62} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Miércoles bloque 11-12: $X_{a63} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Jueves bloque 11-12: $X_{a64} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Viernes bloque 11-12: $X_{a65} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Lunes bloque 13-14: $X_{a71} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Martes bloque 13-14: $X_{a72} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Miércoles bloque 13-14: $X_{a73} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Jueves bloque 13-14: $X_{a74} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$
- Día Viernes bloque 13-14: $X_{a75} = 0 \quad \forall a = 1, \dots, A$

Restricciones Primer Semestre

- Asignación Jornada Mañana: Matemáticas y Física
 - Matemáticas III: $X_{41d} + X_{42d} + X_{43d} \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$
 - Física General III: $X_{51d} + X_{52d} + X_{53d} \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$
- Asignación Jornada Tarde: Ramos Informáticos
 - Estructuras de Datos: $X_{14d} + X_{15d} + X_{16d} + X_{17d} \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$
 - Estructuras Discretas: $X_{24d} + X_{25d} + X_{26d} + X_{27d} \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$
 - Teoría de Sistemas: $X_{34d} + X_{35d} + X_{36d} + X_{37d} \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$
- Horarios Matemáticas III: Lunes, Miércoles y Viernes en horarios 5-6 (mismo horario todos los días)

$$X_{431} = 1 \quad X_{433} = 1 \quad X_{435} = 1$$

- Horario Ayudantía Matemáticas III: Miércoles 11-12

$$X_{463} = 1$$

- Horarios Física III: Martes y Jueves (mismo horario ambos días)

$$X_{512} + X_{522} + X_{532} + X_{542} + X_{552} + X_{562} + X_{572} \leq 1$$

$$X_{5b2} - X_{5b4} \leq 0 \quad \forall b = 1, \dots, B$$

- De lunes a viernes, se pueden asignar como máximo 3 cátedras de clases del departamento de informática

$$\sum_{b=1}^B (X_{1bd} + X_{2bd} + X_{3bd}) \leq 3 \quad \forall d = 1, \dots, D$$

- Bloque libre después del laboratorio de Física General III

$$\sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D X_{(14)bd} + X_{(14)(b+1)d} \leq 1$$

Restricciones Segundo Semestre

- Asignación Jornada Mañana: Matemáticas y Física
 - Matemáticas IV: $X_{(10)1d} + X_{(10)2d} + X_{(10)3d} \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$
 - Física General II: $X_{(11)1d} + X_{(11)2d} + X_{(11)3d} \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$
- Asignación Jornada Tarde: Ramos Informáticos
 - Lenguajes de Programación: $X_{71d} + X_{72d} + X_{73d} \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$
 - Informática Teórica: $X_{81d} + X_{82d} + X_{83d} \leq 1 \quad \forall d = 1, \dots, D$
- Horarios Matemáticas IV: Lunes y Miércoles o Martes y Jueves (mismo horario ambos días)

$$\begin{aligned} X_{(10)b1} + X_{(10)b2} &\leq 1 & \forall b = 1, \dots, B \\ X_{(10)b1} - X_{(10)b3} &\leq 0 & \forall b = 1, \dots, B \\ X_{(10)b2} - X_{(10)b4} &\leq 0 & \forall b = 1, \dots, B \end{aligned}$$

- Horarios Ayudantía Matemáticas IV: Lunes 11-12

$$X_{(10)61} = 1$$

- Horarios Física II: Lunes y Miércoles o Martes y Jueves (mismo horario ambos días)

$$\begin{aligned} X_{(11)b1} + X_{(11)b2} &\leq 1 & \forall b = 1, \dots, B \\ X_{(11)b1} - X_{(11)b3} &\leq 0 & \forall b = 1, \dots, B \\ X_{(11)b2} - X_{(11)b4} &\leq 0 & \forall b = 1, \dots, B \end{aligned}$$

- De lunes a viernes, se pueden asignar como máximo 3 cátedras de clases del departamento de informática

$$\sum_{b=1}^B (X_{71bd} + X_{8bd}) \leq 3 \quad \forall d = 1, \dots, D$$

- Bloque libre después del laboratorio de Física General II

$$\sum_{b=1}^B \sum_{d=1}^D X_{(26)bd} + X_{(26)(b+1)d} \leq 1$$

- Naturaleza de las variables

$$X_{abd} = \{0, 1\} \quad \forall a = 1, \dots, A \quad \forall b = 1, \dots, B \quad \forall d = 1, \dots, D$$

4.2. Solución Propuesta

Para la aplicación de los modelos diseñados se utilizó Microsoft EXCEL en conjunto con uno de sus complementos. En primer lugar, se intentó ejecutar el modelo mediante el complemento que viene por defecto y que solo debe ser habilitado mediante las opciones de EXCEL. Este solver tiene limitaciones en cuanto a la cantidad de variables de decisión que pueden ser ingresadas, la cantidad total de variables de cada modelo es cerca a las 450 variables, cantidad que no pudo ser soportada por esta herramienta, ya que era superior a la permitida.

Por lo anterior, se utilizó un segundo complemento que debe ser descargado e instalado en EXCEL. Este complemento es **OpenSolver**¹, el cual es un optimizador *OpenSource* que puede resolver problemas de tipo lineal, entero y no lineal. Este solver si soporta la cantidad de variables de decisión por lo que se continua su uso. El motor de resolución por el cual se resolvieron los modelos es COIN-OR CBC, escrito en C++.

Para resolver un modelo, **OpenSolver** requiere el ingreso de una función objetivo, variables y restricciones. El caso de estudio fue definido como un problema de satisfacción de restricciones por lo que para ejecutar el complemento se consideró como función objetivo:

Maximizar la sumatoria de los valores de las variables de decisión:

$$\text{Máx } Z = \sum_{a=1}^A \sum_{d=1}^D \sum_{b=1}^B X_{abd}$$

Lo anterior significa que el máximo valor que puede tomar la función es cuando todas las cátedras que deben ser impartidas en el semestre son asignadas, es decir, el objetivo deseado. La limitación de esta herramienta es que solo muestra como resultado una solución factible que cumpla con todas las restricciones ingresadas.

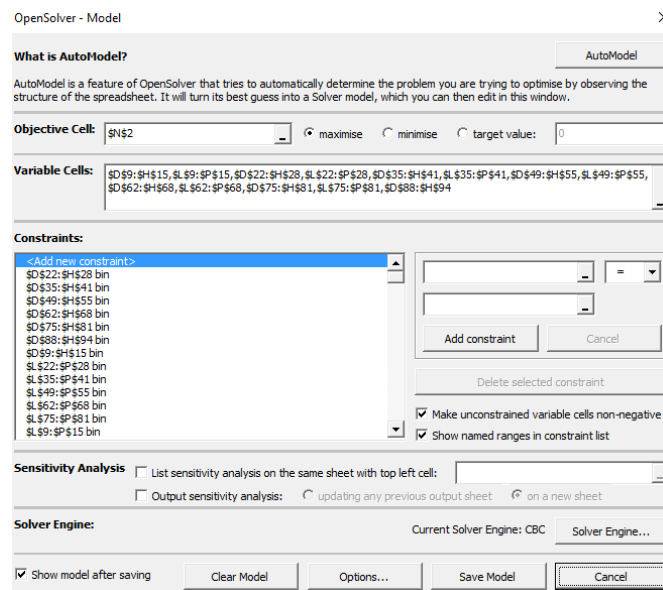


Figura 4.1: OpenSolver, complemento de Excel

¹<https://opensolver.org>

4.3. Metodología de implementación

Para la realización de la implementación, se siguió el siguiente proceso:

- Creación de 3 hojas de EXCEL: Una por semestre y otra que contiene el resultado en formato de horario para un mejor entendimiento visual de la solución entregada por el solver.
- En cada hoja de EXCEL que representa un semestre, se establecieron las variables de decisión las cuales fueron organizadas por asignatura donde cada una es presentada en una tabla cuyas filas corresponden a los bloques de horario y sus columnas corresponden a los días de la semana.
- Ingreso de los parámetros correspondiente a la cantidad de cátedras que deben ser impartidas por cada asignatura.
- En el solver, se ingresó en forma de restricción que cada variable de decisión es del tipo binario.
- Una a una se ingresaron al solver las restricciones del modelo, tanto generales como específicas del semestre respectivo. Se ejecuta la herramienta cada vez que una restricción nueva era ingresada para verificar la factibilidad de la solución obtenida.
- Al finalizar de ingresar todas las restricciones, se verificó visualmente que la propuesta de horario obtenida asignase todas las cátedras y cumpliera tanto las restricciones generales como específicas.

Como se puede observar en las figura 4.2 cuando una solución es factible el programa reemplaza las casillas de las variables de decisión por 1 si la asignatura es asignada en ese tiempo o 0 si la asignatura no es asignada.

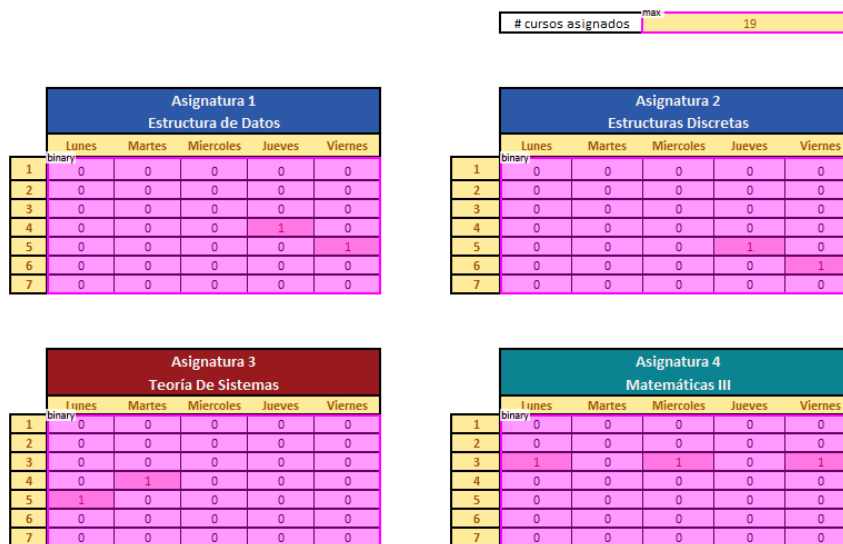


Figura 4.2: Asignación de clases a un bloque de horario

Respecto a la factibilidad de las restricciones, de la imagen 4.3 correspondiente a la hoja excel se comprueba que es posible realizar una verificación visual del cumplimiento de las restricciones. La primera columna numérica, corresponde al lado izquierdo de la restricción mientras que la segunda columna corresponde al lado derecho. La columna de que operación se aplica es una ayuda visual, ya que, esto se ingresa en el modelo.

En el caso de soluciones infactibles, el sistema avisa que el solver no pudo encontrar una solución factible, pero de igual forma muestra los valores obtenidos en el lado derecho de la restricción.

RESTRICCIONES GENERALES			
Cantidad de Clases Semanales			
Estructura de Datos	2	-	= 2
Estructuras Discretas	2	-	= 2
Teoría de Sistemas	2	-	= 2
Matemáticas III	3	-	= 3
Física General III	2	-	= 2
Libre 1	1	-	= 1
Ayudantía Estructura de Datos	1	-	= 1
Ayudantía Estructuras Discretas	1	-	= 1
Ayudantía Teoría de Sistemas	1	-	= 1
Ayudantía Matemáticas III	1	-	= 1
Ayudantía Física General III	1	-	= 1
Laboratorio Matemáticas III	1	-	= 1
Laboratorio Física General III	1	-	= 1
Bloques en los cuales no se pueden realizar clases			
Martes y Jueves bloque 5-6	0	-	= 0

Figura 4.3: Resultado de las restricciones aplicadas

4.4. Resultados y Análisis

A continuación se presentan las 2 soluciones entregadas por *OpenSolver* para cada semestre académico:

Primer Semestre

En 4.4 se muestra la propuesta final de asignación de cátedras correspondiente al primer semestre del segundo año académico:

Propuesta Asignación Primer Semestre					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1-2					
3-4	Libre 1	Física General III	Ayudantía Física General III	Física General III	Ayudantía Estructuras Discretas
5-6	Matemáticas III		Matemáticas III		Matemáticas III
7-8		Teoría De Sistemas		Estructura de Datos	
9-10	Teoría De Sistemas	Ayudantía Teoría De Sistemas	Ayudantía Estructura de Datos	Estructuras Discretas	Estructura de Datos
11-12	Ayudantía Matemáticas III	Laboratorio Matemáticas III		Laboratorio Física General III	Estructuras Discretas
13-14					

Figura 4.4: Propuesta Primer Semestre ICI, Casa Central

De la imagen anterior, se puede verificar lo siguiente:

- Para cumplir con la restricción de la pregunta 3.1, al menos uno de los bloques de horario cercano a la hora que la universidad destina para almorzar (13 PM) es libre:
 - Bloque 5-6 (11:30 AM - 13 PM): Martes y Jueves.
 - Bloque 7-8 (14 PM - 15:30 PM): Lunes, Miércoles y Viernes.
- Cada día se imparten a lo menos 3 clases y a lo más 5 con el fin de respetar las restricciones de las preguntas 3.3 y 3.4:
 - 3 clases: Miércoles.
 - 4 clases: Lunes, Martes, Jueves y Viernes.
- Las clases de los asignaturas de Matemáticas III y Física III son impartidas durante la jornada de la mañana en concordancia con el resultado obtenido en la pregunta 3.13:
 - Matemáticas III: Lunes, Miércoles y Viernes bloque 5-6.

- Física III: Martes y Jueves bloque 3-4.
- Las clases de Estructura de Datos, Teoría de Sistemas y Estructuras Discretas son impartidas en la jornada de la Tarde en concordancia con el resultado obtenido de la pregunta 3.14:
 - Estructura de Datos: Jueves 7-8 y Viernes 9-10.
 - Teoría De Sistemas: Lunes 9-10 y Martes 7-8.
 - Estructuras Discretas: Jueves 9-10 y Viernes 11-12.
- En ambos casos anteriores, solamente se consideraron las clases impartidas por un profesor para la restricción, por ende, las ayudantías y laboratorios que son impartidas por alumnos ayudantes quedaron fuera de esta limitación de jornada.
- Se asignaron como máximo 3 clases diarias de ramos informáticos, nuevamente esta restricción no considera laboratorios y ayudantías:
 - Lunes: Teoría de Sistemas.
 - Martes: Teoría de Sistemas.
 - Miércoles: Sin clases de Informática.
 - Jueves: Estructura de datos y Estructuras Discretas.
 - Viernes: Estructura de datos y Estructuras Discretas.
- Después del laboratorio de física General III asignado el día Jueves en el bloque 11-12 existe un bloque libre para que los alumnos puedan realizar el informe del laboratorio.

Restricciones Generales

Adicional a las restricciones anteriores, existen restricciones compartidas entre ambos semestres:

- No existe tope de horario, es decir, 2 clases no pueden ser realizadas en el mismo bloque del mismo día.
- Los días Martes y Jueves en el bloque 5-6 no se pueden realizar clases por restricción impuesta por la Universidad.
- Entre cada par de clases existe a lo más un bloque libre, ya que los alumnos no estaban disponibles a esperar un tiempo mayor entre clases. Existiendo la posibilidad de que 2 clases estén seguidas.
- No se realizan clases en el bloque 1-2. Esta restricción es obtenida como resultado de la pregunta 3.9 realizada a los estudiantes, los cuales preferían que sus clases comenzarán en el bloque 3-4.
- En base a una pregunta similar a la anterior, no se realizan clases en el bloque 13-14. Esta restricción fue modificada ya que también se solicitaba no tener clases en el bloque 11-12, lo cual no fue considerado en el modelo porque la cantidad de bloques disponibles para asignar las cátedras era menor a la cantidad de bloques requeridos al aplicar la restricción de que no hubiese clases en el bloque 1-2 por lo que fue necesario extraer esta restricción del modelo.

Segundo Semestre

En 4.5 se muestra la propuesta final de asignación de cátedras correspondiente al segundo semestre del segundo año académico, esta solución comparte las restricciones generales mencionadas en la sección anterior:

Propuesta Asignación Segundo Semestre					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1-2					
3-4	Física General II	Laboratorio Matemáticas IV	Física General II	Laboratorio Física General II	Economía IA
5-6	Matemáticas IV		Matemáticas IV		
7-8		Libre 2		Ayudantía Física General II	Ayudantía Informática Teórica
9-10	Ayudantía Economía IA	Economía IA	Ayudantía Lenguaje De Programación		
11-12	Ayudantía Matemáticas IV	Informática Teórica	Informática Teórica	Lenguajes de Programación	Lenguajes de Programación
13-14					

Figura 4.5: Propuesta Segundo Semestre ICI, Casa Central

De la imagen anterior, se puede verificar lo siguiente:

- Para cumplir con la restricción de la pregunta 3.1, al menos uno de los bloques de horario cercano a la hora que la universidad destina para almorzar (13 PM) es libre:
 - Bloque 5-6 (11:30 AM - 13 PM): Martes, Jueves y Viernes.
 - Bloque 7-8 (14 PM - 15:30 PM): Lunes y Miércoles.
- Cada día se imparten a lo menos 3 clases y a lo más 5 con el fin de respetar las restricciones de las preguntas 3.3 y 3.4:
 - 3 clases: Jueves y Viernes.
 - 4 clases: Lunes, Martes y Miércoles.
- Las clases de los asignaturas de Matemáticas IV y Física II son impartidas durante la jornada de la mañana en concordancia con el resultado obtenido en la pregunta 3.13:
 - Matemáticas IV: Martes y Jueves bloque 5-6.
 - Física II: Lunes y Jueves bloque 3-4.
- Las clases de Informática Teórica y Lenguajes de Programación son impartidas en la jornada de la Tarde en concordancia con el resultado obtenido de la pregunta 3.14:
 - Informática Teórica: Martes y Miércoles 11-12.
 - Lenguajes de Programación: Jueves y Viernes.

- En ambos casos anteriores, al igual que en el primer semestre solamente se consideraron las clases impartidas por un profesor para la restricción, por ende, las ayudantías y laboratorios que son impartidas por alumnos ayudantes quedaron fuera de esta limitación de jornada.
- Se asignaron como máximo 3 clases diarias de ramos informáticos, nuevamente esta restricción no considera laboratorios y ayudantías:
 - Lunes: Sin ramos informáticos.
 - Martes: Informática Teórica.
 - Miércoles: Informática Teórica.
 - Jueves: Lenguajes de Programación.
 - Viernes: Lenguajes de Programación.
- Después del laboratorio de física General II asignado el día Jueves en el bloque 3-4 existe un bloque libre para que los alumnos puedan realizar el informe del laboratorio.

Especificaciones

Los modelos fueron ejecutados en un computador con las siguientes especificaciones:

- Sistema operativo Windows 10 64-bit
- AMD Phenom II X4 965 *Processor*
- 12 GB RAM
- AMD Radeon R9 200 Series

Experimentos

Las propuestas anteriores pueden verse modificadas si se consideran las siguientes observaciones:

- Algunos ramos libres son convalidados por actividades que no requieren sesiones semanales tales como talleres o actividades extracurriculares que se realizan solo una vez al semestre por ende el horario asignado es probable que no sea utilizado.
- Los laboratorios de Física III y Física IV cuentan con 4 sesiones por semestre por lo que estas asignaciones no se utilizarán la mayor parte del semestre.
- Un 78.6 % de los encuestados consideró no tomar el laboratorio de matemáticas al ser de carácter optativo.

Se realizaron modelos alternativos (figura 4.6 y 4.7) para ambos semestres incluyendo estas observaciones. En ambos experimentos se puede apreciar una disminución de la carga académica y una mayor distribución de las clases a lo largo de las opciones disponibles. Tanto en los modelos originales como en los experimentales el alumno inicia sus clases en el bloque 3-4 pero en las propuestas experimentales finaliza sus clases más temprano la mayoría de los días.

Tiempos de Ejecución

Para el modelo del primer semestre el tiempo de ejecución promedio fue de 0.03 [Seg], para el segundo semestre fue de 0.07 [Seg], en el caso de los modelos experimentales fue de 0.01 [Seg] para el primer semestre y 0.04 [Seg] para el segundo semestre. Se destaca que obtener una solución final cuando un modelo está bien definido toma menos de un segundo.

Propuesta 1er Semestre Sin Laboratorios - Sin Asig. Libre					
1-2					
3-4	Ayudantía E. de Datos	Física III	Ay. Teoría de Sistemas	Física III	Ayudantía E. Discretas
5-6	Matematicas III		Matematicas III		Matematicas III
7-8		Teoría de Sistemas		Estructura de Datos	
9-10	Estructuras Discretas		Teoría de Sistemas		Ayudantía Física
11-12	Ayudantía Matemática III	Estructura de Datos		Estructuras Discretas	
13-14					

Figura 4.6: Propuesta Experimento Primer Semestre ICI, Casa Central

Propuesta 2do Semestre Sin Laboratorios - Sin Asig. Libre					
	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes
1-2					
3-4	Matematicas IV	Física IV	Matematicas IV	Física IV	Ay. Informática Teórica
5-6					Ay. Lenguaje de Programación
7-8	Ay. Física Iv	Economía IA	Economía IA	Ay. Economía IA	
9-10			Informática Teórica		Lenguaje de Programación
11-12	Ayudantía Matematicas IV	Informática Teórica		Lenguaje de Programación	
13-14					

Figura 4.7: Propuesta Experimento Segundo Semestre ICI, Casa Central

4.5. Resumen de Capitulo

En primer lugar, se definieron los modelos utilizados por semestre académico en base a restricciones generales propias del problema y en base a restricciones específicas asociadas a los cursos a asignar y a las preferencias de los alumnos.

Los modelos son resueltos mediante el complemento de EXCEL, *OpenSolver*, obteniendo en cada semestre una propuesta que cumple con las restricciones ingresadas. Adicionalmente y para adaptar en mayor medida a la realidad las propuestas generadas se realizaron experimentos en ambos semestres que resultaron en propuestas similares a las iniciales, pero una mayor flexibilidad horaria. Una vez creado el modelo en EXCEL su modificación para la ejecución de los experimentos fue rápida y expedita, por lo que la incorporación y/o eliminación de restricciones es posible de realizar para futuras modificaciones.

Si bien los tiempos de ejecución de la herramienta son ínfimos se puede vislumbrar que en los modelos experimentales que contaban con una menor cantidad de restricciones, el software fue más rápido.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones Generales

La asignación de cursos a intervalos definidos es una problemática que toda institución educativa tiene al inicio de un semestre académico por lo que su estudio y aplicación persevera a través de los años. La mayor dificultad del problema es que no se puede definir un modelo que sea aplicable a cualquier caso, ya que, las restricciones pertenecientes al modelo dependen en su mayoría de las limitaciones impuestas por la casa de estudio o del departamento que dicte las asignaturas. Desde 1972, se han aplicado diversas técnicas de resolución tanto completas como incompletas para resolver casos específicos de asignación.

En este trabajo, se ha analizado y resuelto el caso correspondiente a la malla de bachiller de Ingeniería Civil Informática. El plan de estudios respectivo considera los 2 primeros años de la carrera impartida en el Campus de Casa Central. En relación con el primer año académico es la universidad quien asigna de manera automática las asignaturas sin permitir que el alumno pueda participar de este proceso. En el segundo año académico, el alumno puede decidir en base a sus parámetros personales en que horarios asignar un conjunto de asignaturas predeterminadas, es a este conjunto de estudiantes quienes aprobaron todas sus asignaturas de su primer año académico a quienes va dirigido el estudio.

En el desarrollo de este estudio se lograron generar propuestas de asignación de horarios en base a la siguiente estrategia:

- Determinación de las restricciones generales del caso de estudio.
- Implementación y análisis de encuestas para determinar las restricciones específicas.
- Diseño de un modelo matemático que abarque todos los parámetros del problema.
- Generación de propuestas para cada caso en específico mediante la utilización de *Open-Solver* y EXCEL.

La planificación horaria obtenida tiene como fin entregar una propuesta balanceada académicamente que además incluya las preferencias de los estudiantes otorgándoles flexibilidad de tiempo para actividades extracurriculares como por ejemplo trabajo, talleres, hobbies, etc. con el objetivo de que al participar del proceso de asignación basado en sus preferencias se reduzca el % de estudiantes que abandonen sus estudios. Un horario diseñado para el alumno permite que tenga una mayor posibilidad de aprobación, ya que está construido en base a sus

capacidades y necesidades.

Los modelos obtenidos aplican restricciones que limitan las decisiones de los alumnos, esto a causa de la existencia de ramos comunes tales como los cursos de matemáticas y física cuya coordinación académica es externa al departamento de informática y por ende no se pueden modificar las restricciones impuestas y el horario propuesto debe acomodarse a estos requerimientos, por ejemplo que el curso de matemáticas se dicte en el mismo bloque horario en diferentes días de la semana o que la asignación de la ayudantía asociada sea por defecto en el bloque 11-12 de los días lunes. En el análisis de las asignaciones históricas del conjunto de ramos a asignar no se consideró la realización de un histórico a los ramos del departamento de Informática, ya que, el objetivo es entregarles flexibilidad a los alumnos siendo más factible modificar administrativamente la asignación de los ramos del departamento.

5.2. Cumplimiento Objetivos

Al inicio de este trabajo se definieron los objetivos específicos que se buscaban cumplir con este estudio. A continuación, se reflexionará sobre el cumplimiento de cada uno de ellos:

- **Clasificar y analizar las asignaturas de la malla de Bachiller de Ingeniería Civil Informática**

Al tener ya seleccionadas las asignaturas a trabajar, la recopilación y clasificación de información referente a la cantidad de cátedras, obligatoriedad del ramo, departamento asociado fue un proceso rápido, ya que, la información se encuentra disponible en el sistema de Gestión Académica (SIGA). Se tuvo una mayor dificultad respecto al manejo de los ramos comunes ya que al ser cursos que se imparten a alumnos de diversas carreras las restricciones asociadas son bastante específicas.

- **Diseñar y aplicar encuestas a estudiantes que cursan las asignaturas estudiadas con el fin de determinar perfiles de alumnos**

La encuesta realizada esta conformada por un total de 20 preguntas, las cuales tenían el objetivo de abarcar todas las posibles variables que los alumnos consideran al momento de inscribir sus ramos. Estuvo compuesta en su mayoría por preguntas de selección múltiple con el objetivo de determinar restricciones que fueran aplicables a la mayoría de los estudiantes de la generación estudiada.

- **Generar en base a la información obtenida uno modelo que permita una asignación de horarios factible**

Este punto es el objetivo más importante de este trabajo, la generación de propuestas factibles que puedan ser aplicadas y seguidas en la vida real por los estudiantes. Se puede decir que se cumplió, ya que, el modelo fue capaz de en base a toda la información reunida entregar como solución un horario factible.

5.3. Mejoras y Trabajo Futuro

Si bien se propuso una solución donde se logró generar un modelo y propuesta de horarios factibles, aún hay espacio para seguir mejorando. El modelo matemático asigna clases a horarios que estén libres sin considerar la disponibilidad de salas o de recursos necesarios para la realización de la clase, tales como data, mesas de trabajo especiales, computadores, etc. Una mejora sustancial sería la verificación de disponibilidad de infraestructura al intentar de asignar una clase a un bloque de horario.

Respecto al proceso de la aplicación de encuesta, una mejora sería la ampliación del periodo de tiempo en el cual es aplicada la encuesta, además de una mayor difusión y de considerar variables diferentes a las planteadas, ya que, al ser la mayoría preguntas de selección múltiple es posible que existan otras variables que los alumnos consideren a la hora de inscribir un ramo y no hayan sido utilizadas para el diseño de la encuesta y que podrían en algún caso cambiar el modelo generado.

Si bien como resultado de la pregunta 3.11 el 46.7 % de los encuestados le dio prioridad al horario en que se dicta un ramo antes que al profesor quien lo dicta, no es menor que un 33.3 % tenga en consideración esta última variable. Una mejora al modelo puede ser la implementación de una variable que asocie un profesor a una asignatura y se considera al momento de inscribir una clase.

Otra mejora sería ampliar el público objetivo al cual se le generan propuestas de horarios y considerar a alumnos que a pesar de estar en su segundo año no vayan con la malla al día, ya sea porque han reprobado un ramo o porque han adelantado cursos al por ejemplo aprobar el Programa Preliminar de Ingeniería (PPI) que imparte la UTFSM en su campus central.

En relación al trabajo futuro y como se pudo observar mediante la realización del experimento que extrae las restricciones de los laboratorios y la asignatura libre, una modificación al modelo aunque sea menor genera una propuesta totalmente diferente a la original por lo que si bien las propuestas generadas cumplen con las restricciones del caso estudiado se sugiere como mejora automatizar el proceso de ingreso de restricciones basadas en las preferencias de los alumnos brindando así una herramienta que puede generar propuestas específicas para cada alumno y no solamente una propuesta generalizada para la generación, ya que los resultados de la encuesta en su mayoría considera la opinión del 80 % de los encuestados. Con la mejora anterior se podría considerar la opinión de todos los alumnos. Cabe destacar que esta mejor generaría propuestas similares, ya que las diferencias se verían aplicadas solamente en el caso de que una asignatura cuenta con más de un paralelo disponible en diferentes horarios.

Bibliografía

- [1] Jean Paul Boufflet y Stéphane Nègre. «Three methods used to solve an examination timetable problem». En: *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*. Springer. 1995, págs. 325-344.
- [2] Edmund K Burke, James P Newall y Rupert F Weare. «A memetic algorithm for university exam timetabling». En: *international conference on the practice and theory of automated timetabling*. Springer. 1995, págs. 241-250.
- [3] Shu-Chuan Chu, Yi-Tin Chen y Jiun-Huei Ho. «Timetable scheduling using particle swarm optimization». En: *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control-Volume I (ICICIC'06)*. Vol. 3. IEEE. 2006, págs. 324-327.
- [4] Dave Corne, Peter Ross y Hsiao-Lan Fang. «Fast practical evolutionary timetabling». En: *AISB Workshop on Evolutionary Computing*. Springer. 1994, págs. 250-263.
- [5] Departamento de Informatica UTFSM. *Informe de Autoevaluación para la Acreditación*. Disponible, visitada en 10 Noviembre 2019. URL: https://intranet.inf.utfsm.cl/units/pregrado/doc_categories/13/docs/25.
- [6] Le Kang y George M White. «A logic approach to the resolution of constraints in timetabling». En: *European Journal of Operational Research* 61.3 (1992), págs. 306-317.
- [7] Richard M Karp. «Reducibility among combinatorial problems». En: *Complexity of computer computations*. Springer, 1972, págs. 85-103.
- [8] Ben Paechter y col. «Extensions to a memetic timetabling system». En: *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*. Springer. 1995, págs. 251-265.
- [9] Ben Paechter y col. «Two solutions to the general timetable problem using evolutionary methods». En: *Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation. IEEE World Congress on Computational Intelligence*. IEEE. 1994, págs. 300-305.
- [10] Kenekayoro Patrick. «Comparison of simulated annealing and hill climbing in the course timetabling problem». En: *African Journal of Mathematics and Computer Science Research* 5.11 (2012), págs. 176-178.
- [11] Sanja Petrovic y Edmund K Burke. *University Timetabling*. 2004.
- [12] Krzysztof Socha, Joshua Knowles y Michael Sampels. «A max-min ant system for the university course timetabling problem». En: *International Workshop on Ant Algorithms*. Springer. 2002, págs. 1-13.
- [13] Jonathan Thompson y Kathryn A Dowsland. «General cooling schedules for a simulated annealing based timetabling system». En: *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*. Springer. 1995, págs. 345-363.
- [14] Dominique de Werra. «An introduction to timetabling». En: *European journal of operational research* 19.2 (1985), págs. 151-162.