

**DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL
PROCESO DE ASIGNACIÓN DE SALONES EN EL EDIFICIO CAMILO
TORRES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.**

**JOHANNA PATRICIA DÍAZ SILVA
KAREN JULIANA PINTO BOHORQUEZ**

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
BUCARAMANGA
2009**

**DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL
PROCESO DE ASIGNACIÓN DE SALONES EN EL EDIFICIO CAMILO
TORRES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.**

**JOHANNA PATRICIA DÍAZ SILVA
KAREN JULIANA PINTO BOHORQUEZ**

**Director:
JAVIER EDUARDO ARIAS OSORIO
M. Sc en Administración**

**ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
BUCARAMANGA
2009**

A Dios por darme la fuerza y constancia para seguir adelante

A mis padres por brindarme su amor y paciencia

A Sandra, Lina y Diego por su apoyo incondicional y constante

Colaboración.

A Ana María, Ashley e Isabella por alegrar los momentos difíciles

A mis amigos y compañeros por su cariño y las largas jornadas

De estudio.

A Patricia por hacer de este proyecto una realidad

A Diego por su compañía y paciencia durante tanto tiempo.

Karen Juliana

A Dios por siempre llevarme de su mano

A mis padres por hacer de mi lo que soy, en especial a mi mamá

Por su apoyo incondicional.

A Santiago por su amor, paciencia y ser la motivación de mi vida.

A Daniel por compartir su vida conmigo

A mis hermanos Sandra, Zunny, Paola, Diego y sobrinos por creer en mí.

A Karen por su amistad.

Johanna Patricia

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan los agradecimientos a:

- A la Oficina de Admisiones y Registro Académico de la Universidad Industrial de Santander por la información suministrada.
- A los directores de las Escuelas de Física, Química, Matemáticas y Biología por la por su tiempo e información.
- Al profesor Pablo Andrés Maya Duque de la Universidad de Antioquia, quien nos acompañó y contribuyó con sus conocimientos a culminar esta etapa de la carrera.
- A los profesores de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales por la formación y conocimientos transmitidos.
- A aquellos que directa o indirectamente colaboraron para alcanzar éste logro.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	20
1 GENERALIDADES.....	21
1.1 DESCRIPCIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN	21
1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	22
1.2.1 Objetivo General	22
1.2.2 Objetivos Específicos	23
1.3 ALCANCE	23
1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	24
2 ESTADO DEL ARTE.....	25
2.1 Eficiencia computacional	26
2.1.1 Problemas P	26
2.1.2 Problemas NP	26
2.1.3 Problemas NP-Completo.....	27
2.2 Programación de actividades (Timetabling) en instituciones Universitarias	28
2.3 Programación de cursos en instituciones universitarias	29
2.4 Caracterización de las restricciones del problema de asignación de cursos	29
2.5 Estrategias de solución.....	32
2.5.1 Métodos Secuenciales	32
2.5.2 Métodos Agrupamiento.	33
2.5.3 Métodos basados en restricciones.....	33
2.5.4 Métodos Meta-heurísticos.....	34

2.6	Herramienta Informática de Apoyo para el Desarrollo del Proyecto	45
3	DESCRIPCIÓN DE LA INSTANCIA	46
3.1	Procesos de Asignación Horaria	46
3.2	Proceso de Asignación por Escuelas	47
3.2.1	Escuela de Química	48
3.2.2	Escuela de Física	48
3.2.3	Escuela de Matemáticas	49
3.2.4	Escuela de Biología.....	49
4	FORMULACIÓN DEL MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE CURSOS ..	50
4.1	Introducción.....	50
4.2	Conjuntos	52
4.3	Función sobre slots	53
4.4	Parámetros.....	53
4.5	Variable de decisión.....	54
4.6	Modelo Matemático.....	54
5	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.....	56
5.1	Preprocesamiento.....	56
5.1.1	Escuela Química	60
5.1.2	Escuela de Física	63
5.1.3	Escuela de Biología.....	66
5.1.4	Escuela Matemáticas	69
5.2	Modela Matemático en Xpress-MP.....	75
6	RESULTADOS COMPUTACIONALES	77
6.1	Escuela de Física.....	78
6.2	Escuela de Biología	84

6.3	Escuela de Química.....	87
6.4	Escuela de Matemáticas.....	91
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
	BIBLIOGRAFIA	104

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Codificación.....	57
Tabla 2: Cálculo del tamaño de la matriz HF.....	58
Tabla 3: Combinaciones de acuerdo con la Intensidad.....	58
Tabla 4. Definición del conjunto de M_{kg}	59
Tabla 5: Valores Establecidos para el cálculo del Beneficio	59
Tabla 6: Características de los Grupos Escuela de Química	60
Tabla 7: Relación de Grupos por Profesor escuela de Química	62
Tabla 8: Características de las aulas escuela de Química.....	63
Tabla 9: Características de los Grupos Escuela de Física	63
Tabla 10 Relación de Grupos por Profesor escuela de Física	65
Tabla 11: Características de las aulas escuela de Física.....	66
Tabla 12: Características de los Grupos Escuela de Biología.....	67
Tabla 13: Relación de Grupos por Profesor escuela de Biología.....	68
Tabla 14: Características de las aulas escuela de Biología	68
Tabla 15: Características de los Grupos Escuela de Matemáticas	69
Tabla 16: Relación de Grupos por Profesor escuela de Matemáticas	72
Tabla 17: Características de las aulas escuela de Matemáticas.....	74
Tabla 18. Resultados Escuela de Física.....	83
Tabla 19. Resultados Escuela de Biología	86
Tabla 20. Resultados Escuela de Química.....	90
Tabla 21. Resultados Escuela de Matemáticas.....	95

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura Básica algoritmo lento simulado	39
Figura 2. Codificación.....	56
Figura 3. Xpress	77
Figura 4. Representación Horaria	78
Figura 5. Resultados Escuela de Física	79
Figura 6. Stats Escuela de Física	80
Figura 7. MIP Search escuela de Física	80
Figura 8. Asignación Horaria para los Salones de la Escuela de Física	81
Figura 9. Stats Escuela de Biología	85
Figura 10. Resultados Escuela de Biología	85
Figura 11. MIP Escuela de Química	87
Figura 12. Asignación Horaria para los Salones de la Escuela de Biología	88
Figura 13. Stats Escuela de Química.....	89
Figura 14. Output Escuela de Química.....	89
Figura 15. Asignación Horaria para los Salones de la Escuela de Química	92
Figura 16. Stats Escuela de Matemáticas	94
Figura 17. MP seach Escuela de Matemáticas.....	95
Figura 18. Asignación Horaria para los Salones de la Escuela de Matemáticas	100

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Listado de Horario del Aula y Listado General de Horarios

ANEXO 2. Cartas a las instancias

ANEXO 3. Algoritmo para la Generación del Tamaño de la Matriz HF

ANEXO 4. Algoritmo para la Generación de posibles Franjas Horarias

ANEXO 5. Algoritmo Combinación de Aulas Factibles

ANEXO 6. Algoritmo Generación de Patrones de Tiempo

ANEXO 7. Algoritmo Generación de Beneficios

ANEXO 8. Código del modelo en Express GRUPOS CON MAX SLOTS 5

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE SALONES EN EL EDIFICIO CAMILO TORRES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*.

AUTORES: JOHANNA PATRICIA DIAZ SILVA
KAREN JULIANA PINTO BOHORQUEZ**

PALABRAS CLAVES:

Problema de asignación, modelamiento exacto, algoritmos de preprocesamiento, validación.

DESCRIPCION:

El presente trabajo aborda el problema de asignación *Timetabling*, desarrollando específicamente la asignación de grupos a salones y de grupos a periodos de tiempo. El problema consiste en hallar un salón apropiado para cada uno de los grupos que se programan en el Edificio Camilo Torres de la Universidad Industrial de Santander y que a su vez estos grupos se asignen dentro de las preferencias horarias del profesor.

Se propone un modelo matemático que considera: los objetivos de la oficina de admisiones, las preferencias de los profesores por un horario factible, la asignación según el tipo de profesor y la cantidad de períodos requeridos semanalmente por cada grupo, además de presentar las restricciones propias del problema. Para la resolución del mismo se utiliza un modelamiento exacto en la herramienta de optimización Xpress. El enfoque de solución utiliza varios algoritmos de preprocesamiento de datos que proporcionan los inputs para el desarrollo computacional los cuales son: Matriz M_{kg} , Matriz de Beneficios, Matriz de patrones de tiempo.

Se presenta la validación de los resultados computacionales para las cuatro instancias que intervienen en el proceso de asignación en el Edificio Camilo Torres las cuales corresponden a la escuela de Física, Química, Biología y Matemáticas.

* Proyecto Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.
Director: Javier Eduardo Arias Osorio.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND VALIDATION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE ALLOCATION OF ROOMS IN THE BUILDING CAMILO TORRES OF THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER*.

AUTHORS: JOHANNA PATRICIA DIAZ SILVA
KAREN JULIANA PINTO BOHORQUEZ**

KEY WORDS:

Assignment problem, accurate modeling, algorithms, pre-processing, validation.

DESCRIPTION:

This project addresses the assignment problem Timetabling, developing specifically the assignment of groups to rooms and groups to periods of time. The problem is finding an appropriate room for each of the groups that are scheduled in Building Camilo Torres of the Industrial University of Santander, and that in turn these groups are allocated in time preferences of the teacher.

It Propose a mathematical model that considers: the objectives of the admissions office, the preferences of teachers for a feasible schedule, the allocation depending on the teacher type and the number of periods required weekly for each group, in addition presents the own restrictions of the problem. To solve the same an exact model is used in the optimization Xpress tool. The solution approach uses several data preprocessing algorithms that provide the inputs to the computational development which are: Matrix Mkg, Benefits Matrix, Matrix time patterns.

It presents the validation of computational results for the four authorities involved in the allocation process at Building Camilo Torres which correspond to the School of Physics, Chemistry, Biology and Mathematics.

* Project Grade

** Ability of Physical-Mechanical Engineerings. School of Industrial and Managerial Studies. Director: Javier Eduardo Arias Osorio.

GLOSARIO

ASIGNATURA: Cada una de las materias que conforma el programa o plan curricular de los programas. Se usarán los términos curso y materia como sinónimo.

AULA: Espacio físico destinado a la realización de las actividades propias de las sesiones de clase de una asignatura. Se empleará el término **SALÓN** como sinónimo.

CONFLICTO DE PROFESOR: Dícese de la situación en la cual un profesor es designado para dictar más de una sesión de clase en un mismo intervalo de tiempo.

CONFLICTO DE ESTUDIANTES: Situación en la cual un estudiante debe asistir a mas de una sesión de clase en un mismo periodo de tiempo.

CONFLICTO DE AULA: situación en la cual más de una actividad ha sido asignada para realizarse en dicha aula durante un mismo periodo de tiempo.

DOCENTE: Persona a cargo de una sección o grupo de una asignatura, encargado de impartir las sesiones de clases o de coordinar las actividades que en ellas se realiza. Se usará el termino PROFESOR como sinónimo.

GRUPO: Opciones en las que se espera se distribuyan los estudiantes que cursan una asignatura específica. Para cada asignatura será necesario definir un número fijo de grupos. Se usará el término **SECCIÓN** de una asignatura como sinónimo.

SESIÓN DE CLASE: Corresponde a los Intervalos de tiempo en los que se imparte a los estudiantes de un grupo los contenidos propios de la asignatura. Podrán definirse asignaturas cuyas secciones o grupos reciban sesiones de clase de una hora, dos horas o intervalos de tiempo de otra longitud. Podrá referirse a este término también simplemente como **Sesión**.

SLOT: Elemento definido a partir de las combinaciones de valores específicos de los recursos, que servirá de unidad básica cuya asignación es demandada por las sesiones de clase. Así por ejemplo, un slot podrá estar definido por la combinación de periodos de tiempo y de aulas (6:00-7:00 am aula X). La

definición de slots no es única, podrá involucrar intervalos de tiempo de diferente longitud, e incluir recursos o información adicional. Sin embargo, en el contexto de este proyecto contendrá por lo menos propiedades asociadas al intervalo de tiempo y al aula.

INTRODUCCIÓN

El proceso de asignación de salones es un trabajo difícil y dispendioso que se debe llevar a cabo al menos dos veces al año y consiste en encontrar un salón apropiado para impartir una serie de sesiones de clase, el tiempo que se invierte en este proceso es significativo debido a que una asignación de salón satisfactoria debe tener en cuenta aspectos relacionados con capacidades de las aulas, preferencias horarias entre otros.

La asignación de salones generalmente se desarrolla en un ámbito donde la demanda por salones y horarios de clase particulares, tiende a crecer, los recursos como aulas, son escasos y de capacidades limitadas, y hay objetivos que compiten por estos recursos: el propósito principal de los profesores es satisfacer sus preferencias por un horario y un salón específicos, mientras que uno de los objetivos de la administración, es la utilización eficiente de la planta física. Entonces, el problema de asignación de salones se puede definir a la luz de sus objetivos, recursos limitados y restricciones[21].

Este proyecto aborda el problema de programación de curso en las instancias que se presentan en las Escuelas que pertenecen al Edificio Camilo Torres de la Universidad Industrial de Santander. Abordar estas instancias de manera específica obedece a dos factores: Primero, actualmente el proceso de programación semestral presenta altos niveles de complejidad y demanda grandes de tiempo y esfuerzos administrativos Segundo: considerando que el sistema educativo es diferente en cada Ciudad y que incluso dentro de una misma Universidad la forma en que cada instancia aborda el problema de crear sus horarios difiere significativamente, es necesario evaluar las alternativas de formulación y solución del problema de manera que se incluyan las características propias del sistema real bajo estudio y se pueda desarrollar una herramienta para el apoyo en la toma de decisiones.

1 GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

La construcción de horarios es un proceso que se adelanta por las diferentes instituciones académicas en un determinado periodo; existe una gran variedad de modelos de calendarios, que van desde el calendario semanal de un colegio, en donde se asignan las materias a sus estudiantes para una determinada jornada, hasta la programación de exámenes, cursos o conferencia en una universidad, en donde la construcción de horarios es definido como el proceso de asignar cursos universitarios (sesiones de clase) a periodos de tiempo específicos en salones apropiados para un número de estudiantes registrados y las necesidades propias de cada curso. [1]

La forma en la cual se aborda el problema por las instituciones educativas difiere significativamente. Sin embargo se pueden observar elementos comunes en el planteamiento, formulación y estrategias de solución que han permitido establecer a través de la historia gran cantidad de planteamientos entorno a esta problemática.

La construcción de horarios acordes con la disponibilidad de recursos y los requerimientos de las instituciones educativas, es un proceso que se realiza por lo menos dos veces en el año y que demanda gran cantidad de tiempo y esfuerzos por parte de las universidades. Para abordar esta problemática comúnmente las instituciones replican los horarios de periodos anteriores, con pequeños cambios dependiendo de las variaciones de los requerimientos ([4] [6]) como es el caso de la Universidad Industrial de Santander, sin embargo estas modificaciones no garantizan el cumplimiento de las necesidades, debido a que existen dos problemas principales al establecer un horario[21]:

- El primero está relacionado con la naturaleza combinatoria del problema que dificulta hallar una solución óptima, ya que el número de variables que se ven involucradas en este proceso es muy alto.
- Y el segundo por la naturaleza dinámica de este problema, donde las variables se modifican en el desarrollo de las actividades propias de la institución

Es por esto que se hace necesaria la creación de nuevas estrategias para el tratamiento de este problema con el fin de brindar un apoyo en el proceso de asignación de salones.

En Colombia buena parte de las Universidades [21] replican o se basan en programaciones de periodos anteriores, sin tener en cuenta la calidad en las asignaciones que sirven de base para esta actividad, de manera que no se tiene certeza de la eficiencia de las asignaciones realizadas, sin embargo se destaca el esfuerzo desarrollados por algunas universidades como: Universidad Javeriana, Universidad Nacional- Sede en Medellín y Universidad Católica quienes han documentado el proceso de asignación de aulas. La Universidad Nacional-Sede en Manizales desarrollo el sistema CRONOS [19] al igual que la Universidad Manuela Beltrán con su sistema ADSALON¹ y la Universidad de Antioquia cuenta con la herramienta informática ESPACIOS¹. El problema de asignación de horarios en universidades, se puede dividir en dos categorías principales [5]:

- Establecer un horario para las distintas sesiones de clase en un periodo determinado.
- Y la programación de evaluaciones, las cuales requieren la asignación de salones, en caso de realizarse por escuela.

La solución al problema de asignación de salones en el edificio Camilo Torres, pretende generar una programación acorde con las restricciones asociadas a los profesores, aulas de clase, estudiante y demás entidades relacionadas con el problema, de manera que esta sea factible y aceptable por las distintas entidades involucradas en el proceso de decisión, es decir se pretende maximizar el beneficio generado con la asignación, este beneficio involucra satisfacción de la demanda y el aprovechamiento de la infraestructura.

1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.2.1 Objetivo General

Diseñar y validar un modelo matemático para el proceso de asignación de salones en el edificio Camilo Torres de la Universidad Industrial de Santander de manera que genere una estrategia de apoyo a la toma de decisiones en la solución de esta problemática.

¹ La documentación se encuentra disponible en las páginas Web que se mencionan en la bibliografía para cada una de las universidades.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Construir el estado del arte para el problema de construcción de horarios de clase que pretende abordar este proyecto
2. Describir la instancia real del Edificio Camilo Torres de la Universidad Industrial de Santander, generando una revisión detallada del proceso que actualmente se desarrolla para la asignación de salones a las distintas sesiones de clase.
3. Formular un modelo matemático para el problema de construcción de horarios de clase en el Edificio Camilo Torres, el cual involucre las características propias de esta instancia.
4. Implementar en una herramienta de optimización el modelo formulado, haciendo posible su validación mediante la solución de la instancia propuesta, identificando fortalezas y debilidades respecto al proceso de solución actual así como su pertinencia en la generación de apoyo a la toma de decisiones asociadas a esta problemática.

1.3 ALCANCE

Este proyecto pretende abordar el problema de asignación de salones a sesiones de clases previamente establecidas para el edificio Camilo Torres de la Universidad Industrial de Santander, evaluando alternativas de formulación del problema que permitan considerar aspectos propios de esta instancia como preferencias horarias y/o aulas para ciertas asignaturas, distribución de salones de acuerdo con los escuelas involucradas, conveniencia de evitar cruces entre horarios de materias del mismo semestre para los diferentes planes curriculares de estudio y el deseo de maximizar el nivel de utilización de la planta física del edificio Camilo Torres de manera que se genere una estrategia de apoyo a la toma de decisiones en la solución de la problemática planteada.

1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.

En este capítulo se describe el tema de investigación, al igual que los objetivos y alcance propuesto para este proyecto. En el capítulo 2 se ahonda en conceptos teóricos que se deben manejar en el tema tales como, complejidad computacional, descomposición del problema de asignación, restricciones involucradas, temas de resolución utilizadas y herramientas informáticas utilizadas. En el capítulo 3 se realiza una descripción puntual del proceso que siguen las escuelas pertenecientes al edificio Camilo Torres para ejecutar la asignación horaria para un semestre determinado. Para el capítulo 4 se presenta la descripción del problema a través de un modelo matemático, su función objetivo, restricciones y variables. En el Capítulo 5 se presenta la implementación del modelo matemático con la ayuda de la herramienta de optimización Express. En el capítulo 6 se presentan los resultados obtenidos y la validación de los mismos por cada una de las instancias relacionadas.

2 ESTADO DEL ARTE

Desde los años 70, el tema de asignación de horas y salones ha sido objeto de constante estudio, la programación de actividades o eventos acordes con la disponibilidad de recursos y sus requerimientos [7] es una tarea que deben enfrentar por lo menos dos veces al año los establecimientos educativos particularmente las Universidades, la mayoría de estas instituciones emplea una heurística simple, asistida por un ordenador que consiste en una asignación basada en el orden de llegada de los listados de requerimientos de aulas para cada sesiones que de desea impartir [12] , es también común la práctica de réplicas de programaciones que se han realizado a través de un proceso de asignación de aulas manual, carente del análisis de datos que permita medir el cumplimiento de los objetivos propuestos por las partes involucradas en la asignación de los recursos.

Usualmente, cuando se enfrenta el estudio de la programación de las actividades en el contexto descrito, se refiere a él como el Problema del Timetabling. El cual es definido como la asignación, sujeta a restricciones de un conjunto de recursos a objetos ubicados, siendo ubicados en espacios de tiempo, de tal forma que se satisfaga en el mayor grado posible un conjunto de objetivos deseables. [8] La cantidad de factores y restricciones que se involucran en las exigencias horarias hacen que la asignación sea considerada como un problema NP-completo ya que no admite solución eficiente en todos los casos [9].

Carter y Laporte [22] descompone el problema de asignación en cinco subproblemas:

1. La asignación de cursos a horas (*Course Timetabling*): Esta clasificación indican los cursos que se deben llevar a cabo semanalmente según el número de programas universitarios que necesiten de estas actividades, de tal manera que no se asigne dos cursos a un mismo periodo de tiempo en un salón determinado
2. Los horarios de enseñanza secundaria (*Class-Teacher Timetabling*): *Considera el horario semanal para las sesiones de las asignaturas de una escuela o colegio, consiste en asignar las sesiones a los períodos de tiempo, de tal manera que ningún profesor o asignatura tengan más de una sesión en el mismo periodo*
3. La asignación de alumnos a secciones (*StudentScheduling*): Consiste en la asignación de alumnos a los secciones de tal manera que no se sobrepase la capacidad de las aulas, ni asigne dos sesiones con un mismo periodo a un estudiante.

4. La asignación de profesores a secciones (*Teacher Assignment*): Realiza la asignación de profesores a secciones de clase, teniendo en cuenta preferencias horarias, de tal manera que no se realice la asignación de un mismo profesor a dos secciones que tenga igual hora y día.
5. La asignación de aulas a lecciones (*Classroom Assignment*): Consiste en asignar las sesiones a las salas con un horario ya determinado.

2.1 Eficiencia computacional

Garey [52] menciona que la teoría de la complejidad computacional, como parte de la teoría de la computación, estudia los recursos requeridos por un algoritmo para resolver un problema. Los recursos más estudiados son el tiempo, que se traduce en el número de pasos de ejecución de un algoritmo para resolver el problema y el espacio, que es la cantidad de memoria utilizada para resolver el problema. En este sentido, se pueden clasificar los problemas en tres clases: P, NP y NP-C

2.1.1 Problemas P

Según Galve [53] la clase de los problemas que se pueden resolver mediante algoritmos eficientes se denota como P, indicando tiempo polinomial. Se considera que este tipo de problemas se pueden resolver eficientemente, y se encuentra una solución exacta en tiempo razonable. El método exacto consiste en explorar de forma exhaustiva (mediante enumeración) el conjunto de todas las soluciones posibles. Esta técnica puede resultar válida para algunos tipos de problemas o para instancias pequeñas de problemas concretos, pero existen muchos casos en los que es extremadamente ineficiente debido a que el espacio de soluciones de la mayoría de los problemas de interés suele ser de muy alta dimensionalidad

2.1.2 Problemas NP

La clase de problemas para la que existe un algoritmo no determinista y cuyo tiempo de ejecución es polinomial respecto al tamaño de los datos de entrada se llama NP. Algoritmo no determinístico es aquel que escoge de forma arbitraria uno de los posibles cursos de acción cada vez que se enfrenta con varias posibilidades. La elección puede pensarse como una pregunta que realiza el algoritmo para saber qué alternativa lo conduce a la solución. Galve

señala que la importancia de esta clase de problemas de decisión es que contiene muchos problemas de búsqueda y de optimización para los que se desea saber si existe una cierta solución o si existe una mejor solución que las conocidas.

Dada su importancia, se han hecho muchos esfuerzos para encontrar algoritmos que decidan algún problema de NP en tiempo polinomial. Sin embargo, pareciera que para algunos problemas de NP, los del conjunto NP-completo no es posible encontrar un algoritmo mejor que simplemente realizar una búsqueda exhaustiva.

2.1.3 Problemas NP-Completos

Es el tipo de problema más difícil, menciona que un algoritmo de fuerza bruta para problemas NP Completos utiliza tiempo exponencial con respecto al tamaño de la entrada.

Se desconoce si hay mejores algoritmos, por lo cual se señala que para resolver un problema NP-Completo de tamaño arbitrario se utiliza uno de los siguientes enfoques [54] :

- **Aproximación:** Un algoritmo que rápidamente encuentra una solución no necesariamente óptima, pero dentro de un cierto rango de error. En algunos casos, encontrar una buena aproximación es suficiente para resolver el problema, pero no todos los problemas NP Completos tienen buenos algoritmos de aproximación.
- **Probabilidad:** Una algoritmo probabilístico obtiene en promedio una buena solución al problema planteado, para una distribución de los datos de entrada dada.
- **Heurísticas:** Un algoritmo que trabaja razonablemente bien en muchos casos. En general son rápidos, pero no existe medida de la calidad de la respuesta.

El problema de asignación en relación a la eficiencia computacional se clasifica como un problema NP- completo.

Para el desarrollo de este proyecto se profundiza en la aplicación de métodos cuantitativos a la programación de asignación de aulas, para esto se realizara una breve descripción de estos temas.

2.2 Programación de actividades (Timetabling) en instituciones Universitarias

Uno de los aspectos más importante para las instituciones universitarias es la programación de las actividades académicas, para este problema es posible distinguir dos categorías principales: el problema de programación de exámenes y el problema de programación de cursos [5]

El problema de programación de exámenes se puede definir [21] como la asignación de un número dado de exámenes dentro de un marco de tiempo, la cual tiene implícita restricciones tales como conflicto de estudiante, aula y profesores. En relación con la programación de cursos, esta pretende programar todas las sesiones de clase de un conjunto de cursos universitarios, intentando disminuir la sobre posición de sesiones con estudiantes en común y haciendo el mejor uso posible de los recursos disponibles [11]. Estos dos problemas difieren entre otras razones porque [10]:

1. Mientras que los exámenes pueden ser programados de modo que no existan estudiantes en común para dos exámenes a la misma hora, las sesiones de clase deben ser programadas, generalmente, antes de conocer los estudiantes que están involucradas en ellas.
2. La restricción que se encuentra relacionada con la asignación de aula en el problema de programación de cursos es más notoria, debido a que una sesión de clase debe ser dictada en un único salón, mientras que para un examen un grupo de estudiantes puede ser dividido en dos aulas diferentes, esta consideración también podría relacionarse con las preferencia por parte de los profesores debido a que la duración de un examen involucra un día mientras que las sesiones de clase se realizan por un semestre.

Sin embargo, el objeto principal de este proyecto recae en la programación de cursos debido a que en el caso del edificio Camilo Torres de la Universidad Industrial de Santander, las evaluaciones suelen realizarse en las aulas donde se imparte la sesión de clase, para casos particulares como exámenes por escuela, no se permite que coincidan dos exámenes de escuelas diferentes.

2.3 Programación de cursos en instituciones universitarias

En la mayoría de las universidades, la programación de los cursos no se hace de manera centralizada, esta se distribuye entre las unidades académicas como facultades, escuelas o departamentos; por esta razón la programación de cursos puede descomponerse [21] como una división en varios subproblemas asociados a cada una de las unidades académica y en los cuales la administración de recursos es distribuida. Para el caso en el cual los programas académicos mantienen esta estructura, el problema adquiere mayor complejidad, puesto que no puede ser descompuesto tan fácilmente en subproblemas para cada unidad [13].

Otro aspecto que adiciona complejidad al problema de programación de cursos es la cantidad de personas que se ven involucradas con la solución del problema. Alguno de estos grupos de personas son [14]:

- La administración de la universidad, la cual determina los estándares mínimos que debe cumplir la programación.
- Las unidades administrativas (Facultades, Escuelas o Departamentos), las cuales se preocupan por la pertinencia de las aulas asignadas, la distribución de las clases de los mismos niveles del plan curricular, el cumplimiento de las preferencias de los docentes, entre otras.
- Los estudiantes, los cuales son en definitiva quienes deben hacer efectivo el programa de cursos construido y que esperan que ese satisfaga sus preferencias respecto a la distribución de los cursos y la posibilidad de acceder a ellos sin que se generen conflictos de horario entre los cursos deseados.

2.4 Caracterización de las restricciones del problema de asignación de cursos

Se han propuestos diversos enfoques para el planteamiento y posterior solución de este problema [21], en el cual se establecen un conjunto de limitaciones que pueden variar de una solución a otra. Inicialmente se tratan problemas básicos donde se involucran restricciones que están relacionadas directamente con la programación clase-profesor, posteriormente se incluyeron las restricciones relacionadas con las aulas donde se imparte la sesión de clase, de manera que una primera forma, propuesta por Burke [1], clasifica estas restricciones en siete categorías:

- Restricciones de asignación de recursos. Limitan la asignación de un recurso a un evento o recurso de otro tipo. Por ejemplo, los laboratorios deben ser asignados en salones con características particulares.
- Restricciones asociadas a la asignación en el tiempo. Establecen que un evento, sesión de clase por ejemplo, debe ser asignado a un periodo específico del tiempo
- Restricciones asociadas a la relación temporal entre eventos. Establecen relaciones de precedencia o simultaneidad entre eventos.
- Distribución de los eventos. Establecen la distribución apropiada en el tiempo de los diferentes eventos. Por ejemplo, los estudiantes no deben tener más de dos clases consecutivas.
- Coherencia de los eventos. Este tipo de restricciones operan en sentido opuesto a la anterior y busca programaciones mas ordenadas y compactas. Por ejemplo, los profesores preferirían dictar sus clases en un mismo día.
- Capacidad de las Aulas.
- Continuidad. Establecen que ciertas características de la programación permanezcan constantes. Por ejemplo, todas las sesiones de clase de un grupo de cierta asignatura, deben dictarse en la misma aula.

Similarmente, otra forma de clasificación propuesta por Corne y retomada por Lewis [9], propone clasificar las restricciones en 5 categorías:

- Restricciones que involucran un único evento. Por ejemplo aquellas que especifican un slot de tiempo o aula para un evento particular.
- Restricciones binarias para pares de eventos. Establecen por ejemplo relaciones de precedencia y simultaneidad entre eventos Así como aquellas que pretenden evitar programaciones en las que un recurso o un evento esta comprometido más de una vez en un periodo específico del tiempo.
- Restricciones de capacidad. Establecen el cumplimiento de las limitaciones de capacidad de las aulas.
- Restricciones de distribución entre eventos. Establecen la distribución apropiada de los eventos, en cuanto a dispersión y coherencia.

- Restricciones asociadas a los agentes. Pretenden la satisfacción de las preferencias de los distintos agentes, o grupos de individuos, relacionados con los resultados de la programación.

Las restricciones, sin importar las categorías en las que son clasificadas, son usualmente divididas en dos grandes grupos: restricciones fuertes y restricciones débiles.

Las restricciones fuertes tiene una prioridad más alta y su cumplimiento es obligatorio de no serlo esta solución no se considera factible. A este subconjunto de restricciones pertenecen aquellas que evitan la asignación de unos recursos a más de un evento o un lugar en un mismo periodo de tiempo, tales como ([14], [6]):

- Conflicto de profesor: Situación en la cual un profesor es designado para dictar más de una sesión de clase en un mismo intervalo de tiempo.
- Conflicto de estudiante: Situación en la cual un estudiante debe asistir a más de una sesión de clase en un mismo periodo de tiempo.
- Conflicto de aula: Situación en la cual más de una actividad ha sido asignada para realizarse en dicha aula durante un mismo periodo de tiempo.

Las restricciones débiles [21] son aquellas cuyo cumplimiento es deseable pero no esencial, son satisfechas de ser posible y en la mayoría de los problemas reales no pueden ser cumplidas todas simultáneamente; el incumplimiento de este tipo de restricciones penaliza la función objetivo pero las soluciones generadas son factibles; dentro de este grupo se encuentran las restricciones que pretenden la mejor distribución de los eventos, el cumplimiento de las preferencias de profesores y la generación de horarios lo más compactos posibles.

En la práctica podría ser necesario otorgar un nivel de importancia diferente a ciertos grupos de restricciones débiles, lo cual usualmente se considera mediante una función de penalización que valora el grado con el cual la programación propuesta incumple el conjunto de restricciones y la importancia otorgada a ello. Para este mismo fin, Murray [13] propone una escala consistente para las restricciones compuesta esta por: Requerido, Fuertemente Deseable, Deseable, Indiferente, Indeseable, Fuertemente Indeseable y Prohibido. La primera y última categoría corresponden a las restricciones

fuertes, mientras que las restricciones débiles se mueven dentro de las demás categorías.

2.5 Estrategias de solución

Históricamente, hasta la década de los años 70, la planeación académica se efectuaba por personas que tenían experiencia en la realización de estos horarios manualmente, donde se utilizaba un incremento sucesivo de condicionamientos. A finales de los años 70 se emplearon algunos métodos para solucionar el problema de asignación horaria [15], uno de ellos hace referencia a la iteración sobre matrices booleanas, este método se encarga de escoger arbitrariamente posibilidades que son factibles y probar por medio de iteraciones si el resto de posibilidades no han sido afectadas, así continua sucesivamente, por esto se considera un método algo ineficiente.

A comienzos de los años 80, se discuten métodos de solución basados en redes y grafos, particularmente el algoritmo de coloreado de grafos [16] que para esta época era el más estudiado.

Simultáneamente, Carter presenta una clasificación de métodos de aproximación a la solución del problema en cuatro tipos ([5], [3]):

2.5.1 Métodos Secuenciales

Estos métodos ordenan los eventos usando heurísticas de dominación y luego asignan los eventos secuencialmente dentro de periodos de tiempo válidos de tal forma que ningún evento en un periodo de tiempo esté en conflicto con otro. En este tipo de métodos el problema de creación de horarios es usualmente representado por medio de grafos, en donde [24] cada vértice simboliza los grupos ofrecidos, los cuales están unidos por aristas en caso de existir relación entre ellos², el método consiste en asignar un color que representa el periodo de tiempo a cada vértice, de tal forma que no se presenten dos vértices de igual color unidos por una o varias aristas. Con el fin de obtener mejores resultados se han implementado algunas técnicas a través de los años; inicialmente Werra [16] presenta un modelo de asignación para profesores y posteriormente las aulas, del mismo modo en 1988 Selim [23] utiliza esta metodología dividiendo el número de vértices con el fin de reducir el número cromático o colores utilizados.

² Estudiante o profesor en común

Los problemas reales de programación difieren del problema de colorear un grafo cuando alguna de las siguientes restricciones adicionales son incorporadas:

- Un número limitado de estudiantes o evaluaciones para algún periodo de tiempo
- Capacidad limitada de los salones
- Restricciones de precedencia entre las secciones.
- Preasignación de exámenes
- Preferencias de horario
- Las evaluaciones de los estudiantes deberían estar dispersas a lo largo de todo el horizonte (conjunto de periodos) de evaluación.

De igual forma la solución del problema de timetabling por medio de grafos no se adecúa para problemas de grandes tamaños. Bajo la aplicación de técnicas de descomposición y partición se han obtenido horarios de mayor calidad, con un mayor número de asignaciones que los realizados bajo la técnica convencional de grafos, estos resultados pueden ser un buen punto de partida para realizar una búsqueda local por medio de meta-heurísticas [25].

2.5.2 Métodos Agrupamiento.

El conjunto de eventos es dividido en subgrupos que satisfagan las restricciones fuertes y luego los grupos son asignados a periodos de tiempo que satisfagan las restricciones débiles.

2.5.3 Métodos basados en restricciones.

Dentro de esta categoría podemos incluir las técnicas tradicionales, métodos que debido a su forma de buscar, se les denomina métodos completos, ya que recorren todo el espacio de búsqueda, es decir encuentran todas las soluciones posibles a un determinado problema, sin embargo esto depende del número de variables que influyen en el problema. Dentro de este grupo podemos encontrar la Programación entera, programación Lineal entre otras, en donde el problema es modelado mediante un conjunto de variables cuyos valores deben ser asignados de modo que satisfaga ciertas restricciones.

La literatura encontrada presenta numerosas variaciones del problema de programación de horarios de acuerdo a los requerimientos específicos de cada institución. En particular, más allá de las restricciones de capacidad, no existen otras condiciones que aparezcan en todos los estudios presentados en la literatura [34]. Existen variaciones significativas en el planteamiento de la función objetivo donde es posible que se encuentre en función de maximizar las preferencias de los profesores en horarios y en salas asignadas para su clase [35] o generalizar de manera que se pretenda maximizar el beneficio logrado con la asignación, este beneficio involucra satisfacción de demanda, aprovechamiento de infraestructura entre otros, de igual manera algunos autores involucran dentro de la función objetivo penalización por el incumplimiento de las restricciones débiles [21]

Varios autores han modelado el problema de asignación de salones con este enfoque, para el cual definen variables de dominio finito como son los conjuntos de [6]: profesores, secciones, salones y slots (días de la semana, una hora de inicio y una hora de finalización de clase). El desarrollo de este método se puede plantear por medio de la implementación de fases, en donde se tienen en cuenta diferentes parámetros de asignación, de manera que se realice la asignación de aulas en una primera fase y posteriormente la asignación de slots a las clases [26]. De igual manera es posible realizar el agrupamiento de variables con características similares a fin de disminuir el número de restricciones y obtener una solución en menor tiempo computacional [21], [33].

2.5.4 Métodos Meta-heurísticos.

La idea más genérica del término *heurística* está relacionada con la tarea de resolver inteligentemente problemas reales usando el conocimiento disponible. En Investigación Operativa, el término heurístico se aplica a un procedimiento de resolución de problemas de optimización con una concepción diferente. Se califica de *heurístico* a un procedimiento para el que se tiene un alto grado de confianza en que encuentra soluciones de alta calidad con un coste computacional razonable, aunque no se garantice su optimalidad o su factibilidad.

Las heurísticas para resolver un problema de optimización pueden ser más *generales o específicas* que otras. Los métodos heurísticos específicos deben ser diseñados a propósito para cada problema, utilizando toda la información disponible y el análisis del modelo, por el contrario las heurísticas más generales se caracterizan por su adaptabilidad, sencillez y robustez.

El término metaheurísticas se obtiene de anteponer a *heurística* el sufijo *meta* que significa “más allá” o “a un nivel superior”. Las metaheurísticas son

estrategias inteligentes para diseñar o mejorar procedimiento heurísticos muy generales con un alto rendimiento.

En una primera aproximación, se ha decidido separar las metaheurísticas en dos grandes bloques: trayectoriales y poblacionales. Las metaheurísticas trayectoriales manejan en todo momento una sola solución y deben su nombre a que el proceso de búsqueda que desarrollan se caracteriza por una trayectoria en el espacio de soluciones. Es decir, partiendo de una solución inicial, generan un camino en el espacio de búsqueda mediante operaciones de movimiento. Dentro de estas metaheurísticas se pueden destacar por su interés: búsqueda tabú, métodos multi-arranque, búsqueda local iterativa.

Las metaheurísticas poblacionales implementan el proceso de búsqueda manteniendo simultáneamente un conjunto de soluciones. Las metaheurísticas basadas en poblaciones o metaheurísticas poblacionales son aquellas que emplean un conjunto de soluciones (población) en cada iteración del algoritmo, en lugar de utilizar una única solución como las metaheurísticas trayectoriales.

Estas metaheurísticas proporcionan de forma intrínseca un mecanismo de exploración paralelo del espacio de soluciones, se contemplan operadores para generar nuevas soluciones a partir de las existentes, y su eficiencia depende en gran medida de cómo se manipule dicha población [51]. Ejemplos: algoritmos evolutivos, genéticos y meméticos, búsqueda dispersa, optimización por colonia de hormiga.

Sin embargo, los tipos de metaheurísticas también se pueden clasificar en función del tipo de procedimientos a los que hace referencia de esta manera existen metaheurísticas de:

- *Relajación*: se refieren a procedimientos de resolución de problemas que utilizan relajaciones del modelo original (es decir modificaciones del modo que lo hacen más fácil de resolver), cuya solución facilita la solución del problema original.
- *Constructivas*: se orientan a los procedimientos que tratan de la obtención de una solución a partir del análisis y selección paulatina de las componentes que la forman.
- *Búsqueda* guían los procedimientos que usan transformaciones o movimientos para recorrer el espacio de soluciones alternativas y explotar las estructuras de entornos asociadas.

- *Evolutivas*: enfocada a los procedimientos basados en conjuntos de soluciones que evolucionan sobre el espacio de soluciones [49]

Los métodos meta-heurísticos más representativos son:

- **Redes Neuronales:**

Las redes neuronales artificiales se basan en el comportamiento biológico del cerebro humano, con N neuronas interconectadas. Estos modelos tienen la capacidad de ajustar sus parámetros en respuesta a unas entradas y salidas mejorando alguna función. La mayoría de las redes neuronales aplicadas para resolver problemas de optimización son versiones de la red de Hopfield. La idea básica consiste en transformar el problema de optimización en la minimización de la función de energía de la red de Hopfield y determinar la estructura de una red neuronal de forma que las situaciones de energía mínima correspondan al estado de equilibrio de la red. De esta forma, la red evoluciona hacia el estado de equilibrio proporcionando la solución del problema. Las neuronas tienen un estado y un nivel de salida, reciben señales de otras neuronas (input) y da señales a otras (output), el modelo señala una función que determina la conexión con otras neuronas llamada el peso (w). La relación entre el estado interno y el nivel es determinada por la función de activación que depende directamente del tipo de red (discreta o continua), las neuronas se actualizan por si mismas y tienden a un estado de mínima energía que se considera el óptimo de la solución, el cual depende de la selección de el peso y los input. La energía se mide en cada una de las iteraciones a través de una función de energía que se asimila a la función objetivo de los problemas de optimización, a través de la cual también se penaliza el estado de la neurona al incumplir alguna restricción. Las neuronas empiezan en un estado imparcial y a través de las actualizaciones logran el mínimo de energía, la cual nunca incrementa dentro de los estados de transición.

Este método para resolver problemas de optimización combinatoria fue introducido por Hopfield y Tank en 1985, pero fue cuestionada varios años después cuando los resultados iniciales no lograron ser reproducidos y se evidenciaron varias limitaciones al método planteado, entre ellas que se queda en óptimos locales, y su función de penalización conduce a soluciones inviables o de mala calidad. Cabe mencionar que entre sus ventajas se encuentra la rapidez para encontrar las soluciones a través del hardware, llamada esta eficiencia computacional. A pesar de esto se han tratado de superar estas limitaciones. Ha pasado al campo de los métodos combinatorios, donde se asegura que se puede combinar redes neuronales con el método de escalonamiento [36] llegando a generar soluciones de mejor calidad que incluso métodos heurísticos como recocido simulado.

Las aplicaciones de las redes neuronales al problema Timetabling son muy escasas, situación que se puede relacionar con la poca credibilidad hacia esta técnica. Smith, Abramson & Duke (2003), presentan en su trabajo una propuesta para resolver el problema de asignación a través de la red neuronal de Hopfield presentando varios modelos para resolver el problema, el objetivo del trabajo era demostrar que el rendimiento de la red depende de la formulación utilizada y su rendimiento puede ser comparado con las técnicas heurísticas por ello hace una comparación con las técnicas heurísticas de recocido simulado y búsqueda tabú, para la cual ejecuta veinte (20) corridas, de los cual se concluyó que la aplicación de redes neuronales para resolver el problema de timetabling está a nivel de estas técnicas, mejorando o igualando sus resultados en relación a la calidad de la solución y la eficiencia computacional, para ampliar sobre estos resultados [37] Carrasco y Pati [38], presentan un mejoramiento de la red de Hopfield, aplicado al problema de Class/Teacher Timetabling Problem (CTTP), la mejora consistió en no considerar sólo dos estados de las neuronas sino un POTS multi-estados, lo cual permitió reducir el número de neuronas necesarias para la codificación, repercutiendo en la formulación del modelo y en la calidad de la solución. Otro modelo basados en redes neuronales aplicadas con éxito a problemas de optimización combinatoria son las máquinas de Boltzman. Las máquinas de Boltzmann son un híbrido entre una red de Hopfield y la técnica de enfriamiento simulado [39] .

- **Recocido Simulado:**

Se trata de un problema de resolución para la optimización de problemas de tipo combinatorio con mínimos locales. Su aproximación consiste en generar aleatoriamente una solución cercana a la solución actual y la acepta como buena si logra reducir una determinada función de costo o con una determinada probabilidad de aceptación. La diferencia con otras técnicas como el de escalonamiento radica en que estas técnicas solo aceptan soluciones que mejoren la anterior y pueden estancarse en mínimos locales por limitar el espacio de búsqueda. El algoritmo de enfriamiento lento puede aceptar soluciones que empeoran la solución actual, sólo que esta aceptación dependerá de una probabilidad que depende de la temperatura a la que se encuentre el sistema.

Este método trata de asimilarse al proceso metalúrgico llamado "termalización o recocido", cuando se enfría un metal fundido suficientemente despacio, tiende a solidificarse en una estructura de mínima energía (equilibrio térmico); según va disminuyendo la temperatura las moléculas del metal tienen menor probabilidad de moverse de su nivel energético

Los algoritmos de enfriamiento lento simulado tienen algunas ventajas con respecto a otras técnicas de optimización global. De acuerdo con SALEH ELMOHAMED [47] entre las ventajas de estos algoritmos se pueden citar:

- Resulta un modelo sobre el que se puede implementar de forma relativamente sencilla este tipo de problemas.
- Su aplicabilidad a la mayoría de los problemas de optimización con una estructura combinatoria.
- Su capacidad para ofrecer soluciones razonablemente buenas a la mayoría de los problemas, aunque hay una cierta dependencia de la planificación del enfriamiento y los movimientos que se realicen.
- La facilidad con la que se puede combinar este tipo de algoritmos con otras técnicas heurísticas como los sistemas expertos, los algoritmos genéticos, las redes neuronales, etc, consiguiendo sistemas híbridos que pueden resultar de gran potencia en la resolución de problemas muy complejos.

Por otra parte, también se pueden citar algunos aspectos que pueden limitar su utilización:

- Se necesita elegir con mucho cuidado los movimientos que se realizan, así como los parámetros que se van a utilizar para tratarlo, como por ejemplo la tasa de enfriamiento.
- Una ejecución del problema puede requerir mucho tiempo de cálculo.
- Puede que sea necesario realizar muchas ejecuciones para encontrar una solución satisfactoria.
- Dependiendo de los parámetros elegidos, las soluciones que se van encontrando pueden ser poco estables, “saltando” mucho de unas a otras sin encontrar una solución buena con la rapidez suficiente lo que obliga a retocar los parámetros con las distintas ejecuciones.

El algoritmo de este método puede ser el siguiente:

Figura 1. Estructura Básica algoritmo lento simulado

```
Generar una solución inicial
Calcular el coste de la solución
Calcular la temperatura inicial
Mientras (no se termine)
    Mientras (no se alcance un equilibrio)
        Generar una vecindad de la solución
        Calcular el coste de la nueva solución
        Si el nuevo coste es menor tomarla
            como nueva solución
        si no, si se acepta el incremento de coste
            para la temperatura actual
            tomarla como nueva solución
    Actualizar la temperatura
```

Fuente: Tomado de [40]

La condición de terminación se establece por el programador pudiendo esta considerar el número de repeticiones del bucle sin que se haya encontrado una nueva solución, o que haya alcanzado un número dado de veces un valor mínimo de coste o cualquier otra que se considere.

Dentro del bucle se deja que el sistema evolucione para una determinada temperatura y una vez que se ha dejado evolucionar lo considerado suficiente, se procede a reducir la temperatura. El proceso de actualización puede seguir distintos patrones o algoritmos de enfriamiento.

Las soluciones se evalúan en dos sentidos: Si el costo de la solución generada es menor se acepta y se toma como nueva solución para evolucionar. También se toma como solución si el incremento del costo que pueda suponer para la temperatura actual es probabilísticamente aceptable (probabilidad de Boltzmann). En este segundo caso se genera un número aleatorio y se comprueba si su valor es menor que $e^{-\Delta C/T}$ siendo ΔC el incremento del costo y T la temperatura actual del sistema.

De acuerdo con MELÍCIO [48] en el diseño de un algoritmo de enfriamiento lento simulado se deben considerar cinco elementos:

- El espacio de búsqueda, es decir, el conjunto de todas las soluciones.
- El conjunto de movimiento, es decir, la vecindad de las soluciones.
- La función de coste, es decir, un valor que indique la calidad de una solución.
- La planificación del enfriamiento, es decir, cómo se enfría el sistema.

- Las estructuras de datos, es decir, cómo representar el sistema y las soluciones eficientemente.

Existen dos alternativas en el sistema de enfriamiento simulado:

- Buscar siempre soluciones viables que cumplan las restricciones duras. La desventaja se encuentra que se centra en entornos de soluciones sin considerar otros entornos de acuerdo a la solución de costes
- Buscar en el espacio de soluciones sin evitar las soluciones no viables pero aplicándoles un criterio de penalización, el sistema puede utilizar estas soluciones para llegar a otros espacios que de otra forma no serían posibles.

Moreno, Sánchez [40], aplicando esta técnica, resuelven el problema de asignación de carga académica a los docentes dados unos grupos de asignaturas con la franja horaria determinada, para la cual se tuvieron en cuenta restricciones fuertes, medias y débiles. El programa se aplicó en Java, con un grupo de 27 profesores (tiempo completo y tiempo parcial), con 42 asignaturas diferentes con un total de 98 grupos distintos, y se llegó a una solución factible. Una de las conclusiones asegura que existe mejora en el rendimiento del algoritmo si se elige una solución inicial buena antes de aplicar las técnicas de enfriamiento, además que es posible mejorar el algoritmo con la combinación de éste y otras técnicas como el algoritmo genético. Bai, Edmund, Kendall y McCollun presentan un modelo el cual desarrolla recocido simulado como un hiper-heurístico es decir un heurístico para elegir otro heurístico, para ampliar sobre esta aplicación [41].

- **Métodos basados en la Trayectoria de Hormiga:**

La metaheurística de *Sistemas de Hormigas (Ant Systems)* empleada estrategias inspiradas en el comportamiento colectivo de las colonias de hormigas para descubrir fuentes de alimentación, estableciendo el camino más corto del hormiguero hasta la fuente de alimentación. Cuando las hormigas se mueven inicialmente lo hacen al azar, dejando por el camino una cierta cantidad de feromonas, las siguientes lo hacen por el camino que mayor cantidad de feromonas tenga. Se trata de una estrategia de búsqueda distribuida en el que un conjunto de agentes coopera en la búsqueda, transmitiendo e intercambiando información al resto.

Este algoritmo construye una alternativa de solución agregando paso a paso un elemento i entre un conjunto de alternativas N conocido como vecindad del elemento k . Cada elemento tiene consigo una probabilidad p_i ($\square$) de ser elegido. El proceso para construir una alternativa de solución se repite hasta completar varios individuos. Cada uno de ellos produce un incremento o un decremento de feromona sobre los elementos que los forman en forma proporcional a la calidad de la solución. Con base a esta información adicional se genera una nueva población con mejores características. Con el fin evitar el estancamiento del algoritmo en alternativas de baja calidad, el sistema colonia de hormigas efectúa un proceso de evaporación en dos etapas distintas. La primera etapa, conocida como evaporación local se realiza durante la construcción de cada solución. La segunda etapa, conocida como evaporación global se ejecuta luego de realizar los depósitos de feromona.

La evaporación global se aplica al final de cada iteración y afecta todos los elementos de todas las alternativas, excepto a la que posea las mejores características. Una alternativa es mejor que otra si: Posee un menor grado de infactibilidad o posee la misma infactibilidad, pero un menor número de restricciones blandas insatisfechas.

Para la formación de las alternativas de solución se recurre a dos tipos de matrices de feromonas. La primera matriz relaciona la deseabilidad aprendida de seleccionar el salón para una sección específica, y la segunda matriz relaciona la deseabilidad aprendida de seleccionar el bloque de tiempo para dictar una sección determinada. Para el proceso de asignación de aulas se establece un orden, el cual depende del número de salones donde es factible que un evento se desarrolle, dando prioridad a los eventos con un menos número de opciones factibles, finalizada esta etapa se procede a asignar los bloques de tiempo en los cuales se dictaron las secciones que son impartidas en un mismo salón, cada vez que una sección se asigna a un salón o a un bloque de tiempo disminuye levemente la cantidad de feromona que caracteriza al elemento adicionado. De esta se previene el estancamiento sobre soluciones de baja calidad y se amplía la diversidad de soluciones construidas en cada iteración.

Peñuela, Franco & Toro [42], aborda el problema de generación de horarios, programando eventos de clase en 45 horas repartidas en 9 horas para 5 días a la semana, conocido un conjunto de salones, un número de estudiantes que asisten a los eventos y un conjunto de características que requieren los eventos. Se desarrolló un programa computacional en lenguaje Delphi, que implementó la metodología, fue validado a través de tres casos de prueba. En todos los casos de prueba se consiguieron soluciones factibles pero con violación de restricciones blandas.

- **Algoritmos Genéticos:**

Son algoritmos probabilísticos caracterizados por el hecho de que un número N de posibles soluciones (llamadas individuos) registran el espacio de soluciones en un problema de optimización. Los algoritmos genéticos crean poblaciones iniciales de soluciones que tiene distinto grado de eficiencia la cual es posible evaluar por cumplimiento de las restricciones planteadas [30] de tal manera que se determina si este individuo es solución, o si no lo es, que transformación sufrirá para pasar a la siguiente generación [27]. Los métodos de selección tienen como objeto elegir los individuos más aptos de una población para pasarlos directamente a la siguiente. Entre los métodos más usados se encuentran la selección por ruleta que simula el comportamiento de una ruleta en la cual los individuos más fuertes ocupan un mayor rango es decir poseen mayor probabilidad de reproducirse; el método torneo binario el cual consiste en elegir dos individuos para que compitan de manera que el ganador pasa a la siguiente generación [28], otros métodos que se relacionan en la literatura son: Control sobre un número esperado, elitista y por ranking. Una vez elegido los individuos más aptos se aplica el operador de cruce, que tiene como objeto combinar los individuos y el último operador que se aplica a la población generada es el de mutación.

En la inteligencia artificial, se simula el comportamiento de los individuos sobre la teoría de la evolución en la meta-heurística de Algoritmos Genéticos y Algoritmos evolutivos. La diferencia entre estos dos radica principalmente, en la representación del individuo en la población. Los algoritmos genéticos utilizan representación binaria y los evolutivos no binaria [29] .

Varios autores han utilizando esta meta-heurística en la solución del problema de timetabling [30] , Erben y Keppler (1996) trataron el problema de programación clase-profesor para una gran muestra de datos demostrando que el algoritmo es capaz de obtener resultados prometedores. En 2001 Ueda Et Al, presenta una estrategia en dos fases del algoritmo genético para la universidad de Hiroshima, inicialmente se desarrolla la asignación de los estudiantes y luego la asignación del aula, demostrando que el algoritmo fue capaz de encontrar una solución viable. En el 2008 se utilizó este algoritmo para la asignación de horarios en la universidad del norte en la Guajira inicialmente se desarrolló la formulación matemática del problema en donde se describen las restricciones a tener en cuenta y posteriormente se utiliza el algoritmo genético, obteniendo un software que permite resolver problemas de gran tamaño en tiempos computacionales razonables y satisfaciendo niveles de calidad deseados.

- **Búsqueda Tabú:**

La búsqueda tabú es un procedimiento metaheurístico diseñado para encontrar soluciones sub-óptimas en problemas de optimización combinatoria, introducido por Glover en 1986. La búsqueda tabú es una combinación de búsqueda local con un mecanismo de memoria a corto plazo (lista tabú) que impide al proceso estancarse en ciclos, ya que esta guarda la historia reciente de la búsqueda.

Elementos claves en búsqueda Tabú:

- Restricciones Tabú: restringir la búsqueda al clasificar ciertos movimientos como prohibidos (tabú), para evitar caer en soluciones recientemente generadas.
- Criterio de aspiración (aspiration criteria): liberar la búsqueda por medio de una función de memoria a corto plazo (olvido estratégico).

Se crea un subconjunto $T \subseteq S$ usando información histórica extendiéndola t iteraciones en el pasado.

Las aplicaciones de este método en problemas timetabling son variadas de las cuales vamos a nombrar algunas. Marchan y Alvarez [57] Crean un modelo para la programación de las sesiones del congreso de la República de Perú el cual pretende minimizar a través de la búsqueda tabú el ausentismo y la falta de quórum por los cruces de horarios que tienen los congresistas por el elevado número de comisiones a las que pertenece. El algoritmo de búsqueda tabú fue descrito en c++, los resultados obtenidos fueron buenos se logró disminuir considerablemente los cruces en la programación de las comisiones.

Franco y Toro [43] desarrollado para la Universidad del Norte, emplea la metodología para la solución del problema en cuatro fases a saber. En la primera de ellas se obtiene una programación inicial de los eventos por medio de un constructivo, para que los eventos sean programados en salones habilitados, a fin de obtener una configuración inicial con pocas restricciones duras violadas. En la segunda fase se emplea una búsqueda local para disminuir las restricciones duras violadas, en la tercera fase se alcanza una solución factible, en la que se cumplan todas las restricciones duras. En la cuarta fase se usa búsqueda tabú para minimizar las restricciones blandas. Se presenta la configuraciones de vecindad a partir de intercambiar bloque de tiempo del evento con otro suceso en el mismo salón, moviendo el evento a un bloque de tiempo libre en un salón habilitado para esta actividad. Para seleccionar los eventos que sirven para generar la vecindad se usa el índice de sensibilidad que se forma al calcular la función objetivo, el criterio de selección es el mayor valor del índice de sensibilidad. Se utiliza la memoria de corto

plazo que evita regresar a configuraciones ya visitadas y escapar de óptimos locales. La memoria de corto plazo consiste en un vector (estado _ tabú) que almacena el estado de prohibición de un evento. Cuando se ejecuta un movimiento en el que participa un evento, la posición del vector estado _ tabú asociado a ese evento cambia a un valor _ tabú, el cual corresponde al número de iteraciones en que se prohíben movimientos que involucren al suceso que cambió. También se usa la memoria de largo plazo basada en frecuencia, lo cual permite la exploración de regiones no visitadas por los eventos al modificar aquellos que hayan sufrido menores cambios. A través del modelo propuesto se obtuvieron resultados positivos o soluciones factibles en un tiempo computacional de 400 segundos.

Gil y Martínez [44] prueban que en los experimentos realizados, en todos los casos de prueba, el algoritmo basado en Tabú Search encuentra mejores soluciones que las obtenidas con el método manual, en un tiempo de cómputo razonable. Esto lleva a pensar que el algoritmo debe, en general, encontrar buenas soluciones al problema de asignación de horarios de clases en el Departamento de Computación de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo.

Alvarez y Crespo [45] presentan su experiencia para resolver los problemas de asignación, atribuyendo su éxito a la técnica de búsqueda tabú, en este trabajo presentan los diferentes modelos y criterios empleados durante los años de investigación sobre timetabling.

Schaerf y Gaspero [46] desarrollan un software de búsqueda local aplicando especialmente search EASYLOCAL++, como una herramienta para la resolución de los problemas de asignación de exámenes, de cursos y el de las escuelas secundarias.

- **GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Proce**

Un GRASP es un método multi-arranque, en el cual cada iteración GRASP consiste en la construcción de una solución miope aleatorizada seguida de una búsqueda local usando la solución construida como el punto inicial de búsqueda local. Este procedimiento se repite varias veces y la mejor solución encontrada sobre todas las iteraciones GRASP se devuelve como la solución aproximada [56]

2.6 Herramienta Informática de Apoyo para el Desarrollo del Proyecto

Xpress-MP es un software de optimización desarrollado por la empresa británica Dash Optimization. Consiste en una familia de herramientas para el modelado y optimización de problemas lineales, cuadráticos y enteros, utilizando técnicas de programación lineal y diversos algoritmos de búsqueda.

3 DESCRIPCIÓN DE LA INSTANCIA

Un caso particular del problema de asignación horaria, es el que existe en el edificio Camilo Torres de la Universidad Industrial de Santander, en donde la asignación se realiza de forma descentralizada, es decir cada una de las escuelas pertenecientes a este edificio se encarga de hacer la programación de los cursos y asignación de aulas, las cuales ya se encuentran predefinidas para cada una de ellas.

Las escuelas que programan sus cursos en el Edificio Camilo Torres son: la Escuela de Física, la Escuela de matemáticas, la Escuela de Química y la Escuela de Biología. El proceso de asignación horaria se ve dividido en dos etapas a saber:

1. Una primera asignación es realizada por cada una de las escuelas, las cuales determinan un horario inicial para la programación de las sesiones que se impartirán en el próximo semestre, este se debe ingresar al sistema académico modulo horarios de acuerdo con las fechas estipuladas por la Universidad. Es de considerar que el proceso de asignación no esta estandarizado y que cada escuela lo realiza según su experiencia y oportunidades, las cuales se describirán mas adelante.
2. Una vez se ha realizado la asignación por parte de las escuelas estas informan a la oficina de admisión y registro académico, sobre las sesiones a los cuales no fue posible asignar aula, para que esta oficina intervenga, lo cual consiste en encontrar un aula para los cursos faltantes, en un proceso de negociación.

Este proyecto aborda la instancia que se presenta en la primera etapa descrita anteriormente, es decir, los métodos y resultados que se presenten, serán para el horario inicial, que surge de cada una de las escuelas, ya que son la base para el desarrollo de las etapas posteriores.

3.1 Procesos de Asignación Horaria

Inicialmente se determina el número de cursos que se requieren para el semestre en cuestión, para esto cada escuela debe realizar una estimación de

la demanda. Dicha estimación se construye manualmente, revisando las estadísticas de las deserciones, las cancelaciones y los admitidos cada semestre. Una vez consultadas las estadísticas, éstas se comparan con la programación del semestre anterior para evaluar si tal programación cubre la demanda de grupos, o si es necesario modificarla. De acuerdo con las experiencias del personal de cada escuela, la programación de semestres anteriores para los cursos se preserva en una gran proporción, semestre a semestre, de esta manera se construye una programación inicial de cursos ofertados, esta información se ingresa al “*Sistema Académico- Modulo De Horarios*”, donde se podrá consultar la información de todos los cursos programados por parte de las escuelas (hora, aula, profesor, capacidad del grupo).

Una vez se realiza la matricula de los estudiantes, la Universidad tiene establecido dentro de su calendario académico la primera semana del semestre para hacer el ajuste de matricula, en este instante las escuelas evalúan la opción de cerrar o abrir grupos, según el comportamiento de la demanda, es decir en esta semana los estudiantes pueden incluir o cancelar las materias teniendo en cuenta el reglamento establecido para inclusión y cancelación de materias.

Cuando se tiene certeza de la demanda y los grupos que se abrirán en el semestre la oficina de admisión y registro, obtiene la información discriminada de los horarios por escuela, grupo y aula, la cual es consultada en el “*Sistema Académico- Modulo De Académico- Listado De Horario De Aula*” en donde se muestra la ocupación diaria de las respectivas aulas. Esta es la base para que la oficina de admisión haga la asignación de aulas a los grupos faltantes, a través de la conciliación con las escuelas que tengan aulas disponibles en los horarios necesarios, este proceso tiene una duración aproximada de cuatro semanas.

3.2 Proceso de Asignación por Escuelas

Los parámetros que se tienen en cuenta para la asignación de aulas por parte de las escuelas son:

- Disponibilidad de los profesores en las tres categorías existentes en la Universidad:
 - **Profesor Planta:** Esta modalidad consideran los profesores que laboran tiempo completo, ya sean en áreas académicas o administrativas.

- **Profesor Cátedra:** Se vincula al área de docencia por un tiempo semanal de 25 horas máximo.
- **Estudiante de Maestría:** Se vincula al área de docencia por un tiempo semanal de 12 horas máximo.
- Aulas disponibles de acuerdo a la asignación previa realizada por la Universidad para cada una de las escuelas.
- Cantidad de cursos ofertados por semestre

3.2.1 Escuela de Química

La escuela de química determina los cursos a dictar y realiza la asignación de salones, este proceso se basa en gran parte de la información de los horarios del semestre anterior, por último se realiza la asignación del docente encargado la cual tiene como entrada los materias acordadas con los profesores planta. Para los profesores cátedra y maestría la asignación se realiza arbitrariamente de manera homogénea tratando de abarcar las mismas franjas horarias y se publica el horario con el fin de verificar la disponibilidad del profesor cátedra, en caso de presentarse inconformidades se realiza el cambio pertinente ya se con acuerdos entre profesores o cambios de los mismos.

3.2.2 Escuela de Física

Para definir los posibles horarios se parte de la información suministrada por el personal docente de la escuela: los profesores planta en reunión con el director de escuela establecen las posibles materias a dictar y horarios disponibles por cada uno de ellos. Los profesores cátedra y maestría informan los horarios en los cuales pueden prestar el servicio a la Universidad y las materias de acuerdo a su preferencia.

Para la asignación de materias se da prioridad a las solicitudes realizadas por los profesores planta y en el caso de los profesores cátedra se tiene en cuenta el resultado de la evaluación docente y la demanda existente.

Ya determinados los cursos a dictar considerando el pronóstico de la demanda y los profesores asignados a cada materia se realiza el proceso de asignación de aulas manualmente.

3.2.3 Escuela de Matemáticas

Debido a que la escuela con las aulas asignadas no puede cubrir la totalidad de la demanda se hace necesario habitualmente solicitar el préstamo de aulas a otras escuelas pertenecientes a la Universidad.

El proceso de asignación considera inicialmente la disponibilidad de los profesores cátedra y planta³ y los cursos a dictar basados en la demanda, posteriormente realizan la asignación de los grupos en las aulas asignadas y solicita la asignación de los restantes a la división de Admisiones y Registro Académico.

3.2.4 Escuela de Biología

El proceso de asignación es similar al realizado por la escuela de química, aunque se presenta una consideración adicional la cual contempla los horarios disponibles de los profesores cátedra.

³ Horario y materia

4 FORMULACIÓN DEL MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE CURSOS

4.1 Introducción

Una vez planteado el problema de asignación horaria en el Edificio Camilo Torres, en este capítulo se propone la formulación de un modelo matemático para el problema que de acuerdo con la clasificación dada por Carter y Laporte podría asociarse con los subproblemas de Course Timetabling y Classroom Assignment, ya que lo que se pretende es la asignación de cursos a períodos de tiempo y aulas.

La estrategia de solución utilizada consiste en un modelo basado en restricciones para el problema descrito, que aproxime de la mejor manera algunas de las características propias de la instancia que se aborda. Sin embargo aunque se plantea como método de solución un modelamiento exacto, es posible observar que la búsqueda de la solución se ve limitada por un conjunto de soluciones inicialmente factibles, de manera que el espacio de búsqueda no está compuesto por todas las posibilidades, ya que como se menciona en el estado del arte, el problema de Timetabling debido a la cantidad de factores y restricciones que se involucran en las exigencias horarias hacen que la asignación sea considerado como un problema NP-Completo.

A continuación se detallan algunos elementos generales que deben ser considerados al momento de diseñar el modelo. Posteriormente, se propone un modelo que trata el problema de asignación de hora, día y salón para los grupos pertenecientes a las escuelas que conforman el Edificio Camilo Torres.

Pueden distinguirse [21] tres conjuntos básicos, cuyos elementos poseen propiedades y características y que en unión con las decisiones asociadas a ellos determinan el proceso de programación de cursos. Son estos conjuntos:

- **Grupos:** Conjunto que contiene todas los grupos que deben ser programados. Note que este conjunto no corresponde exactamente con el conjunto de asignaturas que se impartirán durante el periodo para el cual se está efectuando la programación, esto es debido a que para una asignatura en particular pueden generarse uno o más grupos cada una de las cuales corresponderá a un elemento de este conjunto.

- **Aulas:** Corresponde al conjunto de espacios físicos que serán demandados por cada grupo para desarrollar allí, en un horario establecido, las sesiones de clase.
- **Profesores:** Corresponde al conjunto de recursos humanos, representados en docentes, que serán demandados por cada una de los grupos para que se responsabilice del desarrollo de las sesiones de clase.
- **Intervalos de tiempo:** Corresponde a los intervalos de tiempo disponibles, resultado de dividir el periodo de programación en intervalos de longitud apropiada.

Note que podría fácilmente asimilarse el primer conjunto como un conjunto de clientes o tareas y los dos conjuntos restantes como conjuntos de bienes o recursos que son demandados o requeridos por el primero de ellos.

Los elementos de cada uno de los conjuntos descritos tienen propiedades y características propias (que denominaremos parámetros) [21]. Algunas de estas características son, para el conjunto de:

- **Grupos:** Número de estudiantes, Profesor que debe impartirla, escuela que ofrece el curso, intensidad horaria por semana.
- **Aulas:** Capacidad (número de estudiantes que puede albergar), escuela a la que pertenece dicha aula.
- **Profesores:** Grupos que le han sido asignadas, Horarios sugeridos, en cualquiera de las categorías que maneja la Universidad.
- **Intervalos de Tiempo:** Días y horas disponibles para el desarrollo de las sesiones de clase.

Es posible observar como algunas de las características de un conjunto están relacionadas con elementos de otros conjuntos, es el caso del profesor asignado a cada grupo y los grupos asignados a un profesor. Así mismo, hay características de diferentes conjuntos que se relacionan posteriormente, como es el caso del número de estudiantes de un grupo y la capacidad del aula que le será asignada.

El conjunto de intervalos de tiempo no se evidenciara en forma explicita en la formulación, sino que en unión con los elementos del conjunto AULAS constituirán un nuevo conjunto denominado SLOTS.

La definición de un slot [21], considera entonces elementos de los conjuntos de AULA y del conjunto de INTERVALOS. Este último conjunto esta definido de forma que el periodo de programación, (Por ejemplo, lunes a viernes de 6 am a 8 pm) se divide en intervalos de longitud apropiada (Por ejemplo de una hora) de modo que se asigna un número consecutivo a dichos intervalos comenzando con el valor de uno para el primero de ellos (Lunes de 6 a 7 am) y finalizando en el n-ésimo valor para el último (viernes 7-8 pm) de acuerdo con el ejemplo

Un slot corresponde entonces a un intervalo de tiempo aula de modo que el número de elementos en el conjunto SLOTS está conformado cuando más por todas las posibles combinaciones de los elementos AULAS e INTERVALOS.

Con el fin de formular el problema mediante un modelo matemático es necesario considerar las siguientes definiciones de conjuntos, parámetros y variable de decisión.

El modelo matemático al igual que la implementación en xpress, está basado en el modelo desarrollado en el proyecto de investigación de asignación de aulas de la Universidad de Antioquia, en el cual una de las autoras⁴ participó como asistente de investigación, sin embargo se hace necesario establecer una nueva restricción que se encargue de los conflictos de los profesores, ya que para este caso no se trabajará con horarios predefinidos.

4.2 Conjuntos

P: Conjunto de profesores indexado con p

G: Conjunto de Grupos indexado con g

G_p : Conjunto de Grupos dictados por el profesor p

A: Conjunto de Aulas indexado con a

T: Conjunto de patrones de tiempo, indexado con t

$t = (\text{día, hora})$: patrón de tiempo que especifica día y hora

⁴ Karen Juliana Pinto Bohórquez

S: Conjunto de slots el cual tendrá asociado un patrón de tiempo t y un aula a

$M_g \subset S$ Subconjunto de slots factibles para el grupo g . Se considera un subconjunto factible aquel que cumpla con la intensidad y capacidad requerida por el grupo y se encuentre dentro del horario factible establecido por el profesor.

$M_g =$ Conjunto de los subconjuntos de slots factibles para el grupo g

$$M_g = \{M_{1g}, M_{2g}, M_{3g}, \dots, M_{kg}\}$$

$M_{kg} =$ K-ésimo subconjunto de slots factibles para el grupo g

Por ejemplo, para el grupo g que tiene intensidad de cuatro horas semanales y es dictado por un profesor p que tiene establecido como horario de preferencia la jornada de la mañana para los días jueves y viernes, el k -ésimo subconjunto factible de slots podría ser aquel que indica dos slots continuos los jueves y viernes de 6-8 am en un salón particular.

4.3 Función sobre slots

$t(s) \in T$ es el patrón de tiempo del slot s

4.4 Parámetros

C_a : Capacidad del Aula a indexado con c

D_g : Número determinado de estudiantes para el grupo g

B_{kg} : Beneficio que generaría la asignación del subconjunto M_{kg} al grupo g ⁵

⁵ Este beneficio está relacionado directamente con el profesor asignado al grupo y la intensidad semanal, de manera que se dará mayor prioridad a los profesores planta y aquellos grupos que requieran mayor intensidad, sin embargo para un modelo que considere todos los edificios de la Universidad Industrial de Santander es posible definir este beneficio en términos de utilización, medios con los que cuentan las aulas, distancias y demás.

4.5 Variable de decisión

$$X_{kg} \begin{cases} 1 \text{ si el subconjunto } k \text{ es asignado al grupo } g \\ 0 \text{ e.o.c} \end{cases}$$

4.6 Modelo Matemático

De esta forma, podríamos formular el problema de asignación de salones de la siguiente manera:

$$\text{Max} \sum_{g \in G} \sum_{k \in M_g} B_{kg} X_{kg}$$

La función objetivo de esta formulación pretende maximizar el beneficio logrado con la asignación

S.A

1. Cada slot s será asignado cuando más a la sesión de clase de un grupo g

$$\sum_{g \in G} \sum_{k \in \{k: s \in M_{kg}\}} X_{kg} \leq 1 \quad \forall s \in S$$

2. Todo profesor p debe tener asignado a lo más un grupo j en un día y hora del subconjunto M_{kg}

$$\sum_{g \in G_p} \sum_{k \in \{k: t \in M_{kg}\}} X_{kg} \leq 1 \quad \forall t \in T, p \in P$$

3. Para un grupo g debe tener asignado a lo mas un subconjunto factible de slots M_{kg}

$$\sum_{k \in M_g} X_{kg} \leq 1 \quad \forall g \in G$$

La función objetivo representa el propósito principal de las escuelas y la Oficina de Admisiones y Registro académico, de maximizar el número de secciones asignada de manera que se optimice el uso de la planta física y la asignación en primer lugar de los profesores planta, con el fin de satisfacer sus preferencias horarias.

5 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

La implementación del modelo matemático descrito anteriormente para la Universidad Industrial de Santander comprende dos etapas a saber: el preprocesamiento de los datos, el cual se programó en Visual Basic de Excel y la solución de la instancia del preprocesamiento en Xpress-MP. En la primera

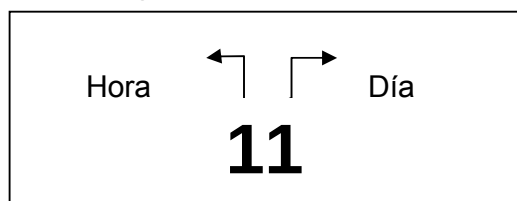
etapa se construye el conjunto de slots factibles M_{kg} , se calculan los beneficios y se determinan los patrones de tiempo asociados al conjunto de slots factibles para cada grupo y en la segunda fase se implementa la formulación en Xpress-MP.

5.1 Preprocesamiento

El algoritmo de preprocesamiento de datos requiere los siguientes datos de entrada:

- *El horario factible de los profesores:* Hace referencia a la franja horaria (día-hora) en la cual un profesor prefiere dictar sus sesiones de clase. Para este caso particular se tomó como referencia el horario dispuesto en el primer semestre del 2008 para las escuelas pertenecientes al Edificio Camilo Torres,⁶ ya que no se dispone de la información del horario factible para cada profesor. Con el fin de determinar dichas franjas se seleccionaron los grupos para las cuales fue asignado un mismo profesor y a partir de estos horarios se estableció el horario factible para cada uno de ellos, más una holgura que considera periodos homogéneos de tiempo entre los días de la semana, a manera de ejemplo: Para el profesor Daniel Miranda de la Escuela de Biología el horario factible de acuerdo con los grupos asignados para el primer semestre del 2008 es: MW8 -10 y WV10 -12, con la holgura el horario factible para este profesor será: MWV 8 -12. De acuerdo con el algoritmo establecido es necesario codificar estos horarios de la siguiente manera: el primer dígito estará asociado a la hora y el segundo al día.

Figura 2. Codificación



Fuente: Autoras

⁶ Esta información fue suministrada por la Oficina de Admisiones y Registro Académico se encuentra en el ANEXO 1.

De esta forma:

Tabla 1: Codificación

1	6-7 a.m	Lunes	1
2	7-8 a.m	Martes	2
3	8-9 a.m	Miércoles	3
.	.	Jueves	4
.	.	Viernes	5
14	7-8 p.m		

Fuente: Autoras

- *Disponibilidad del Profesor:* Debido a que el beneficio se encuentra asociado con las tres categorías de profesores descritas anteriormente, se requiere especificar para cada profesor a cuál de estas pertenece.
- *Características de los grupos:* Contempla el número de sesiones de clase semanales que se deben impartir y el número de estudiantes para un grupo particular, como ejemplo: para un grupo de Biología para Ingenieros la cantidad de sesiones semanales es tres y el número de estudiantes que se establece, dependiendo de la demanda estimada por la escuela es de 30 estudiantes.
- *Características propias de cada aula:* Se requiere como dato de entrada la capacidad máxima del salón. Para determinar la capacidad de las aulas se tomó como referencia los datos que maneja la oficina de Admisiones y Registro Académico que corresponde al inventario de sillas que se encuentran en cada salón.

El algoritmo utilizado en la construcción del conjunto de slots factibles para cada grupo, comprende varias etapas:

1. Se genera a partir del algoritmo descrito en el ANEXO 3 .el tamaño de las matrices asociadas a los horarios factibles para todos los profesores de la instancia que se desee procesar. Los datos de entrada para este algoritmo se relacionan en la Tabla 2. En donde l_p representa la cantidad de horas semanales requeridas por los grupos, la matriz HF el horario factible del profesor. Para este caso particular se obtiene como resultado el valor de cuatro (4) para de n (filas) y m (columnas).
2. Una vez calculado el tamaño de la matriz se genera un segundo algoritmo (ANEXO 4) el cual calcula a partir del horario factible del profesor (matriz HF) y de la cantidad de sesiones de clase requeridas por el grupo (l_p), las

posibles franjas horarias en las cuales se puede impartir dichas sesiones. De acuerdo con la intensidad horaria semanal requerida se establecieron las siguientes combinaciones como se observa en la Tabla 3

Tabla 2: Cálculo del tamaño de la matriz HF

Ip	HF					No Profesores	n(Filas)	m(Columnas)
4	32	33	0	35		2	4	4
4	42	43	0	45				
4	52	53	0	55				
4	62	63	0	65				

Fuente: Autoras

En caso de requerirse uno o dos bloques de dos sesiones y una sesión en días diferente, esta sesión estará dentro del intervalo del bloque, a manera de ejemplo: Para la asignatura Biología que requiere tres sesiones semanales el horario establecido sería lunes de 6-8 a.m y jueves 6-7 a.m. de igual forma para el caso de cinco horas semanales los dos bloques se encuentran en el mismo horario.

Tabla 3: Combinaciones de acuerdo con la Intensidad

INTENSIDAD	COMBINACIÓN
Tres sesiones semanales	Una sesión diariamente
	Un bloque de dos sesiones y una sesión en días diferentes
Cuatro sesiones semanales	Dos bloques de dos sesiones en días diferentes
Cinco sesiones semanales	Dos bloque de dos sesiones y una sesión en días diferentes

Fuente: Autoras

3. Luego de tener las posibles franjas horarias se realiza la combinación con las aulas, teniendo en cuenta la capacidad de la misma y la demanda

estimada (ANEXO 5) de esta forma se obtiene el M_{kg} . Es decir cada grupo se combina con las aulas que tengan mayor o igual capacidad que el tamaño del grupo. Es importante aclarar que en las escuelas, los grupos varían en la cantidad de horas semanales requeridas, sin embargo para la validación del modelo en Xpress se requiere que cada elemento que conforma el conjunto de slots factibles tenga el mismo tamaño, para este caso se tomó el valor máximo requerido semanalmente por los grupos, es

decir cinco horas, esta misma consideración aplica cuando se establezcan los beneficios y los patrones de tiempo. A manera de ejemplo se tiene dos grupos de intensidades de cuatro y tres horas semanales respectivamente, el primer elemento del conjunto M_{kg} estará definido como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Definición del conjunto de M_{kg}

GRUPO	1					2				
1	521	621	531	631	0	521	621	541	641	0
2	131	141	151	0	0	231	241	251	0	0

Fuente: Autoras

- De acuerdo con la restricción número dos descrita en el modelo matemático se requiere establecer el patrón de tiempo (día y hora) asociada a cada uno de los slot que conforman el conjunto de soluciones factibles M_{kg} , estos patrones se obtienen a partir del algoritmo descrito en el ANEXO 6.
- Por último se calcula el beneficio asociado a cada M_k de cada uno de los grupos (ANEXO 7), el cual está relacionado, para este caso en particular al tipo de profesor asignado y al número de sesiones semanales requeridas. De esta forma el beneficio está definido como:

$$\text{Beneficio} = b_{\text{tipoprofesor}} + b_{\text{horasrequeridas}}$$

Donde $b_{\text{tipoprofesor}}$ y $b_{\text{horasrequeridas}}$ puede tomar los siguientes valores:

Tabla 5: Valores Establecidos para el cálculo del Beneficio

TIPO DE PROFESOR	B _{TIPOPROFESOR}
Planta	0.5
Cátedra	0.4
Maestría	0.6

HORAS REQUERIDA	B _{HORASREQUERIDAS}
3	0.2
4	0.3
5	0.4

5.1.1 Escuela Química

La escuela de Química cuenta con 68 grupos los cuales imparten sus sesiones de clase en el Edificio Camilo Torres, las características de estos grupos se pueden observar en la

Tabla 6.

Tabla 6: Características de los Grupos Escuela de Química

Número	Nombre de la asignatura	lp	Capacidad grupo
1	QUIMICA ORGANICA I	3	28
2	QUIMICA ORGANICA III	3	40
3	QUIMICA BASICA	5	44
4	QUIMICA BASICA	5	45
5	FISICOQUIMICA	4	40
6	FISICOQUIMICA	4	40
7	QUIMICA II	4	41
8	FISICOQUIMICA IV	3	35
9	QUIMICA II	4	44
10	BIOCIENCIAS MEDICAS I	5	40
11	BIOCIENCIAS MEDICAS I	5	40
12	QUIMICA II	3	40
13	QUIMICA II	4	44
14	QUIMICA II	3	41
15	BIOCIENCIAS MEDICAS I	5	44
16	QUIMICA II	3	44
17	ANALISIS CUANTITATIVO	4	34
18	ANALISIS CUANTITATIVO	4	39
19	QUIMICA BASICA	5	41
20	QUIMICA BASICA	5	42
21	QUIMICA II	5	40
22	QUIMICA II	4	41
23	QUIMICA BASICA	4	43
24	QUIMICA DE LOS POLIMEROS	3	32
25	QUIMICA ORGANICA II	4	43
26	QUIMICA BASICA	5	41
27	INSTRUMENTACION QUIMICA I	3	37
28	INSTRUMENTACION QUIMICA I	3	24
29	QUIMICA INORGANICA I	3	35
30	QUIMICA INORGANICA II	3	42
31	BIOQUIMICA	4	31

32	QUIMICA I	4	42
Número	Nombre de la asignatura	lp	Capacidad grupo
33	QUIMICA I	4	43
34	QUIMICA I	4	48
35	QUIMICA II	4	44
36	QUIMICA I	4	42
37	QUIMICA I	4	42
38	QUIMICA BASICA	5	40
39	QUIMICA I	4	41
40	QUIMICA I	4	43
41	PUBLICACIONES QUIMICAS	4	57
42	QUIMICA I	4	43
43	QUIMICA BASICA	5	41
44	QUIMICA BASICA	5	42
45	QUIMICA BASICA	5	42
46	QUIMICA BASICA	5	42
47	QUIMICA BASICA	5	36
48	QUIMICA BASICA	5	42
49	INSTRUMENTACION QUIMICA II	3	40
50	QUIMICA GENERAL	4	40
51	QUIMICA GENERAL	4	33
52	QUIMICA I	4	45
53	QUIMICA BASICA	5	44
54	QUIMICA BASICA	5	45
55	QUIMICA GENERAL	4	43
56	QUIMICA I	4	42
57	QUIMICA I	4	44
58	QUIMICA II	4	45
59	QUIMICA BASICA	5	41
60	ETICA	4	42
61	QUIMICA I	4	32
62	QUIMICA BASICA	5	42
63	QUIMICA II	4	40
64	BIOQUIMICA I	4	48
65	BIOCIENCIAS I	5	35
66	BIOCIENCIAS I	5	31
67	BIOCIENCIAS I	5	36
68	QUIMICA GENERAL	4	60

Cuenta con un total de 33 profesores de los cuales 17 son planta, 4 de maestría y 12 cátedras. En la Tabla 7 se relacionan los grupos por profesor.

Tabla 7: Relación de Grupos por Profesor escuela de Química

Número	Tipo profesor	Nombre Profesor	N grupos
1	P	ALIRIO PALMA	2
2	P	ANGELA MONTAÑO	2
3	P	CLAUDE EWERT	3
4	P	ENRIQUE MEJIA	1
5	P	GERARDO BAUTISTA	3
6	P	HERNANDO MONCALEANO	4
7	P	JAIME CAMARGO	3
8	P	JORGE AVILA	2
9	P	JORGE RAMIREZ	3
10	P	JOSE GUTIERREZ	1
11	P	JUAN URBINA	1
12	P	LUZ CARREÑO	1
13	P	LUZ VARGAS	1
14	P	MARIANNY COMBARIZA	1
15	P	MARTA NIÑO	2
16	P	RODRIGO TORRES	1
17	P	ROSA LOPEZ	3
18	C	ADOLFO POLO	1
19	C	CIRO ROZO	3
20	C	ELVIRA TIRADO	2
21	C	HECTOR DIAZ	1
22	C	JESUS ANDELFO PINILLA	5
23	C	JOSE CABALLERO	2
24	C	JOSE PINTO	2
25	C	LUIS BARBOSA	1
26	C	LUIS LAZARO	3
27	C	MARIO MACIAS	1
28	C	NELSON GUALDRON	4
29	C	OLGA CELIS	1
30	C	SANDRA CADENA	2
31	C	MARIA GONZALEZ	3
32	C	NASSER GUERRERO	2
33	C	HANS CASTRO	1

Las aulas asignadas a esta escuela tienen las siguientes características.

Tabla 8: Características de las aulas escuela de Química

Aula	Capacidad
202	80
203	42
204	52
210	45
211	45
212	45

Procesados estos datos el máximo M_{kg} que se obtuvo fue de 90 y el número máximo de slots requeridos es de 5 horas semanales.

5.1.2 Escuela de Física

La escuela de Física cuenta con 79 grupos con las siguientes características.

Tabla 9: Características de los Grupos Escuela de Física

Número	Nombre de la asignatura	Ip	Capacidad grupo
1	FISICA III	5	36
2	FISICA III	5	36
3	FISICA II	5	37
4	OPTICA GEOMETICA Y ONDAS	4	32
5	FISICA III	5	36
6	FISICA III	5	36
7	FISICA I	5	84
8	FISICA I	5	84
9	FISICA I	5	42
10	FISICA II	5	37
11	FISICA I	5	21
12	FISICA I	5	42
13	FISICA I	5	43
14	FISICA II	5	36
15	FISICA II	5	36
16	FISICA I	5	43
17	FISICA I	5	42
18	FISICA III	5	36
19	FISICA III	5	36

Número	Nombre de la asignatura	Ip	Capacidad grupo
20	FISICA III	5	36
21	MECANICA	4	41
22	FISICA III	5	36
23	FISICA III	5	36
24	FISICA III	5	36
25	FISICA III	5	37
26	FISICA III	3	36
27	FISICA III	5	36
28	FISICA III	3	54
29	FISICA II	5	36
30	FISICA II	5	37
31	FISICA II	5	36
32	FISICA II	5	36
33	FISICA II	3	36
34	MECANICA ANALITICA	4	62
35	MECANICA ANALITICA	4	60
36	MECANICA ANALITICA	4	61
37	FISICA II	5	36
38	FISICA II	3	36
39	FISICA III	5	36
40	FISICA I	5	42
41	FISICA II	3	36
42	FISICA II	5	37
43	FISICA I	5	42
44	FISICA II	5	40
45	FISICA II	5	36
46	FISICA II	5	37
47	FISICA II	5	36
48	FISICA II	5	36
49	FISICA II	3	36
50	FISICA I	5	21
51	FISICA I	3	46
52	FISICA I	3	36
53	FISICA II	5	36
54	FISICA I	5	42
55	FISICA II	5	36
56	FISICA III	5	36
57	FISICA III	5	36
58	FISICA II	3	45
59	FISICA II	5	37
60	FISICA II	5	37
61	FISICA II	5	38
62	FISICA III	5	36

Número	Nombre de la asignatura	Ip	Capacidad grupo
63	FISICA II	3	42
64	FISICA III	5	36
65	FISICA II	5	36
66	FISICA II	5	36
67	FISICA II	5	36
68	FISICA II	3	36
69	FISICA I	5	42
70	FISICA I	5	42
71	FISICA I	5	42
72	FISICA I	3	45
73	FISICA I	5	21
74	FISICA I	3	46
75	FISICA I	3	46
76	FISICA III	5	36
77	MECANICA ANALITICA	4	62
78	MECANICA ANALITICA	4	61
79	MECANICA ANALITICA	4	61

Cuenta con un total de 35 profesores de los cuales 12 son planta y 23 cátedras. En la Tabla 10 se relacionan los grupos por profesor.

Tabla 10 Relación de Grupos por Profesor escuela de Física

Número	Tipo profesor	Nombre Profesor	N grupos
1	P	ANCISAR FLOREZ	2
2	P	ARTURO PLATA	2
3	P	CARLOS BELTRAN	2
4	P	ESPERANZA AGUILAR	2
5	P	HAROL PAREDES	3
6	P	JADER GUERRERO	2
7	P	JAIME MENESES	1
8	P	LUIS CASTELLANOS	3
9	P	LUIS GARCIA	1
10	P	MILTON FLOREZ	2
11	P	RAFAEL CABANZO	1
12	P	RAFAEL TORRES	5
13	C	ALEJANDRO MARTINEZ	2
14	C	ALVARO BARRERA	1
15	C	ANTONIO GUTIERREZ	4
16	C	CESAR RIVEROS	3
17	C	CESAR SARMIENTO	3

Número	Tipo profesor	Nombre Profesor	N grupos
18	C	CRISTIAN ARIZA-ESPERANZA AGUILAR	1
19	C	ELY DANNIER NIÑO	2
20	C	FABIO LORA	1
21	C	FERNANDO DURAN	1
22	C	HERNANDO ALTAMAR	1
23	C	JADER GONZALEZ	4
24	C	JAVIER LOPEZ	1
25	C	JERSON REINA	2
26	C	JOSE HERRERA	2
27	C	JOSE PARRA	1
28	C	JOSE RIZZO	2
29	C	JUAN BARRIOS	5
30	C	LIKIDCEN LOPEZ	2
31	C	MAO MURILLO	4
32	C	MIGUEL PARRA	4
33	C	OMAR ESPITIA	3
34	C	PAOLO OSPINA	1
35	C	YESIT GARCIA	3

Las aulas asignadas a esta escuela tienen las siguientes características.

Tabla 11: Características de las aulas escuela de Física

Aula	Capacidad
116	60
403	50
404	50
405	50
201	80
101	180
102	60

Procesados estos datos el máximo M_{kg} que se obtuvo fue de 210 y el número máximo de slots requeridos es de 5 horas semanales.

5.1.3 Escuela de Biología

La escuela de Biología cuenta con 42 grupos con las siguientes características.

Tabla 12: Características de los Grupos Escuela de Biología

Número	Nombre de la asignatura	Ip	Capacidad grupo
1	BIOLOGIA GENERAL	5	23
2	BIOLOGIA GENERAL	5	30
3	INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	5	20
4	EVOLUCIÓN	5	17
5	BOTANICA II	5	33
6	FLORISTICA III	5	20
7	ZOOLOGIA II	5	27
8	ETICA	5	25
9	GENETICA MICROBIANA III	5	20
10	ANALISIS DE LA EXPRESION GENETICA	5	20
11	BIOLOGIA CELULAR	5	30
12	FISIOLOGIA VEGETAL	5	25
13	BIOLOGIA GENERAL	5	27
14	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	5	30
15	ECOLOGIA DE LAS AVES	5	20
16	INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	5	20
17	BIOLOGIA DEL DESARROLLO	5	27
18	BIOLOGIA PARA GEOLOGIA	5	35
19	BIOLOGIA PARA GEOLOGIA	5	25
20	LIMNOLOGIA I	5	20
21	ECOLOGIA II	5	23
22	BIOLOGIA CELULAR	5	41
23	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	26
24	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	35
25	BIOLOGIA CELULAR	5	35
26	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	37
27	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	32
28	BIOLOGIA	5	32
29	BIOLOGIA	5	32
30	FISIOLOGIA ANIMAL	5	25
31	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	5	37
32	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	37
33	BIOLOGIA CELULAR	5	40
34	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	39
35	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	36
36	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	36
37	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	5	29
38	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	25
39	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	2	38
40	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	5	36
41	BIOLOGIA PARA INGENIEROS	5	37
42	BIOLOGIA CELULAR	5	34

Cuenta con un total de 20 profesores de los cuales 11 son planta y 9 cátedras. En la Tabla 13 se relacionan los grupos por profesor.

Tabla 13: Relación de Grupos por Profesor escuela de Biología

Número	Tipo profesor	Nombre Profesor	N grupos
1	P	DAGOBERTO ARRIETA	2
2	P	DANIEL MIRANDA	2
3	P	HUMBERTO GARCIA	2
4	P	IVAN GUERRERO	1
5	P	JAVIER RONDON	1
6	P	JORGE FUENTES	1
7	P	JORGE HERNANDEZ	3
8	P	JOSE MORENO	3
9	P	MARTHA RAMIREZ	2
10	P	ROSA GAVILAN	3
11	P	VICTOR SERRANO	1
12	C	ADRIANA JEREZ	1
13	C	ALFONSO VILLALOBO	3
14	C	ALICIA ROJAS	2
15	C	BEATRIZ GUERRA	2
16	C	GERMAN PATIÑO	1
17	C	HENRRY SUAREZ	3
18	C	JUAN CHACON	3
19	C	JUAN GUTIERREZ	3
20	C	NASSER GUERRERO	3

Las aulas asignadas a esta escuela tienen las siguientes características.

Tabla 14: Características de las aulas escuela de Biología

AULA	CAPACIDAD
103	60
401	45
409	45
410	45

Procesados estos datos el máximo M_{kg} que se obtuvo fue de 80 y el número máximo de slots requeridos es de 5 horas semanales.

5.1.4 Escuela Matemáticas

La escuela de Matemáticas cuenta con 148 grupos los cuales imparten sus clases en el Edificio Camilo Torres, las características de estos grupos se pueden observar en la Tabla 15.

Tabla 15: Características de los Grupos Escuela de Matemáticas

Número	Nombre de la asignatura	Ip	Capacidad grupo
1	CALCULO I	4	39
2	CALCULO I	4	41
3	ALGEBRA LINEAL II	4	28
4	ALGEBRA LINEAL II	4	35
5	CALCULO III	4	29
6	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	33
7	GEOMETRIA EUCLIDIANA	4	29
8	CALCULO II	4	34
9	CALCULO III	4	33
10	CALCULO III	4	35
11	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	35
12	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	34
13	ANALISIS MATEMATICO I	4	22
14	MATEMATICA BASICA II	4	30
15	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	35
16	CALCULO I	4	40
17	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	35
18	CALCULO III	4	34
19	CALCULO III	4	30
20	CALCULO III	4	35
21	ALGEBRA LINEAL II	4	34
22	TEORIA DE CONJUNTOS	4	15
23	ALGEBRA LINEAL I	4	33
24	CALCULO I	4	40
25	CALCULO I	4	40
26	ALGEBRA LINEAL I	4	27
27	ALGEBRA SUPERIOR	4	37
28	ALGEBRA LINEAL I	4	34
29	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	35
30	DIDACTICA DEL CALCULO	4	13
31	TALLER DE LENGUAJE I	4	52
32	CALCULO III	4	35
33	CALCULO III	4	33
34	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	33

Número	Nombre de la asignatura	Ip	Capacidad grupo
35	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	35
36	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	30
37	TALLER DE LENGUAJE II	4	30
38	ALGEBRA LINEAL I	4	37
39	ALGEBRA LINEAL I	4	33
40	ALGEBRA LINEAL I	4	29
41	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	39
42	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	36
43	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	41
44	DIDACTICA DE LA ARITMETICA Y EL ALGE	4	30
45	ALGEBRA LINEAL I	4	32
46	CALCULO II	4	33
47	CALCULO II	4	36
48	CALCULO III	4	38
49	CALCULO III	4	37
50	ALGEBRA LINEAL I	4	36
51	ALGEBRA LINEAL I	4	36
52	CALCULO III	4	35
53	ALGEBRA MODERNA	4	15
54	ALGEBRA MODERNA	4	27
55	CALCULO II	4	30
56	CALCULO III	4	30
57	CALCULO III	4	31
58	CALCULO II	4	34
59	ALGEBRA SUPERIOR	4	30
60	CALCULO II	4	33
61	CALCULO II	4	33
62	CALCULO II	4	35
63	ALGEBRA LINEAL I	4	29
64	CALCULO II	4	31
65	CALCULO II	4	32
66	ALGEBRA LINEAL I	4	39
67	ALGEBRA LINEAL I	4	40
68	ALGEBRA LINEAL I	4	32
69	CALCULO I	4	40
70	CALCULO I	4	40
71	CALCULO I	4	40
72	CALCULO I	4	40
73	ALGEBRA LINEAL I	4	29
74	MATEMATICA ECONOMICA I	4	39
75	MATEMATICA ECONOMICA I	4	37
76	CALCULO I	4	40

Número	Nombre de la asignatura	Ip	Capacidad grupo
77	CALCULO I	4	40
78	CALCULO I	4	40
79	CALCULO II	4	35
80	ALGEBRA LINEAL I	4	28
81	CALCULO III	4	37
82	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	34
83	MATEMATICAS I	4	35
84	CALCULO I	4	40
85	CALCULO I	4	40
86	ALGEBRA LINEAL I	4	39
87	ESTADISTICA ECONOMICA	4	33
88	ESTADISTICA ECONOMICA	4	33
89	ALGEBRA LINEAL I	4	38
90	CALCULO I	4	40
91	CALCULO I	4	40
92	CALCULO I	4	40
93	CALCULO II	4	40
94	CALCULO II	4	31
95	ALGEBRA LINEAL I	4	35
96	ALGEBRA LINEAL I	4	33
97	CALCULO I	4	40
98	CALCULO I	4	40
99	ALGEBRA LINEAL I	4	33
100	CALCULO I	4	40
101	ALGEBRA SUPERIOR	4	15
102	ALGEBRA LINEAL I	4	34
103	ALGEBRA LINEAL I	4	27
104	CALCULO III	4	36
105	MATEMATICA ECONOMICA II	4	35
106	MATEMATICA ECONOMICA II	4	35
107	MATEMATICA ECONOMICA III	4	40
108	FUNDAMENTACION DIDACTICA	4	23
109	CALCULO II	4	30
110	CALCULO II	4	31
111	CALCULO II	4	31
112	CALCULO I	4	40
113	CALCULO I	4	40
114	CALCULO I	4	40
115	ALGEBRA LINEAL I	4	29
116	ALGEBRA LINEAL I	4	29
117	CALCULO I	4	40
118	CALCULO I	4	40
119	ALGEBRA LINEAL I	4	35

Número	Nombre de la asignatura	Ip	Capacidad grupo
120	CALCULO I	4	40
121	CALCULO I	4	40
122	CALCULO I	4	40
123	CALCULO I	4	40
124	CALCULO I	4	40
125	CALCULO I	4	40
126	CALCULO I	4	40
127	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	40
128	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	34
129	ECUACIONES DIFERENCIALES	4	38
130	CALCULO I	4	40
131	CALCULO III	4	35
132	CALCULO III	4	39
133	PSICOLOGIA DEL APRENDIZAJE	4	21
134	PSICOLOGIA EDUCATIVA	4	21
135	CALCULO I	4	40
136	CALCULO I	4	40
137	CALCULO I	4	40
138	SEMINARIO I HISTORIA DE LA PEDAGOGIA	4	31
139	SEMINARIO I HISTORIA DE LA PEDAGOGIA	4	30
140	CALCULO II	4	35
141	CALCULO II	4	37
142	CALCULO III	4	37
143	CALCULO III	4	34
144	CALCULO II	4	32
145	CALCULO II	4	35
146	CALCULO II	4	31
147	ALGEBRA LINEAL I	4	34
148	ALGEBRA LINEAL II	4	33

Cuenta con un total de 57 profesores de los cuales son 20 planta, 3 de maestría y 34 cátedras. En la Tabla 16 se relacionan los grupos por profesor.

Tabla 16: Relación de Grupos por Profesor escuela de Matemáticas

Número	Tipo profesor	Nombre Profesor	N grupos
1	P	ARNOLDO TEHERAN	4
2	P	CARLOS RODRÍGUEZ	3
3	P	CAROLINA MEJÍA	1

Número	Tipo profesor	Nombre Profesor	N grupos
4	P	CLAUDIA GRANADOS	4
5	P	EDILBERTO REYES	2
6	P	ELDER VILLAMIZAR	1
7	P	GILBERTO ARENAS	2
8	P	GILDARDO GUZMÁN	4
9	P	HÉCTOR HIGUERA	4
10	P	JORGE FIALLO	1
11	P	JORGE VILLAMIZAR	2
12	P	JOSÉ MAYORGA	3
13	P	JULIO CARRILLO	2
14	P	LUIS OÑATE	4
15	P	RAFAEL APONTE	3
16	P	RAFAEL CASTRO	3
17	P	RAFAEL ISAAC	2
18	P	RICARDO MONTURIOL	4
19	P	SONIA SABOGAL	2
20	P	WILSON OLAYA	3
21	C	ALBERTO MACÍAS	3
22	C	CARLOS FAJARDO	2
23	C	CARLOS BAUTISTA	4
24	C	CESAR LOAIZA	2
25	C	CLAUDIA MONTAÑEZ	4
26	C	DANIEL MORENO	4
27	C	DANIEL RAMIREZ	2
28	C	DEISY VILLALBA	2
29	C	DORIS GONZALEZ	3
30	C	ENRIQUE ESCOBAR	2
31	C	FERNANDO PÉREZ	2
32	C	GERMÁN JAIMES	2
33	C	GONZALO DÍAZ	3
34	C	HILDA DUARTE	2
35	C	HUGO GARCÍA	3
36	C	JORGE CUPABAN	3
37	C	JORGE NORIEGA	3
38	C	JORGE PRADA	3
39	C	LEONARDO VIRVIESCAS	1

Número	Tipo profesor	Nombre Profesor	N grupos
40	C	LIBARDO MORAN	3
41	C	LIGIA ARGUELLO	1
42	C	LUIS BARRERA	4
43	C	LUIS HIJUELOS	2
44	C	LUIS ORTIZ	2
45	C	MARÍA GOMEZ	3
46	C	MARCO MARTÍNEZ	2
47	C	MARISELA ARDILA	3
48	C	MIGUEL ARAQUE	2
49	C	MIGUEL SILVA	3
50	C	NÉSTOR QUIÑONEZ	1
51	C	OSCAR LOZANO	2
52	C	PATRICIA DÍAZ	2
53	C	ROSARIO IGLESIAS	3
54	C	SANDRO BASTO	2
55	C	SOREN ARENAS	4
56	C	STERLING CASTAÑEDA	3
57	C	ALEXANDER REATIGA	2

Las aulas asignadas a esta escuela tienen las siguientes características.

Tabla 17: Características de las aulas escuela de Matemáticas

AULA	CAPACIDAD
302	50
303	50
304	50
305	50
311	40
301	60
312	50
313	35
413	80
101	40

Procesados estos datos el máximo M_{kg} que se obtuvo fue de 32 y el número máximo de slots requeridos es de 4 horas semanales.

5.2 Modelado Matemático en Xpress-MP

El modelo matemático que se planteó en el capítulo cuatro, se implementó en Xpress-MP. El código se muestra en el ANEXO 8. A continuación se harán algunas aclaraciones necesarias para la implementación en esta herramienta.

Los parámetros de entradas se encuentran en un archivo plano (.dat) el cual contiene la siguiente información:

- GRUPOS:[Se enumeran la cantidad de grupos que se requieren asignar]
- SLOTS:[Slots con los que se cuentan en una instancia en particular, el tamaño de este conjunto estará definido por la cantidad de aulas asignadas a la escuela]
- PROFESORES:[Se debe enumerar la cantidad de profesores asignados a los grupos]
- PATRONT: [Patrones de tiempos asociados a los slots, recordemos que un patrón de tiempo está definido como día y hora, por lo tanto este es un dato constante para todas las escuelas]
- PARAM_PROF: [Esta definido como una matriz que tendrá el mismo tamaño en filas que el conjunto de profesores por dos columnas, en esta matriz se establecen el rango de los grupos asignados a dicho profesor, es decir, si el profesor uno tiene asignado 3 grupos y el profesor dos 4, esta matriz estará definida de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}$$

- PARAM_GRP: [Esta definido como una matriz de dos filas y tantas columnas como número de grupos, que contiene en la primera fila la cantidad de horas semanales requeridas por el grupo y en la segunda el máximo M_{kg} para cada grupos]

- SUBC_SLOTS:[Esta definida como una matriz de tantas columnas como grupos y la cantidad de filas se determinan a partir de la multiplicación del máximo número de slot requerido por el máximo número de subconjuntos factibles, esta matriz contiene el conjunto de M_{kg} establecido para cada grupo]
- SUBC_PT:[Matriz de igual tamaño que SUBC_SLOTS, contiene los patrones de tiempos asociados a los subconjuntos de slots factibles que se encuentran en SUBC_SLOTS]
- BENEFICIOS: [Esta matriz tendrá tantas columnas como grupos y tantas filas como el máximo número de subconjuntos factibles]

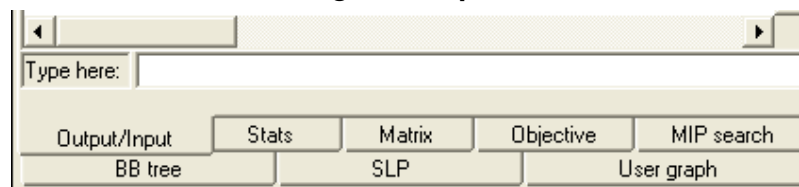
Todos los elementos del bloque declarations son dinámicos, pues al momento de su declaración no se conoce su tamaño. El tamaño de los elementos que allí se declaran, solo se definen hasta la ejecución de los bloques de initializations. Las instrucciones finalize (GRUPOS), finalize (SLOTS), finalize (PROFESORES), finalize (PATRONT), convierten los respectivos conjuntos dinámicos, en conjuntos constantes. De esta manera, los arreglos que estos conjuntos indexados, se vuelven estáticos. Siempre que sea posible es mejor usar arreglos estáticos que dinámicos, porque Mosel maneja más eficientemente los estáticos.

6 RESULTADOS COMPUTACIONALES

A partir de los datos de entrada organizados de acuerdo con lo mencionado en el apartado de preprocesamiento de datos y el modelo programado en Xpress. Las pruebas computacionales que se resolvieron corresponden a cuatro instancias relacionadas cada una de ellas con las escuelas pertenecientes al Edificio Camilo Torres de la Universidad Industrial de Santander.

La presentación de los resultados y validación de los mismos se hace para cada una de las instancias, para las cuales se describen las características particulares presentadas en la ejecución. Para esto Xpress cuenta con una herramienta llamada RUN BAR o barra de ejecución, la cual agrupa fichas o paneles: [Output/Input](#), [Stats](#), [Matrix](#), [Objective](#), [MIP search](#), [BB tree](#), [SLP progress](#), [User graph](#) como se observa en la Figura 3. Xpress

Figura 3. Xpress



Fuente: Xpres-MP

Las cuales permiten hacer seguimiento a la ejecución de los resultados cuantitativos y gráficos.

El análisis de los resultados que se presentaran para cada una de las instancias, se apoya en las fichas relacionadas con Ouput/Input y MIP Search, en las cuales se muestran los resultados impresos y el comportamiento de la búsqueda respectivamente. El Gap relaciona la aproximación porcentual que existe respecto a la solución óptima, siendo 0% el resultado del mismo en una solución óptima. Para este caso particular se establece como criterio de parada un GAP inferior a 10% y además de este criterio también es posible tener en cuenta, el tiempo en el cual no se presenta variación en el valor de la función objetivo que considera para estas instancias una hora como tiempo mínimo.

En el desarrollo de la validación del modelo se verifica que las restricciones propuestas se hayan desarrollado de la forma esperada. Para hacer esta evaluación se procede a determinar la ocupación de cada salón según los grupos asignados, es decir se presenta el salón con las franjas horarias (ver

Figura 4) las cual se van cubriendo a medida que se ingresan los grupos, que están relacionados con los profesores a través del color del bloque, lo cual se usa como método de verificación visual.

A través de este proceso se podrá evidenciar que no se tenga más de un subconjunto de slots factibles asignado por grupo, que los períodos del salón no se asignen más de una vez y que el profesor no presente conflicto.

Figura 4. Representación Horaria

SALÓN 2					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8					
8_9					
9_10					
10_11					
11_12					
12_13					
13_14					
14_15					
15_16					
16_17					
18_19					
19_20					
20_21					

Fuente: Autoras

Las instancias se generaron en un computador con procesador Intel Celeron de 2.16 GHz y 250 MB de RAM

6.1 Escuela de Física

La ejecución del modelo de la instancia de generó los resultados presentados en la Figura 5 y la Tabla 18. Cabe señalar que los resultados no corresponden a la solución óptima.

Esto se puede comprobar si se observa el valor arrojado por el Gap el cual es superior al 0%, esto ocurre en instancias donde se requiere realizar un alto número de iteraciones, por eso se considero apropiado un Gap de 7.5% el cual se obtiene en un tiempo de ejecución de 1.9 horas, considerándose este como un tiempo computacional prudente (Figura 7).

Dado que por un rango de 2.6 horas el valor del Gap se mantuvo constante, se detuvo la ejecución del programa. La cantidad de soluciones encontradas fueron 2, por ende los resultados corresponden a la segunda solución que

alcanza un valor de la función objetivo de 48.7 la cual fue encontrada en un tiempo de ejecución de 1.9 horas.

Figura 5. Resultados Escuela de Física

RunPane

Text output from Mosel/Optimizer. View/Edit Clear Auto Hide

CARACTERISTICAS DE LA INSTANCIA
 Número de GRUPOS: 79
 Número de Slots: 560
 Status: Unfinished.

ASIGNACION POR SECCION

SECCION	SUBCJTO	SLOTS
1	30	122
2	123	222
3	121	212
4	150	236
5	144	916
6	67	1022
7	102	223
8	18	426
9	62	414
10	N/A	
11	84	1126
12	6	911
13	188	1017
14	67	316
15	N/A	
16	106	214
17	81	913
18	40	324
19	204	227
20	199	117
21	3	323
22	144	1116
23	94	914
24	N/A	
25	80	613
26	143	1126
27	10	1121
28	60	1214
29	17	912
30	147	1116
31	N/A	
32	196	417
33	N/A	
34	7	926
35	21	1327
36	N/A	
37	20	1321
38	33	627
39	34	1127
40	19	1112
41	33	1333

Type here:

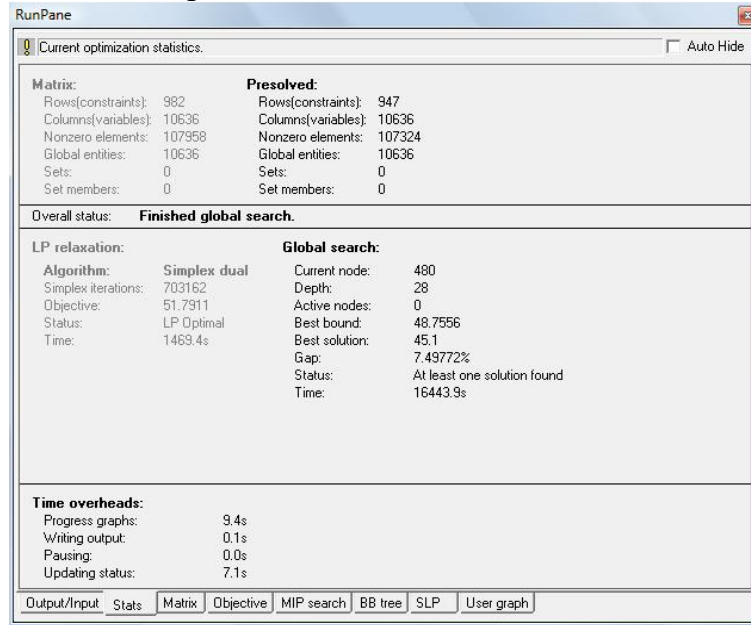
Output/Input Stats Matrix Objective MIP search BB tree SLP User graph

Fuente: Xpress-MP

De acuerdo con la solución arrojada, se observa que se asignaron 67 grupos de un total de 79, es decir se alcanzo un 84.81% de asignaciones.

Los datos del panel stats permiten observar que la función objetivo para la solución del problema dual simplex (cota superior) es de 51.79 y de acuerdo a los datos de la instancia el máximo beneficio que se podría obtener si se ejecutan el total de asignaciones es de 54.3, es decir el modelo en la solución óptima no alcanzaba al número total de asignaciones, esto debido a que el espacio de búsqueda se encuentra limitado y no considera asignaciones de sesiones de clase de un grupo en diferentes aulas, de la misma forma al establecer las combinaciones de acuerdo con la intensidad no se abarcan el total del espectro de las posibilidades. En relación con los datos dados por la oficina de Admisiones y Registro Académico, 6 grupos se encuentran asignados bajo estas características, tres cuyas sesiones de clase se imparten en aulas diferentes y los restantes con horarios no contemplados en las combinaciones. Por esta razón al realizarse la asignación manual la cantidad de grupos asignados es superior a la realizada por el algoritmo.

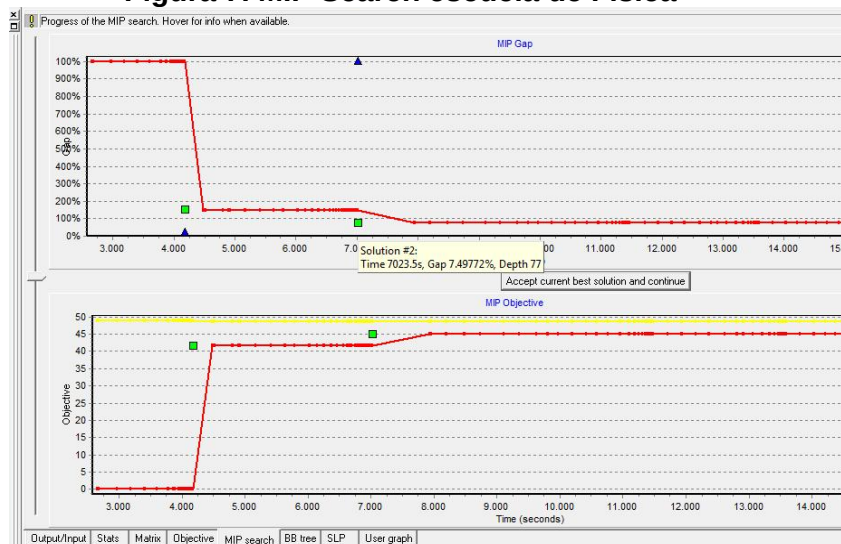
Figura 6. Stats Escuela de Física



Fuente: Xpress-MP

De acuerdo con la solución arrojada por Xpress la asignación en las aulas asignadas para esta escuela quedará como se observa en la Figura 8.

Figura 7. MIP Search escuela de Física



Fuente: Xpress

Figura 8. Asignación Horaria para los Salones de la Escuela de Física

SALÓN 1	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 49	GRUPO 49			GRUPO 49
7_8			GRUPO 67	GRUPO 67	GRUPO 67
8_9	GRUPO 50	GRUPO 50		GRUPO 50	GRUPO 50
9_10			GRUPO 65	GRUPO 65	GRUPO 65
10_11	GRUPO 63	GRUPO 52		GRUPO 52	GRUPO 63
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 12	GRUPO 12		GRUPO 12	
15_16	GRUPO 62		GRUPO 62		GRUPO 62
16_17		GRUPO 27		GRUPO 27	
18_19	GRUPO 53			GRUPO 53	GRUPO 53
19_20		GRUPO 37	GRUPO 37		
20_21					

SALÓN 2	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7		GRUPO 1	GRUPO 1		GRUPO 1
7_8				GRUPO 2	
8_9	GRUPO 2	GRUPO 55	GRUPO 2	GRUPO 55	GRUPO 55
9_10	GRUPO 76	GRUPO 76	GRUPO 76		
10_11	GRUPO 70			GRUPO 70	GRUPO 70
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 29	GRUPO 29		GRUPO 29	
15_16		GRUPO 6	GRUPO 6		GRUPO 6
16_17	GRUPO 40			GRUPO 40	GRUPO 40
18_19		GRUPO 69	GRUPO 69	GRUPO 69	
19_20					
20_21					

SALÓN 3	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 44	GRUPO 44	GRUPO 7	GRUPO 44	GRUPO 7
7_8		GRUPO 7			
8_9	GRUPO 43	GRUPO 21	GRUPO 43	GRUPO 21	GRUPO 43
9_10					
10_11	GRUPO 25	GRUPO 25		GRUPO 25	
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 17		GRUPO 17		GRUPO 17
15_16					
16_17	GRUPO 66		GRUPO 66	GRUPO 66	
18_19	GRUPO 68	GRUPO 68			GRUPO 68
19_20			GRUPO 41	GRUPO 41	
20_21					

SALÓN 4	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 45		GRUPO 45		GRUPO 45
7_8	GRUPO 16	GRUPO 16		GRUPO 16	
8_9		GRUPO 18	GRUPO 18		GRUPO 18
9_10	GRUPO 9	GRUPO 9		GRUPO 9	
10_11			GRUPO 73		GRUPO 73
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 23	GRUPO 23	GRUPO 23		
15_16	GRUPO 56			GRUPO 56	GRUPO 56
16_17		GRUPO 57	GRUPO 57		GRUPO 57
18_19	GRUPO 28		GRUPO 28	GRUPO 28	
19_20					
20_21					

SALÓN 5					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 42	GRUPO 42			GRUPO 42
7_8			GRUPO 4	GRUPO 4	GRUPO 4
8_9	GRUPO 47	GRUPO 47		GRUPO 47	
9_10	GRUPO 48		GRUPO 48	GRUPO 46	GRUPO 46
10_11					
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 5		GRUPO 5	GRUPO 5	
15_16					
16_17	GRUPO 30	GRUPO 26	GRUPO 26	GRUPO 26	GRUPO 30
18_19	GRUPO 58			GRUPO 58	
19_20					
20_21					

SALÓN 6					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					GRUPO 75
7_8	GRUPO 3	GRUPO 3	GRUPO 75	GRUPO 75	
8_9	GRUPO 14		GRUPO 14	GRUPO 14	
9_10		GRUPO 8	GRUPO 8		GRUPO 8
10_11	GRUPO 74			GRUPO 74	
11_12					
12_13					
13_14					
14_15		GRUPO 34	GRUPO 79	GRUPO 34	GRUPO 79
15_16					
16_17	GRUPO 22	GRUPO 11	GRUPO 11	GRUPO 11	GRUPO 22
18_19					
19_20		GRUPO 77	GRUPO 78	GRUPO 77	GRUPO 78
20_21					

SALÓN 7					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7				GRUPO 20	
7_8	GRUPO 20	GRUPO 19	GRUPO 20	GRUPO 19	GRUPO 19
8_9	GRUPO 64	GRUPO 64	GRUPO 64		
9_10	GRUPO 32			GRUPO 32	GRUPO 32
10_11		GRUPO 38		GRUPO 38	
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 59	GRUPO 59		GRUPO 59	
15_16			GRUPO 13		GRUPO 13
16_17	GRUPO 13			GRUPO 39	
18_19		GRUPO 39			
19_20		GRUPO 35	GRUPO 35		
20_21					

Tabla 18. Resultados Escuela de Física

GRUPO	SUBCJTO	SLOTS				
1	30	122	222	132	152	252
2	23	212	312	232	332	242
3	151	116	216	126	226	
4	150	235	335	245	255	355
5	144	915	1015	935	945	1045
6	57	1022	1122	1032	1132	1052
7	102	223	233	153	253	
8	18	426	526	436	456	556
9	52	414	514	424	524	444
10	N/A					
11	84	1126	1226	1136	1236	1146
12	5	911	921	1021	941	1041
13	188	1017	1117	1037	1057	1157
14	67	316	416	336	346	446
15	N/A					
16	106	214	314	224	244	344
17	81	913	1013	933	953	1053
18	40	324	334	434	354	454
19	204	227	247	347	257	357
20	199	117	217	137	237	147
21	3	323	423	343	443	
22	144	1116	1216	1156		
23	94	914	924	1024	934	1034
24	N/A					
25	80	513	613	523	623	543
26	143	1125	1225	1135	1235	1145
27	10	1121	1221	1141		
28	60	1214	1234	1334	1244	1344
29	17	912	1012	922	942	1042
30	147	1115	1155	1255		
31	N/A					
32	196	417	517	447	457	557
33	N/A					
34	7	926	1026	946	1046	
35	21	1327	1427	1337	1437	
36	N/A					
37	20	1321	1331	1431		
38	33	527	627	537	547	647
39	34	1127	1227	1137	1147	1247
40	19	1112	1212	1142	1152	1252
41	33	1333	1433	1343		
42	28	115	215	125	225	155
43	27	313	333	433	353	453
44	29	113	213	123	143	243
45	39	114	134	234	154	254
46	150	545	555	655		
47	125	315	325	425	345	445
48	125	415	515	435	535	455
49	28	111	211	121	221	151
50	3	311	411	321	421	341

GRUPO	SUBCJTO	SLOTS				
51	N/A					
52	4	521	621	541		
53	1	1211	1241	1341	1251	1351
54	N/A					
55	5	322	342	442	352	452
56	46	1014	1114	1044	1144	1054
57	43	1124	1224	1134	1154	1254
58	142	1215	1245	1345		
59	182	917	927	1027	947	1047
60	N/A					
61	N/A					
62	19	1011	1111	1031	1131	1051
63	13	511	551	651		
64	37	317	327	427	337	437
65	6	431	441	451		
66	73	1113	1133	1233	1143	1243
67	22	231	331	241	251	351
68	72	1213	1313	1223	1323	1253
69	34	1222	1232	1242		
70	42	512	612	542	552	652
71	N/A					
72	N/A					
73	91	534	554	654		
74	124	516	616	546		
75	54	136	236	146	246	156
76	18	412	422	522	432	532
77	9	1326	1426	1346	1446	
78	13	1336	1436	1356	1456	
79	11	936	1036	956	1056	

Fuente: Xpress-MP

6.2 Escuela de Biología

A diferencia de la escuela de física esta escuela, encuentra una solución óptima en un tiempo de 2 segundos, con un valor en la función objetivo de 25.7 como se observa en la Figura 9. Esto debido a que la cantidad de grupos y salones que se requieren asignar, respecto a las otras escuelas que se encuentran en el Edificio Camilo Torres es menor, por lo tanto el número de iteraciones que debe realizar es significativamente más pequeño. En comparación con la escuela de física el número de iteraciones es del 0.0729%.

Figura 9. Stats Escuela de Biología

Current optimization statistics.					
Matrix:			Presolved:		
Rows(constraints):	294		Rows(constraints):	294	
Columns(variables):	1724		Columns(variables):	1724	
Nonzero elements:	7736		Nonzero elements:	7736	
Global entities:	1724		Global entities:	1724	
Sets:	0		Sets:	0	
Set members:	0		Set members:	0	
Overall status: Finished global search.					
LP relaxation:			Global search:		
Algorithm:	Simplex dual		Current node:	74	
Simplex iterations:	518		Depth:	28	
Objective:	25.7		Active nodes:	0	
Status:	LP Optimal		Best bound:	25.7	
Time:	0.1s		Best solution:	25.7	
			Gap:	0%	
			Status:	Solution is optimal.	
			Time:	2.0s	
Time overheads:					
Progress graphs:	0.1s				
Writing output:	0.3s				
Pausing:	0.0s				
Updating status:	0.0s				
Output/Input Stats Matrix Objective MIP search BB tree SLP User graph					

Fuente: Xpress-MP

La ejecución del modelo de la instancia de Biología generó los resultados presentados en la Figura 10 y la Tabla 19.

Figura 10. Resultados Escuela de Biología

Text output from Mosel/Optimizer.					
View/Edit					
Clear					
Auto Hide					
CARACTERÍSTICAS DE LA INSTANCIA					
Número de GRUPOS: 42					
Número de Slots: 280					
Status: Solved to optimality.					
ASIGNACIÓN POR SECCION					
SECCION	SUBCJTO	SLOTS			
1	19	323	423	333	433
2	27	633	633	643	643
3	6	621	621	651	651
4	16	622	622	652	652
5	48	1334	1434	1344	1444
6	4	221	321	241	341
7	24	644	644	654	654
8	44	144	154	254	
9	36	1144	1154	1254	
10	27	613	613	623	623
11	38	614	614	624	624
12	17	612	612	632	632
13	30	432	442	542	
14	26	112	122	222	
15	10	114	214	124	224
16	16	324	424	344	444
17	20	724	824	744	844
18	59	1224	1234	1244	
19	6	1021	1121	1131	
20	6	922	1022	932	1032
21	3	631	631	641	641
22	4	931	1031	941	951
23	17	212	232	332	
24	14	1122	1222	1142	
25	6	331	431	351	451
26	2	1311	1411	1331	
Type here:					
Output/Input Stats Matrix Objective MIP search BB tree SLP User graph					

Fuente: Xpress-MP

Tabla 19. Resultados Escuela de Biología

GRUPO	SUBCJTO	SLOTS				
1	19	323	423	333	433	
2	27	533	633	543	643	
3	6	521	621	551	651	
4	15	522	622	552	652	
5	48	1334	1434	1344	1444	
6	4	221	321	241	341	
7	24	544	644	554	654	
8	44	144	154	254		
9	36	1144	1154	1254		
10	27	513	613	523	623	
11	38	514	614	524	624	
12	17	512	612	532	632	
13	30	432	442	542		
14	26	112	122	222		
15	10	114	214	124	224	
16	16	324	424	344	444	
17	20	724	824	744	844	
18	59	1224	1234	1244		
19	6	1021	1121	1131		
20	6	922	1022	932	1032	
21	3	531	631	541	641	
22	4	931	1031	941	951	1051
23	17	212	232	332		
24	14	1122	1222	1142		
25	6	331	431	351	451	411
26	5	1311	1411	1331		
27	8	1321	1421	1431		
28	19	924	1024	954	1054	
29	18	1233	1333	1243	1343	
30	10	1314	1414	1324	1424	
31	33	213	313	233		
32	5	211	311	231		
33	16	1332	1432	1322	1422	1412
34	10	1241	1341	1351		
35	8	121	151	251		
36	21	123	223	133		
37	19	352	452	412		
38	29	353	453	413		
39	37	314	414	454		
40	76	734	834	854		
41	38	1312	1342	1442		
42	26	1313	1413	1323	1423	1433

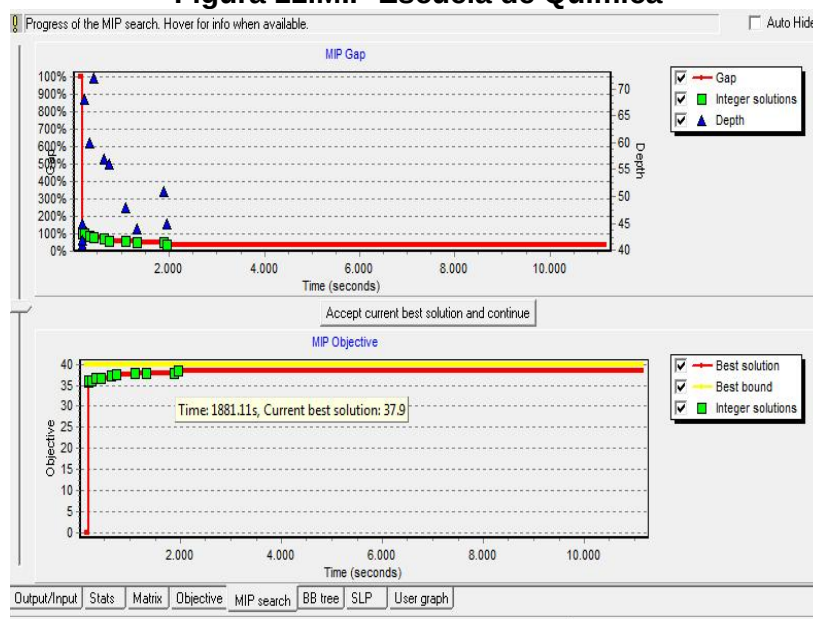
Fuente: Xpress

De acuerdo con la solución arrojada por Xpress la asignación en las aulas asignadas para esta escuela quedaran como se observa en la Figura 12.

6.3 Escuela de Química

La escuela de química presenta un comportamiento similar a la escuela de Física, por las características de la instancia la búsqueda de la solución óptima conduce a un tiempo computacional ineficiente. Por consiguiente esta instancia se ejecuto durante 3.2 Horas, en las cuales encontró 10 soluciones y no presento cambios a partir del minuto 32 (Figura 11) donde se obtuvo un Gap de 3,75% (Figura 13).

Figura 11.MIP Escuela de Química



Fuente: Xpress

En la Figura 14 y la Tabla 20 se presentan los resultados de la solución número 10, la cual alcanzó un Beneficio de 38,3 frente a 40,76 valor arrojado para la cota superior. Se observa que se asignan 59 grupos y el porcentaje de asignación fue de 86,76%.

Figura 12. Asignación Horaria para los Salones de la Escuela de Biología

SALÓN 1					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7		GRUPO 36		GRUPO 36	
7_8	GRUPO 31				
8_9		GRUPO 4	GRUPO 31		GRUPO 4
9_10			GRUPO 21	GRUPO 21	
10_11		GRUPO 7			GRUPO 7
11_12					
12_13					
13_14					
14_15		GRUPO 20	GRUPO 20		
15_16					
16_17				GRUPO 39	GRUPO 39
18_19					
19_20	GRUPO 30	GRUPO 30	GRUPO 5	GRUPO 5	
20_21					

SALÓN 2					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7		GRUPO 10	GRUPO 10		
7_8					
8_9	GRUPO 13	GRUPO 13	GRUPO 13		GRUPO 37
9_10	GRUPO 37		GRUPO 15	GRUPO 15	
10_11	GRUPO 11	GRUPO 11			
11_12					
12_13					
13_14					
14_15				GRUPO 9	GRUPO 9
15_16			GRUPO 22	GRUPO 22	GRUPO 22
16_17					
18_19		GRUPO 19	GRUPO 19	GRUPO 19	
19_20	GRUPO 40	GRUPO 33	GRUPO 33	GRUPO 40	
20_21	GRUPO 33				

SALÓN 3					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 14	GRUPO 14	GRUPO 34		GRUPO 34
7_8		GRUPO 32	GRUPO 32		
8_9	GRUPO 12		GRUPO 12		
9_10		GRUPO 16		GRUPO 16	
10_11			GRUPO 3		GRUPO 3
11_12		GRUPO 17		GRUPO 17	
12_13					
13_14					
14_15					
15_16					
16_17		GRUPO 24	GRUPO 28	GRUPO 24	GRUPO 28
18_19		GRUPO 41			
19_20	GRUPO 38		GRUPO 41	GRUPO 38	
20_21					

SALÓN 4					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7		GRUPO 6	GRUPO 8	GRUPO 6	GRUPO 8
7_8	GRUPO 23		GRUPO 23		
8_9		GRUPO 2	GRUPO 25	GRUPO 2	GRUPO 25
9_10	GRUPO 25				
10_11			GRUPO 1	GRUPO 1	
11_12					
12_13		GRUPO 42	GRUPO 42		
13_14					GRUPO 42
14_15		GRUPO 29			GRUPO 29
15_16					
16_17		GRUPO 18	GRUPO 18	GRUPO 18	
18_19				GRUPO 35	
19_20	GRUPO 26	GRUPO 27	GRUPO 26		GRUPO 35
20_21			GRUPO 27		

Los datos del panel stats permiten observar que la función objetivo para el problema dual es de 40,76 y de acuerdo a los datos de la instancia el máximo beneficio que se podría obtener si se ejecutan el total de asignaciones es de 45,3, es decir el modelo en la solución óptima no alcanzaba al número total de asignaciones, esto debido a que el espacio de búsqueda se encuentra limitado y no considera asignaciones de sesiones de clase de un grupo en diferentes aulas, de la misma forma al establecer las combinaciones de acuerdo con la intensidad no se abarcan el total del espectro de las posibilidades. En relación con los datos dados por la oficina de Admisiones y Registro Académico 10 grupos cuyas sesiones de clase se imparten en aulas diferentes. Por esta razón al realizarse la asignación manual la cantidad de grupos asignados es superior a la realizada por el algoritmo.

Figura 13. Stats Escuela de Química

Current optimization statistics. Auto Hide			
Matrix:		Presolved:	
Rows(constraints):	797	Rows(constraints):	659
Columns(variables):	3277	Columns(variables):	3262
Nonzero elements:	30415	Nonzero elements:	28581
Global entities:	3277	Global entities:	3262
Sets:	0	Sets:	0
Set members:	0	Set members:	0
Overall status: Finished global search.			
LP relaxation:		Global search:	
Algorithm:	Simplex dual	Current node:	13108
Simplex iterations:	9513	Depth:	40
Objective:	40.763	Active nodes:	5520
Status:	LP Optimal	Best bound:	39.7933
Time:	3.2s	Best solution:	38.3
		Gap:	3.75273%
		Status:	At least one solution found
		Time:	11561.5s
Time overheads:			
Progress graphs:	263.6s		
Writing output:	0.1s		
Pausing:	0.0s		
Updating status:	3.5s		
Output/Input Stats Matrix Objective MIP search BB tree SLP User graph			

Figura 14. Output Escuela de Química

Text output from Mosel/Optimizer. View/Edit Clear Auto Hide					
CARACTERISTICAS DE LA INSTANCIA					
Número de GRUPOS: 68					
Número de Slots: 660					
Status: Unfinished.					
ASIGNACIÓN POR SECCION					
SECCION	SUBCJTO	SLOTS			
1	76	446	466	666	
2	60	334	434	364	
3	7	613	613	623	663
4	10	914	944	1044	964
6	20	1022	1122	1032	1132
6	68	1116	1216	1166	1266
7	76	436	636	466	666
8	16	223	233	333	
9	2	621	621	631	631
10	9	1123	1223	1133	1233
11	N/A				
12	33	433	443	453	
13	61	326	336	346	0
14	19	1212	1312	1232	
16	24	213	313	243	263
16	67	136	236	166	
17	77	126	226	146	246
18	29	332	432	362	462
19	32	416	616	426	436
20	38	1016	1046	1146	1066
21	12	1142	1242	1162	1262
22	7	422	622	442	642
23	26	226	236	336	246
24	20	1024	1124	1034	
Type here:					
Output/Input Stats Matrix Objective MIP search BB tree SLP User graph					

Fuente: Xpress

Tabla 20. Resultados Escuela de Química

SECCION	SUBCJTO	SLOTS				
1	75	445	455	555		
2	50	334	434	354		
3	7	513	613	523	553	653
4	10	914	944	1044	954	1054
5	20	1022	1122	1032	1132	
6	58	1115	1215	1155	1255	
7	76	436	536	456	556	
8	16	223	233	333		
9	2	521	621	531	631	
10	9	1123	1223	1133	1233	1143
11	N/A					
12	33	433	443	453		
13	61	326	336	346	0	
14	19	1212	1312	1232		
15	24	213	313	243	253	353
16	67	136	236	156		
17	77	126	226	146	246	
18	29	332	432	352	452	
19	32	415	515	425	435	535
20	38	1016	1046	1146	1056	1156
21	12	1142	1242	1152	1252	0
22	7	422	522	442	542	
23	25	225	235	335	245	
24	20	1024	1124	1034		
25	6	241	341	251	351	
26	10	932	942	1042	952	1052
27	13	323	423	343		
28	70	426	446	546		
29	3	321	331	431		
30	N/A					
31	20	525	625	545	645	
32	13	212	312	222	322	
33	52	516	616	526	626	
34	24	533	633	543	643	
35	11	215	315	255	355	
36	47	134	234	154	254	
37	5	911	1011	921	1021	
38	28	512	612	532	632	552
39	7	624	724	634	734	
40	2	1121	1221	1141	1241	
41	1	1111	1211	1151	1251	

SECCION	SUBCJTO	SLOTS				
42	15	931	1031	941	1041	
43	46	214	224	324	244	344
44	88 915	1015	925	955	1055	
45	N/A					
46	N/A					
47	18	1025	1125	1035	1045	1145
48	N/A					
49	2	421	451	551		
50	2	142	242	152	252	
51	11	816	916	846	946	
52	26	1134	1234	1144	1244	
53	N/A					
54	38	1324	1334	1434	1344	1444
55	4	913	1013	933	1033	
56	63	926	1026	936	1036	
57	2	411	511	441	541	
58	29	424	524	454	554	
59	50	614	644	744	654	754
60	6	216	316	256	356	
61	4	414	514	444	544	
62	N/A					
63	48	1235	1335	1245	1345	
64	14	1213	1313	1253	1353	
65	N/A					
66	N/A					
67	11	1226	1236	1336	1246	1346
68	1	121	221	131	231	

Fuente: Xpress-MP

De acuerdo con la solución arrojada por Xpress en las aulas asignadas para esta escuela quedará como se observa en la Figura 15.

6.4 Escuela de Matemáticas

La escuela de matemáticas es la instancia que presenta mayor cantidad grupos a asignar, respecto a las otras escuelas mencionadas anteriormente, de la misma forma aunque es la escuela que contiene mayor número de salones asignados, estos recursos son limitados pues lo demanda es superior.

De acuerdo con la información dada por el director de escuela de matemáticas, es necesario llegar a un acuerdo con las otras escuelas que se encuentran en el Edificio Camilo Torres a fin de realizar la mayor asignación posible dentro de este edificio.

Figura 15. Asignación Horaria para los Salones de la Escuela de Química

SALÓN 1					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8		GRUPO 68	GRUPO 68		
8_9		GRUPO 29	GRUPO 29	GRUPO 25	GRUPO 25
9_10	GRUPO 57	GRUPO 49		GRUPO 57	GRUPO 49
10_11		GRUPO 9	GRUPO 9		
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 37	GRUPO 37	GRUPO 42	GRUPO 42	
15_16					
16_17	GRUPO 41	GRUPO 40		GRUPO 40	GRUPO 41
18_19					
19_20					
20_21					

SALÓN 2					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8	GRUPO 32	GRUPO 32		GRUPO 50	GRUPO 50
8_9					
9_10			GRUPO 18		GRUPO 18
10_11		GRUPO 22		GRUPO 22	
11_12	GRUPO 38		GRUPO 38		GRUPO 38
12_13					
13_14					
14_15			GRUPO 26	GRUPO 26	GRUPO 26
15_16					
16_17		GRUPO 5	GRUPO 5		
18_19			GRUPO 14	GRUPO 21	GRUPO 21
19_20	GRUPO 14				
20_21					

SALÓN 3					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8	GRUPO 15	GRUPO 8		GRUPO 15	GRUPO 15
8_9		GRUPO 27	GRUPO 8	GRUPO 27	
9_10			GRUPO 12	GRUPO 12	GRUPO 12
10_11	GRUPO 3	GRUPO 3	GRUPO 34	GRUPO 34	GRUPO 3
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 55		GRUPO 55		
15_16					
16_17		GRUPO 10	GRUPO 10	GRUPO 10	
18_19	GRUPO 49				GRUPO 49
19_20					
20_21					

SALÓN 4					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8	GRUPO 43		GRUPO 36	GRUPO 43	GRUPO 36
8_9		GRUPO 43			GRUPO 1
9_10	GRUPO 61	GRUPO 58	GRUPO 2	GRUPO 61	GRUPO 58
10_11					
11_12	GRUPO 59	GRUPO 39	GRUPO 39	GRUPO 59	GRUPO 59
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 4			GRUPO 4	GRUPO 4
15_16					
16_17		GRUPO 24	GRUPO 24	GRUPO 52	
18_19			GRUPO 52	GRUPO 52	
19_20		GRUPO 54	GRUPO 54		GRUPO 54
20_21					

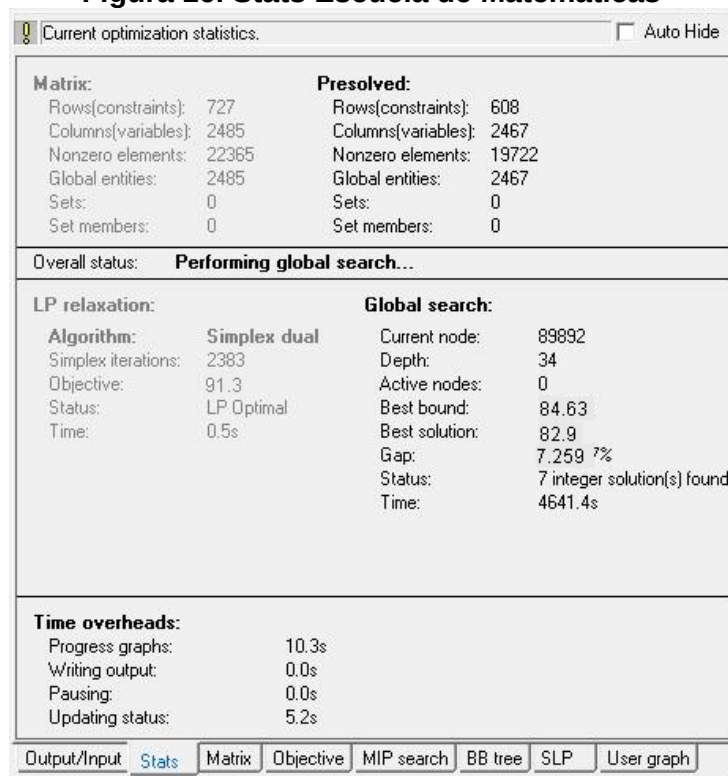
SALÓN 5					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8	GRUPO 35	GRUPO 23	GRUPO 23		GRUPO 35
8_9					
9_10	GRUPO 19	GRUPO 19	GRUPO 19	GRUPO 1	GRUPO 1
10_11					
11_12		GRUPO 31		GRUPO 31	
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 44	GRUPO 44			GRUPO 44
15_16		GRUPO 47	GRUPO 47	GRUPO 47	
16_17	GRUPO 6				GRUPO 6
18_19			GRUPO 48	GRUPO 48	
19_20					
20_21					

SALÓN 6					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7		GRUPO 17	GRUPO 16	GRUPO 17	GRUPO 16
7_8	GRUPO 60				
8_9		GRUPO 13	GRUPO 13	GRUPO 13	
9_10		GRUPO 28	GRUPO 7	GRUPO 28	GRUPO 7
10_11	GRUPO 33	GRUPO 33			
11_12					
12_13					
13_14	GRUPO 51			GRUPO 51	
14_15		GRUPO 56	GRUPO 56		
15_16	GRUPO 20				GRUPO 20
16_17					
18_19		GRUPO 67		GRUPO 67	
19_20			GRUPO 67		
20_21					

Sin embargo con la información dada por la Oficina de Admisiones y Registro Académico se puede establecer que 54 de los 148 grupos con los cuales cuenta esta escuela, se encuentran asignados en salones diferentes e incluso en Edificios como Ingeniería Mecánica o industrial.

Por lo tanto se observa un comportamiento similar a las escuelas de Física y Química debido a las características de la instancia, la búsqueda de la solución óptima conduce a un tiempo computacional ineficiente. Por consiguiente esta instancia se ejecuto durante 3.2 Horas, en las cuales encontré 7 soluciones y no presento cambios a partir del minuto 20 (Figura 16) donde se obtuvo un Gap de 7,7259% (Figura 17).

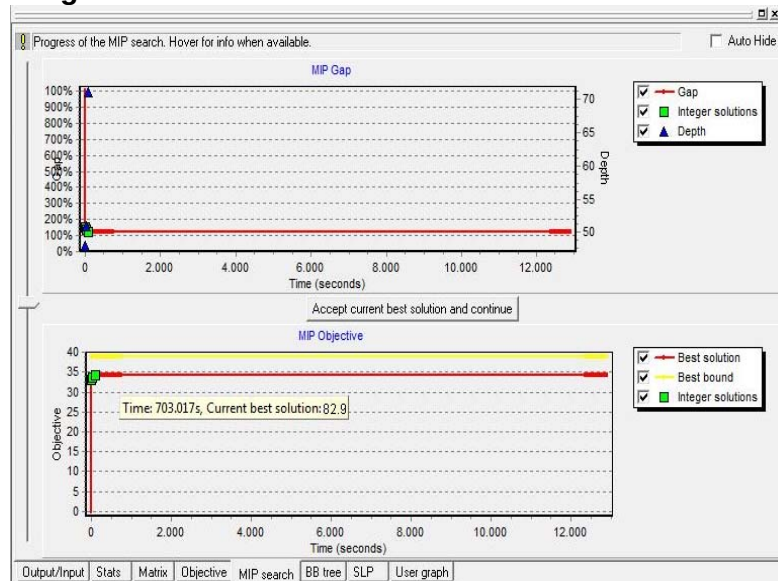
Figura 16. Stats Escuela de Matemáticas



Fuente: Xpress

Es importante mencionar que estas 108 asignaciones se dan dentro del Edificio Camilo Torres, manteniendo el mismo salón entre las sesiones semanales que requiere un grupo, esta asignación es superior a la realizada por la Escuela manualmente.

Figura 17. MP seach Escuela de Matemáticas



Fuente: Xpress

En la Tabla 21 y Figura 18 se presentan los resultados de la solución número 7, la cual alcanzó un Beneficio de 82.9 frente a 91.3 de la cota superior calculad. Se observa que se asignan 108 grupos y el porcentaje de asignación fue de 72.97%.

Tabla 21. Resultados Escuela de Matemáticas

GRUPO	SLOTS			
1	N/A			
2	524	624	554	654
3	N/A			
4	323	423	333	433
5	N/A			
6	331	431	351	451
7	934	1034	954	1054
8	314	414	344	444
9	N/A			
10	113	213	143	243
11	522	622	542	642
12	311	411	341	441
13	N/A			
14	N/A			

GRUPO	SLOTS			
15	923	1023	943	1043
16	131	231	151	251
17	1112	1212	1142	1242
18	1125	1225	1145	1245
19	425	525	445	545
20	615	715	645	745
21	625	725	635	735
22	225	325	235	335
23	N/A			
24	435	535	455	555
25	245	345	255	355
26	1313	1413	1343	1443
27	1113	1213	1133	1233
28	912	1012	932	1032
29	322	422	342	442
30	521	621	551	651
31	922	1022	942	1042
32	334	434	354	454
33	N/A			
34	N/A			
35	1111	1211	1141	1241
36	1121	1221	1131	1231
37	N/A			
38	1122	1222	1132	1232
39	512	612	532	632
40	N/A			
41	332	432	352	452
42	N/A			
43	N/A			
44	N/A			
45	N/A			
46	1115	1215	1135	1235
47	513	613	523	623
48	531	631	541	641
49	313	413	343	443
50	1123	1223	1143	1243
51	543	643	553	653
52	1144	1244	1154	1254
53	1114	1214	1124	1224
54	514	614	544	644
55	112	212	152	252
56	N/A			
57	124	224	144	244
58	N/A			

GRUPO	SLOTS			
59	114	214	154	254
60	1314	1414	1354	1454
61	915	1015	945	1045
62	935	1035	955	1055
63	N/A			
64	1325	1425	1345	1445
65	123	223	153	253
66	1324	1424	1334	1434
67	N/A			
68	N/A			
69	914	1014	924	1024
70	1311	1411	1321	1421
71	N/A			
72	933	1033	953	1053
73	1332	1432	1342	1442
74	N/A			
75	5210	6210	5510	6510
76	N/A			
77	1118	1218	1138	1238
78	2210	3210	2510	3510
79	N/A			
80	439	539	459	559
81	526	626	546	646
82	937	1037	957	1057
83	1146	1246	1156	1256
84	1346	1446	1356	1456
85	N/A			
86	N/A			
87	129	229	139	239
88	516	616	556	656
89	147	247	157	257
90	138	238	158	258
91	317	417	357	457
92	5110	6110	5310	6310
93	527	627	537	637
94	N/A			
95	948	1048	958	1058
96	918	1018	928	1028
97	N/A			
98	9110	10110	9310	10310
99	1128	1228	1148	1248
100	926	1026	946	1046
101	336	436	356	456
102	117	217	137	237

GRUPO	SLOTS			
103	517	617	557	657
104	1110	2110	1410	2410
105	1339	1439	1359	1459
106	1139	1239	1159	1259
107	N/A			
108	1127	1227	1137	1237
109	919	1019	959	1059
110	N/A			
111	11410	12410	11510	12510
112	1317	1417	1337	1437
113	116	216	136	236
114	3110	4110	3310	4310
115	119	219	149	249
116	N/A			
117	916	1016	936	1036
118	1117	1217	1147	1247
119	929	1029	949	1049
120	N/A			
121	318	418	338	438
122	1116	1216	1126	1226
123	1329	1429	1349	1449
124	1318	1418	1338	1438
125	13310	14310	13510	14510
126	1328	1428	1348	1448
127	N/A			
128	337	437	347	447
129	328	428	358	458
130	N/A			
131	329	429	349	449
132	529	629	549	649
133	316	416	326	426
134	118	218	128	228
135	11110	12110	11310	12310
136	1326	1426	1336	1436
137	N/A			
138	9210	10210	9510	10510
139	N/A			
140	N/A			
141	N/A			
142	1129	1229	1149	1249
143	927	1027	947	1047
144	N/A			
145	N/A			
146	126	226	146	246

GRUPO	SLOTS			
147	1347	1447	1357	1457
148	13110	14110	13210	14210

Fuente: Xpress

Se puede observar en todas las instancias que el algoritmo formulado cumple con las restricciones planteadas en todos los casos. De manera que no se presenta conflicto de slots, aulas ni profesores y los tiempos computacionales son inferiores a la dedicación que actualmente se requiere, que en promedio de acuerdo con la información suministrada por las personas encargadas de este proceso se encuentra alrededor de quince días.

Es importante aclarar que para hallar el tiempo total del proceso se requiere tener en cuenta el reprocesamiento de los datos, que varía en cada una de las instancias, debido a que la cantidad de profesores no es un parámetro constante y recordemos que como dato de entrada se requiere la matriz de horarios factibles del profesor.

Figura 18. Asignación Horaria para los Salones de la Escuela de Matemáticas

SALÓN 1					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8			GRUPO 16		GRUPO 16
8_9	GRUPO 12		GRUPO 6	GRUPO 12	GRUPO 6
9_10					
10_11			GRUPO 48	GRUPO 48	
11_12		GRUPO 30			GRUPO 30
12_13					
13_14					
14_15					
15_16					
16_17	GRUPO 35	GRUPO 36	GRUPO 36	GRUPO 35	
18_19					
19_20	GRUPO 70	GRUPO 70			
20_21					

SALÓN 2					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8	GRUPO 55				GRUPO 55
8_9	GRUPO 41	GRUPO 29	GRUPO 41	GRUPO 29	
9_10					
10_11	GRUPO 39	GRUPO 11	GRUPO 39	GRUPO 11	
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 28	GRUPO 31	GRUPO 28	GRUPO 31	
15_16					
16_17	GRUPO 17	GRUPO 38	GRUPO 38	GRUPO 17	
18_19					
19_20			GRUPO 73	GRUPO 73	
20_21					

SALÓN 3					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8		GRUPO 65			GRUPO 65
8_9	GRUPO 49	GRUPO 4	GRUPO 4	GRUPO 49	
9_10					
10_11	GRUPO 47	GRUPO 47	GRUPO 51		GRUPO 51
11_12					
12_13					
13_14					
14_15		GRUPO 15	GRUPO 72	GRUPO 15	GRUPO 72
15_16					
16_17	GRUPO 27	GRUPO 50	GRUPO 27	GRUPO 50	
18_19					
19_20	GRUPO 26			GRUPO 26	
20_21					

SALÓN 4					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8	GRUPO 59	GRUPO 57		GRUPO 57	GRUPO 59
8_9	GRUPO 8		GRUPO 32	GRUPO 8	GRUPO 32
9_10					
10_11	GRUPO 54	GRUPO 1		GRUPO 54	GRUPO 1
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 67	GRUPO 67	GRUPO 7		GRUPO 7
15_16					
16_17	GRUPO 53	GRUPO 53		GRUPO 52	GRUPO 52
18_19					
19_20	GRUPO 60	GRUPO 66	GRUPO 66		GRUPO 60
20_21					

SALÓN 5					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7					
7_8					
8_9		GRUPO 22	GRUPO 22	GRUPO 25	GRUPO 25
9_10					
10_11		GRUPO 19	GRUPO 24	GRUPO 19	GRUPO 24
11_12	GRUPO 20	GRUPO 21	GRUPO 21	GRUPO 20	
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 61		GRUPO 62	GRUPO 61	GRUPO 62
15_16					
16_17	GRUPO 46	GRUPO 18	GRUPO 46	GRUPO 18	
18_19					
19_20		GRUPO 64		GRUPO 64	
20_21					

SALÓN 6					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 113	GRUPO 146	GRUPO 113	GRUPO 146	
7_8					
8_9	GRUPO 133	GRUPO 133	GRUPO 101		GRUPO 101
9_10					
10_11	GRUPO 88	GRUPO 81		GRUPO 81	GRUPO 88
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 117	GRUPO 100	GRUPO 117	GRUPO 100	
15_16					
16_17	GRUPO 123	GRUPO 123	GRUPO 83		GRUPO 83
18_19					
19_20		GRUPO 136	GRUPO 136	GRUPO 84	GRUPO 84
20_21					

SALÓN 7					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 102		GRUPO 102	GRUPO 89	GRUPO 89
7_8					
8_9	GRUPO 31		GRUPO 128	GRUPO 128	GRUPO 31
9_10					
10_11	GRUPO 103	GRUPO 33	GRUPO 33		GRUPO 103
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 143		GRUPO 82	GRUPO 143	GRUPO 82
15_16					
16_17	GRUPO 118	GRUPO 106	GRUPO 118	GRUPO 106	
18_19					
19_20	GRUPO 112		GRUPO 112	GRUPO 147	GRUPO 147
20_21					

SALÓN 8					
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 134	GRUPO 134	GRUPO 30		GRUPO 30
7_8					
8_9	GRUPO 121	GRUPO 123	GRUPO 121		GRUPO 123
9_10					
10_11					
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 36	GRUPO 36		GRUPO 35	GRUPO 35
15_16					
16_17	GRUPO 77	GRUPO 33	GRUPO 77	GRUPO 33	
18_19					
19_20	GRUPO 124	GRUPO 126	GRUPO 124	GRUPO 126	
20_21					

	SALÓN 9				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 115	GRUPO 87	GRUPO 87	GRUPO 115	
7_8					
8_9		GRUPO 131		GRUPO 131	
9_10			GRUPO 80		GRUPO 80
10_11		GRUPO 132		GRUPO 132	
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 103	GRUPO 113		GRUPO 113	GRUPO 103
15_16					
16_17		GRUPO 142	GRUPO 106	GRUPO 142	GRUPO 106
18_19					
19_20		GRUPO 123	GRUPO 105	GRUPO 123	GRUPO 105
20_21					

	SALÓN 10				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
6_7	GRUPO 104			GRUPO 104	
7_8		GRUPO 78			GRUPO 78
8_9	GRUPO 114		GRUPO 114		
9_10					
10_11	GRUPO 32	GRUPO 75	GRUPO 32		GRUPO 74
11_12					
12_13					
13_14					
14_15	GRUPO 38	GRUPO 138	GRUPO 38		GRUPO 138
15_16					
16_17	GRUPO 135		GRUPO 135	GRUPO 111	GRUPO 111
18_19					
19_20	GRUPO 148	GRUPO 148	GRUPO 125		GRUPO 125
20_21					

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El problema de Timetabling se ha abordado a través del tiempo desde diferentes enfoques, desde la teoría de grafos que se considera el punto de partida para solucionar el problema de asignación de recursos limitados, hasta identificarse las técnicas modernas que tratan de modelar el problema con la combinación de diferentes métodos los mas antiguos aun siguen vigentes y han evolucionado para formar parte de las estructuras híbridas, que usualmente están conformadas por los llamados métodos meta -heurísticos, los cuales se consideran la mejor propuestas para la resolución de los problemas NP-Completo.
- Durante la recopilación y análisis de la información se evidencio que el proceso no se encuentra estandarizado, lo cual dificulta establecer los parámetros e información que se requieren para generar el horario. Por lo tanto es recomendable estandarizar el proceso.
- Se implemento un modelo matemático que involucró las características propias de cada instancia, asegurando su adaptabilidad a las escuelas en cuestión. Con el fin de llevar este modelo a las demás instancia universitarias es necesario evaluar la necesidad de tener salones de preferencia o candidatos según las características que tengan y no tan solo la capacidad, además de considerar dentro del beneficio nuevos factores como la distancia recorrida, utilización del salón, entre otros que se identifiquen.
- Se uso como método de optimización el modelamiento exacto, donde se evidencio que el problema se resuelve rápidamente para las instancias pequeñas como biología pero que presenta deficiencias al considerar instancia mayores, se recomienda continuar la línea de investigación aplicando una metaheurística ya sea esta trayectorial o poblacional con el fin de llegar a una solución de forma eficiente. Los algoritmos que generan las combinaciones pueden ser útiles en la generación de la solución inicial para la resolución por este tipo de métodos.
- Esta línea de investigación presenta gran acogida a nivel mundial, específicamente las instituciones universitarias han llegado a nivel de implementación apoyados en la plataforma tecnológica, por lo tanto consideramos que la Universidad Industrial de Santander puede desarrollar este tipo de proyecto en forma interdisciplinaria, mejorando considerablemente el proceso, el cual actualmente consume recursos considerables por parte de cada una de las escuelas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Burke E., Jackson K., Kingston J., Ware R. Automated university timetabling: The state of the art. *The Computer Journal*. Vol. 40, No. 9 (1997); p. 565-571.
- [2] Deris S, Omatu S., Ohta H., P.A.B.D. Samat. University timetabling by constraint-based reasoning: A Case Study, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 48, No. 12. (Dec., 1997), pp. 1178-1190
- [3] Lewis R. A survey of metaheuristic-based techniques for university timetabling problems. *OR Spectrum*, (2007).
- [4] Carter M. y Laporte G. Examination timetabling: Algorithmic strategies and applications. *Journal of the Operational Research Society*. Vol.47, No 3(1996); p.373-383
- [5] Burke E. y Petrovic S. Recent research directions in automated timetabling. *European Journal of Operational Research*. Vol. 140, No. 2 (2002); p. 266-280.
- [6] Castro E. Heurística basada en programación entera binaria para el problema de asignación de salones en la Universidad de los Andes. Tesis de Maestría, Universidad de los Andes (2005).
- [7] Marte M. Models and Algorithms for School Timetabling-A Constraint-Programming Approach. Tesis de Doctorado, Universidad de Munich (2002).
- [8] Wren, A. Scheduling, timetabling and rostering – A special relationship? In: Burke and Ross (1996) pp. 46–75
- [9] J. Kingston E. Burker, K. Jackson. Automated timetabling: The state of art. *Technical report, Department of Computer Science, University of Nottingham, UK*, 1996
- [10] Schimmelpfeng K. y Helber S. Application of a real world university course timetabling model solved by integer programming. *OR Spectrum*, No 29 (2007). P. 783-803
- [11] Schaerf A. A survey of automated timetabling. *Artificial Intelligence Review*. Vol. 13, No. 2 (1999); p. 87-127.
- [12] Michael W. Carter; Craig A. Tovey. When is the classroom assignment problem hard, *Operations Research*, Vol. 40, pp. S28-S39.
- [13] Murray K, Mueller T, y Rudova H, Modeling and Solution of a Complex University Course Timetabling Problem. *Lecture Notes in Computer Science*, Lecture Notes in Computer Science. (2007); p.189-209

- [14] Mulvey J. A classroom/time assignment model. European Journal of Operational Research. Vol. 9, (1984); p.64-70.
- [15] Cetina S. Editor de restricciones para Pathos. Pontificia Universidad Javeriana. Tesis de Pregrado. Pontificia Universidad Javeriana 2002
- [16] D. de Werra. An introduction to timetabling. European Journal of Operational Research. Vol. 19, (1985); p.151-162.
- [17] Velásquez M. y Palacios C. Administración de laboratorios y aulas de clase. Universidad Manuela Beltrán. ADSALON. Tesis de Pregrado. Universidad Manuela Beltrán (2007).
- [18] <http://www.javeriana.edu.co/puj/acerca/directrices/VAC-Asignaci%F3n%20de%20aulas%202005-1.pdf>. Consultado octubre 18 de 2007.
- [19] correo.umanizales.edu.co/tesis/Ingenieria/cronos_aca.pdf. Consultado octubre 18 de 2007.
- [20] http://regweb.ucatolica.edu.co/publicaciones/organizacion_y_metodos/p002pf008.pdf. Consultado octubre 18 de 2007.
- [21] Gutiérrez Valentina, Maya Pablo. Validación del uso del modelo matemático para el problema de programación de cursos en la facultad de ingeniería de la Universidad de Antioquia.
- [22] M.W. Carter and G. Laporte. (1998). Recent developments in practical course timetabling. The Practice and Theory of Automated Timetabling II: Selected Papers from 2nd International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT II), Toronto, Canada, Lecture Notes in Computer Science 1408, Springer-Verlag. (Editors: E.K. Burke and M. Carter), pp 3-19.
- [23] Michael W. Carter. A Survey of Practical Applications of Examination Timetabling Algorithms, Operations Research, Vol. 34, No. 2. pp. 193-202 1986
- [24] Alvarez-Valdez, Automatrícula por ordenador y calidad de horarios para los estudiantes 2005
- [25] Edmund Burke. Multiple-retrieval case-based reasoning for course timetabling 2005
- [26] Mirrazavi SK, MardleSJ, Tamiz M A two-phase multiple objective approach to university timetabling utilising optimisation and evolutionary solution methodologies. European Journal of Operational Research. Vol 5, Pg 1155-1166 2003

- [27] Karanik Marcelo, Asignación Dinámica de aulas utilizando algoritmos genéticos. Universidad Tecnológica Nacional. Chaco-Argentina
- [28] Florez P., Brau E., Salazar N., Figueroa J. Cadena E., Lizárraga C., Experimentos con algoritmos genéticos para resolver en un problema real de programación maestros-horarios-cursos 2000
- [29] Molina Juan. Algoritmos evolutivos para la resolución de un problema de tipo timetabling. valparaiso 2007
- [30] Erben Keppler (1996) A Genetic Algorithm Solving a Weekly Course-Timetabling Problem
- [31] Salwani Abdullah BSc (UTM), MSc (UKM) Malaysia. Heuristic approaches for University timetabling problems
- [32] Mejía Cabellero José. Asignación de horarios de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos. Universidad de la Guajira / Universidad del Norte Riohacha – la Guajira 2008
- [33] Andrés Saldaña Crovo Modelos de programación entera para un problema de programación de horarios para Universidades. vol. 15 N° 3, 2007, pp. 245-259
- [34] R. Lewis. A survey of metaheuristics-based techniques for university timetabling problems. OR Spectrum, 30:167–190, 2008.
- [35] Programación de Horarios de Clases y Asignación de Salas para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Diego Portales Mediante un Enfoque de Programación Entera. Volumen XXII, Año 2008. Rodrigo Hernández, Jaime Miranda P. Pablo A. Rey
- [36] E.H.L. Aarts and J. Korst. Simulated annealing and Boltzmannmachines: a stochastic approach to combinatorial optimization and neural computing 1.989
- [37] Kate A. Smith¹, David Abramson, and David Duke. Hopfield Neural Networks for Timetabling: Formulations, Methods, and Comparative Results. School of Business Systems, and School of Computer Science and Software Engineering
- [38] Marco Carrasco. Margarida Pato. A Potts Neural Network Heuristic for the Class/Teacher Timetabling Problem Centro de Investigación Operacional, University of Lisbon. Portugal 2001
- [39] Jorge de Abreu Soares. A Máquina de boltzmann na solução do problema de timetabling 2002
- [40] Pilar Moreno Díaz, Jesús Sánchez Allende, Almudena García Manso. Aplicación de técnicas de enfriamiento lento el problema de planificación de

horarios. Universidad Alfonso X el sabio. Escuela Politécnica Superior Villanueva de la Cañada (Madrid). 2007

[41] Ruibin Bai, Edmund K. Burke, Graham Kendall, Barry McCollum. A Simulated Annealing Hyper-heuristic for University Course Timetabling, 2006

[42] Peñuela C, Toro E Gallego R. Colonia de hormigas aplicada a la programación óptima de horarios de clase. Universidad Tecnológica de Pereira, 2008.

[43] John Fredy Franco Baquero, Eliana Mirledy Toro Ocampo, Ramón Alfonso Gallego Rendón. Problema de asignación óptima de salones resuelto con Búsqueda Tabú. Universidad Norte, 2008.

[44] Marcos Gil Tallavo, Amadis Antonio Martinez. Algoritmo basado en Tabú search para el problema de asignación de horarios de clases. Universidad de Carabobo, 1999.

[45] Alvarez y cresco. Experiencias de utilización del método de búsqueda Tabú en la resolución de problemas de organización universitaria. Universidad de Valencia, 1999.

[46] Andrea Schaerf y Luca Di Gaspero. Local search techniques for educational timetabling problems. Universita Di Udine, 2001.

[47] Saleh Elmohamed m.a. y Geoffrey Fox, "A comparison of Annealing Techniques for Academic Course Scheduling". Practice and Theory of Automated Timetabling II, Selected Papers from the 2nd International Conference, PATAT97.

[48] Melício F., Caldeira P. y Rosa A. "Implementation aspects of Simulated Annealing on Timetabling", 1996.

[49] Julio Brito Santana, Clara Campos Rodríguez, Félix C. García López, Miguel García Torres, Belén Melian Batista, José A. Moreno Pérez, J. Marcos Moreno Vega. Metaheurísticas: una revisión actualizada Grupo de Computación Inteligente. Universidad de La Laguna, 2004.

[50] Salwani Abdullah. HEURISTIC APPROACHES FOR UNIVERSITY TIMETABLING PROBLEMS. School of Computer Science and Information Technology, 2006

[51] Juan Jose Pantrigo Fernandez Resolucion de Problemas de Optimizacion Dinamica mediante la Hibridacion entre Filtros de Particulas y Metaheurísticas Poblacionales. Universidad Rey Juan Carlos. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Departamento de Informatica, Estadística y Telematica. Tesis Doctoral, 2005

[52] M. Garey. Computers and intractability. A guide to the Theory of NP-Completeness. Bell Telephone Laboratories, 1979.

[53] González J. Sánchez A. y Velásquez J. Galve, J. Algoritmica. Diseño y análisis de algoritmos funcionales e imperativos. Addison Wesley Iberoamericana, 1993.

[54] Oscar A. Chávez Bosquez, Guillermo de los Santos Torres, José Luis Gómez Ramos. Búsqueda tabú aplicada a un problema NP-Completo: Generación de horarios en la DAIS. División Académica de Informática y Sistemas - Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

[56] GRAPS: Procedimiento de búsqueda miopes aleatorizados y adaptivos. Mauricio G. José V. inteligencia artificias, revista iberoamericana de Inteligencia Artificial. No19 (2003) pp.61-74.

[57] Programación de las sesiones de las comisiones ordinarias del congreso de la república del Perú aplicando búsqueda tabú. Marchan G, Álvarez M. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú 2008.