

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN EN  
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN”**

**TEMA:**

DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA ASIGNACIÓN DE  
PROFESORES A UN HORARIO ESCOLAR DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA

**AUTOR:**

RICARDO ANDRES CASANOVA IZAGUIRRE

Guayaquil - Ecuador

2018

## RESUMEN

La razón de este proyecto es de adquirir una solución óptima mediante el uso de la modelización matemática para poder asignar profesores a las materias fijadas en los diferentes paralelos de cada curso ; de esta manera dar a conocer nuevas formas de resolución de problemas, ya que se pueden realizar actividades más eficientemente de lo habitual mediante algoritmos matemáticos; la creación de horarios en instituciones educativas es un problema que surge a nivel mundial, esto incurre en uso de parte de la planta de docentes y tiempo entre otros recursos.

Esta tarea suele llevar semanas a meses en poder organizar la planificación de cargas horarias ya que debe mantener ciertas imposiciones dadas por autoridades del ministerio de educación al cual se rigen y de la institución educativa, el objetivo es del diseño de un modelo matemático que cumpla con las restricciones requeridas, y llegar al desarrollo de mecanismos mediante un software GAMS con la finalidad de optimizar los recursos que incurren en dicha actividad.

Sugiriendo diferentes técnicas de desarrollo para la obtención de los horarios de los cursos y de los docentes; para la culminación se otorgó unas breves conclusiones y recomendaciones sobre el trabajo realizado y algunas alternativas de recomendaciones en la aplicación en otras instituciones.

**Palabras clave:** algoritmos, óptimo, restricciones, GAMS

## ABSTRACT

The reason for this project is to acquire an optimal solution through the use of mathematical modeling to be able to assign professors to the subjects set in the different parallels of each course; in this way, to make new ways to solve problems known, since activities can be carried out more efficiently than usual by means of mathematical algorithms; the creation of schedules in educational institutions is a problem that arises worldwide, this incurs the use of part of the teaching staff and time among other resources.

This task usually takes weeks to months to be able to organize the planning of hourly loads since it must maintain certain impositions given by authorities of the ministry of education to which they are governed and of the educational institution, the objective is the design of a mathematical model that complies with the required restrictions, and reach the development of mechanisms through a GAMS software in order to optimize the resources that incur in said activity.

Suggesting different development techniques to obtain the schedules of the courses and the teachers; for the culmination, brief conclusions and recommendations were given on the work done and some alternative recommendations in the application in other institutions.

**Keywords:** algorithms, optimal, restrictions, GAMS

## **DEDICATORIA**

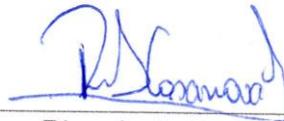
Dedico el siguiente proyecto a toda mi familia; en especial a mis hijas y mi esposa ya que fue un arduo trabajo haber conseguido la culminación del presente trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

De antemano agradezco sobre todo a Dios, mi familia, tutor, maestros y compañeros de aula por haber hecho grata esta nueva experiencia y fortalecer esos conocimientos adquiridos en la misma para poder de la misma manera trasmitirlo y aportar ese granito de arena en el medio que me desenvuelvo.

## DECLARACIÓN EXPRESA

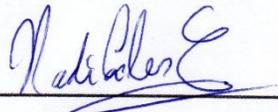
La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.



---

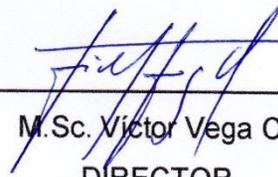
Ricardo Andres Casanova Izaguirre

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

Mgtr Nadia Cárdenas Escobar  
PRESIDENTE



---

M.Sc. Víctor Vega Chica  
DIRECTOR



---

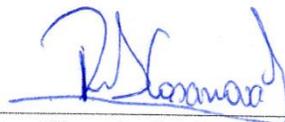
Mgtr Brenda Cobeña Terán  
VOCAL 1



---

M Sc. De Santis Bermeo David  
VOCAL 2

## AUTOR DEL PROYECTO



---

Ricardo Andres Casanova Izaguirre

Autor

## **ABREVIATURAS O SIGLAS**

UEGPL: Unidad Educativa Galo Plaza Lasso

LUCIDCHART: Herramienta de elaboración de diagramas

GAMS: General Algebraic Modeling System

NEOS Server: State of the Art Solvers for Numerical Optimization

# TABLA DE CONTENIDO

<b>1. CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2 Situación Actual .....	2
1.3 Descripción del problema.....	2
1.3.1 Análisis del problema.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivos Específicos.....	6
1.5 Alcance .....	6
<b>2 CAPÍTULO 2</b> .....	8
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	8
2.1 Estado del Arte .....	8
<b>3 CAPÍTULO 3</b> .....	11
Metodología .....	11
3.1 Flujograma .....	11
3.2.1 Flujograma de la situación actual de la UEGPL .....	12
3.2.2 Flujograma de la situación modelizada de la UEGPL .....	13
3.2 Definiciones Generales.....	14
3.2.1 Horario de Clases estudiantes .....	14
3.2.2 Horario de clases para docentes .....	14
3.2.3 Estructura del horario por horas .....	15
3.2.4 Educación Básica .....	16
3.2.5 Educación de Bachillerato.....	16
3.3 Factores de la Programación del Horario Escolar.....	17
3.4 Modelización Matemática .....	17
3.4.1 Planificación de horarios.....	17
<b>4 CAPÍTULO 4</b> .....	21
4.1 Resultados .....	21
4.2 Resultados de Horarios por cursos .....	22
<b>4.2. Resultados de Horarios por docentes</b> .....	31

<b>4.2.1. Profesores de primero bachillerato</b> .....	32
<b>4.2.2. Profesores de segundo bachillerato</b> .....	37
<b>4.2.3. Profesores de tercero bachillerato</b> .....	41
5. CAPÍTULO 5 .....	47
5. Conclusiones y recomendaciones.....	47
5.1 Conclusiones .....	47
5.2 Recomendaciones.....	49
6. Referencias.....	50
7. Apéndices y anexos.....	52

## **LISTADO DE GRÁFICO**

Gráfico.1.2. Árbol de causas y efectos de la problemática .....	5
Gráfico 1.3 Diagrama Situación Actual .....	12
Gráfico 1.4 Flujograma situación modelizada.....	13

## **LISTADO DE FIGURA**

Figura 1.1. Ubicación UEGPL “Unidad Educativa Galo Plaza Lasso” .....	7
-----------------------------------------------------------------------	---

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1. Malla curricular de (8°-10° año EGB) .....	3
Tabla.1.2 Malla Curricular de (1°-3° BGU) .....	4
Tabla 1.3 Distribución horaria por jornadas .....	15
Tabla 4.1. Código de asignatura para cada curso de bachillerato .....	21
Tabla 4.2. Horario de clase del 1° A.....	22
Tabla 4.3. Horario de clase del 1° B.....	23
Tabla 4.4. Horario de clase del 1° C .....	23
Tabla 4.5. Horario de clase del 1° D .....	24
Tabla 4.6. Horario de clase del 1° E.....	24
Tabla 4.7. Horario de clase del 1° F .....	25
Tabla 4.8. Horario de clase del 2° A.....	25
Tabla 4.9. Horario de clase del 2° B.....	26
Tabla 4.10. Horario de clase del 2° C .....	26
Tabla 4.11. Horario de clase del 2° D .....	27
Tabla 4.12. Horario de clase del 2° E .....	27
Tabla 4.13. Horario de clase del 2° F.....	28
Tabla 4.14. Horario de clase del 3°A.....	28
Tabla 4.15. Horario de clase del 3°B.....	29
Tabla 4.16. Horario de clase del 3°C .....	29
Tabla 4.17. Horario de clase del 3°D .....	30
Tabla 4.18. Horario de clase del 3°E.....	30
Tabla 4.19. Horario de clase del 3°F.....	31
Tabla 4.20. Horario de clase por docente (i1) .....	32
Tabla 4.21. Horario de clase por docente (i2) .....	32
Tabla 4.22. Horario de clase por docente (i4) .....	33
Tabla 4.23. Horario de clase por docente (i5) .....	33
Tabla 4.24. Horario de clase por docente (i6) .....	34
Tabla 4.25. Horario de clase por docente (i7) .....	34
Tabla 4.26. Horario de clase por docente (i8) .....	35
Tabla 4.27. Horario de clase por docente (i8) .....	35
Tabla 4.28. Horario de clase por docente (i15) .....	36
Tabla 4.29. Horario de clase por docente (i3) .....	37
Tabla 4.30. Horario de clase por docente (i4) .....	37
Tabla 4.31. Horario de clase por docente (i5) .....	38
Tabla 4.32. Horario de clase por docente (i6) .....	38
Tabla 4.33. Horario de clase por docente (i7) .....	39
Tabla 4.34. Horario de clase por docente (i8) .....	39
Tabla 4.35. Horario de clase por docente (i9) .....	40
Tabla 4.36. Horario de clase por docente (i10) .....	40
Tabla 4.37. Horario de clase por docente (i11) .....	41
Tabla 4.38. Horario de clase por docente (i1) .....	41
Tabla 4.39. Horario de clase por docente (i2) .....	42
Tabla 4.40. Horario de clase por docente (i3) .....	42
Tabla 4.41. Horario de clase por docente (i5) .....	43
Tabla 4.42. Horario de clase por docente (i6) .....	43

Tabla 4.43. Horario de clase por docente (i8) .....	44
Tabla 4.44. Horario de clase por docente (i9) .....	44
Tabla 4.45. Horario de clase por docente (i10) .....	45
Tabla 4.46. Horario de clase por docente (i14) .....	45
Tabla 4.47. Horario de clase por docente (i15) .....	46

# 1. CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

La Unidad Educativa Galo Plaza Lasso <sup>1</sup>(UEGPL) es una institución educativa de ámbito agropecuario, regulada por el Distrito Nobol - Daule - Santa Lucía N°09D19 del Ministerio de Educación, se encuentra ubicada en el cantón Daule.

Esta unidad educativa se funda el 1 de febrero de 1950, iniciando el curso con 28 alumnos y 5 docentes, para el 25 de noviembre de 1963 se eleva de categoría como Colegio Técnico Agropecuario con 120 estudiantes. Hoy en día la demanda ha crecido notablemente ya que son más de 800 alumnos de los cantones de la provincia del Guayas, los cuales se educan en especialidades técnicas como es

Producción Agropecuaria con una planta docente de 60 profesionales los cuales el 55% de los docentes se ejercen en la matutina y el otro 45% en la vespertina; además se consta con un personal de 10 administrativos.

La Institución lleva a cabo algunos procesos como: Reuniones de Actividades de los estudiantes, Proyectos Integradores, Proyectos Áulicos, Equipos de trabajo de Asignación de horarios.

---

<sup>1</sup> UEGPL: Unidad Educativa Galo Plaza Lasso

En la actualidad la Unidad Educativa “Galo Plazo Lasso”, utiliza el método manual de asignación de horarios, el cual le toma alrededor de 1 mes en realizar este proceso al inicio de cada período académico, en lo cual se hace menester mejorar esta problemática ya que crea pérdida de recursos y de tiempo.

Mediante este estudio se pretende demostrar que el proceso de asignación de horarios utilizando un modelo de optimización, permite mejorar la utilización del tiempo y recursos que de la manera habitual.

## **1.2 Situación Actual**

Se han realizado numerosas veces la elaboración de horarios en la Unidad Educativa Galo Plaza Lasso “UEGPL”, con la misma metodología tradicional la que conlleva muchas horas su culminación debido a que su forma de trabajarlo es mediante el formato del horario de la Unidad Educativa y tratando de ir completando las horas clases en el horario de tal forma de que no existan cruces de docentes o asignaturas en el mismo día en diferentes cursos y además también de no sobrecargar a los alumnos con materias fuertes el mismo día tales pueden ser como Matemáticas, Física, Química, Biología, etc.

La Unidad Educativa no ha implantado un método diferente donde se puede solamente ingresar la información requerida mediante un modelo matemático y pueda optimizar el tiempo de elaboración de horarios, sin embargo existen estudios donde se puede realizar mediante una función objetivo y restricciones para dar una mejor solución a lo antes mencionado.

## **1.3 Descripción del problema**

En la presente investigación se analiza la asignación de profesores a un horario escolar de una institución educativa mediante la modelización matemática para prescindir del gasto de recursos en la elaboración de horarios.

La Unidad Educativa Galo Plaza Lasso imparte clases desde octavo año de educación básica hasta Tercero de bachillerato, el cual se refleja de dos jornadas matutina y vespertina donde el nivel de los bachilleratos es en jornada matutina y los de nivel básico en la jornada vespertina, además cada nivel consta con 6 paralelos para cada uno de los cursos, dando un total de 36 paralelos.

Cabe destacar que existe una malla curricular donde se encuentra determinadas las materias que los alumnos deben tomar por año académico, y de acuerdo a la especialidad que escogen en el bachillerato (Producción Agropecuaria).

De este modo se puede caracterizar que cada curso tenga las materias correspondientes, con su docente sin que exista algún cruce de horas con otro docente u otra asignatura, de tal condición que cada docente debe cumplir con 30 horas clases como mínimo.

Las clases se dictan de lunes a viernes desde las 6:45 am hasta la 13:00 pm (Jornada Matutina) y de 12:45 pm a 19:00 pm (Jornada Vespertina), cada hora de clase corresponde a 40 minutos; dentro de cada jornada la distribución horaria se da cinco horas clases, un receso de 15 minutos y 4 horas clases más completando las 6 horas académicas.

En la Unidad Educativa Galo Plaza Lasso el siguiente caso se muestra las materias obligatorias y el número de horas en la semana que deben tener cada paralelo.

*Tabla 1.1. Malla curricular de (8°-10° año EGB)*

<b>ASIGNATURAS</b>	<b>8.º</b>	<b>9.º</b>	<b>10.º</b>
<b>LENGUA Y LITERATURA</b>	6	6	6
<b>MATEMÁTICA</b>	6	6	6
<b>ENTORNO NATURAL Y SOCIAL</b>	-	-	-
<b>CIENCIAS NATURALES</b>	4	4	4
<b>ESTUDIOS SOCIALES</b>	4	4	4
<b>EDUCACIÓN ESTÉTICA</b>	2	2	2
<b>EDUCACIÓN FÍSICA</b>	5	5	5
<b>LENGUA EXTRANJERA</b>	5	5	5
<b>PROYECTOS ESCOLARES</b>	3	3	3

Fuente: (Ministerio de Educación, 2018)

Tabla.1.2 Malla Curricular de (1°-3° BGU)

	ASIGNATURAS	HORAS PEDAGÓGICAS		
		1° año	2° año	3° año
TRONCO COMÚN	Física	3	3	2
	Química	2	3	2
	Biología	2	2	2
	Historia	3	3	2
	Lengua y Literatura	5	5	2
	Matemática	5	4	3
	Lengua Extranjera	5	5	3
	Emprendimiento y Gestión	2	2	2
	Filosofía	2	2	
	Educación para la Ciudadanía	2	2	
	Educación Física	2	2	2
	Educación Artística	2	2	
	Informática Aplicada a la Educación			
	<b>Horas pedagógicas semanales</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>20</b>
FORMACIÓN TÉCNICA		<b>HORAS PEDAGÓGICAS</b>		
		<b>1° Año</b>	<b>2° Año</b>	<b>3° Año</b>
		<b>MÓDULOS FORMATIVOS</b>		
	Crianza y Manejo de Animales Mayores			7
	Crianza y Manejo de Animales Menores		3	5
	Producción y Propagación de Cultivos de Ciclo Corto a Campo Abierto y/o Bajo Cubierta	3	3	2
	Producción de Cultivos Perennes y Viveros			6
	Manejo Integral de una Unidad de Producción Agropecuaria-UPA		2	3
	Agrotecnología	4	2	
	Dibujo Técnico	3		
	Formación y Orientación Laboral-FOL			2
	<b>Horas pedagógicas semanales</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>25</b>
	Formación en Centros de Trabajo-FCT			160*horas
<b>TOTAL HORAS DE FORMACIÓN</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	

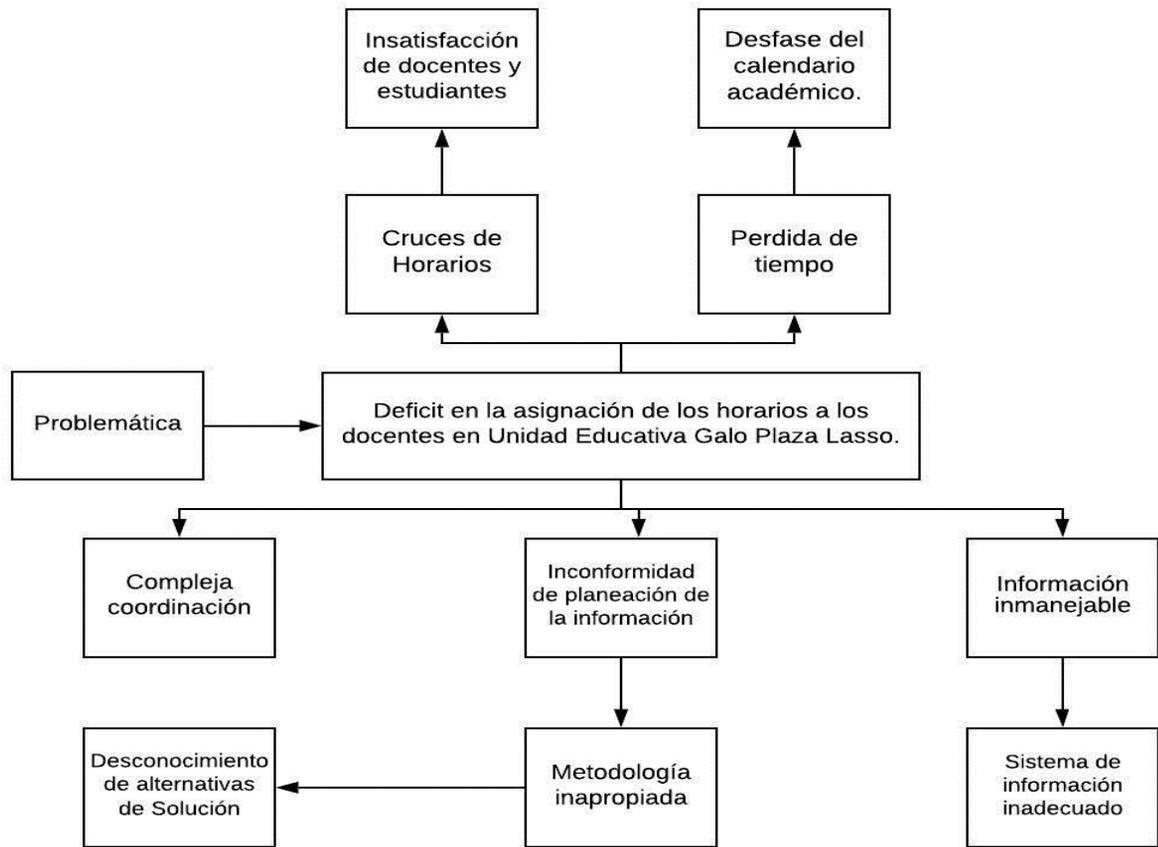
(Ministerio de Educación , 2018)

Por lo tanto el proceso de generación de horarios escolares, en las unidades educativas, consiste en asignar los cursos que los profesores imparten en periodos de tiempo y aulas de tal manera que no existan conflictos entre las horas asignadas a los profesores, y aulas. (Francisco Valencia & Hernandez Servin, 2017)

### 1.3.1 Análisis del problema

#### RELACIÓN CAUSA – EFECTO

Gráfico.1.1. Árbol de causas y efectos de la problemática



Fuente: (Mejía Cabello, 2008)

Elaborado: Elaboración propia <sup>2</sup> (Lucidchart, s.f.)

<sup>2</sup> Lucidchart: Herramienta de elaboración de diagramas

## 1.4 Objetivos

Diseñar un modelo matemático para la asignación de profesores a un horario escolar de una institución educativa.

### 1.4.1 Objetivos Específicos

- Identificar los factores que influyen en el conflicto en la asignación de horarios.
- Incorporar las restricciones vinculadas al sistema educativo, el Plan Educativo Institucional y lineamientos del cuerpo docente.
  - Formular un modelo matemático que permita la resolución y mejora de recursos en la asignación de horarios de la Unidad Educativa Galo Plaza Lasso.
- Analizar los resultados obtenidos para la comparación entre el método manual y del modelo matemático en un período lectivo.

## 1.5 Alcance

Para el presente proyecto se ha tomado a la Unidad Educativa Galo Plaza Lasso del cantón de Daule, provincia del Guayas, ver *Figura 1*. En el cual se encuentran laborando alrededor de setenta profesionales para las dos secciones como es la matutina para los bachilleratos y la vespertina para los cursos de básica.

Tratando de sustituir el método tradicional de realizarlo manualmente para ajustar a los profesores sin que usar más de 30 horas pedagógicas de lo permitido en la semana, de acuerdo con lo que se dictamina en el art.40 de la Jornada del Docente en el Capítulo II del Régimen Laboral. (EDUCACIÓN)<sup>3</sup>, sin cruce de horas de asignaturas o de docentes, debido a que al desarrollar los horarios se debe tener establecido los docentes con su respectiva asignatura para que de esta forma solo se tomen el tiempo requerido para formar los horarios y coincidir con el número de horas de cada asignatura dentro de los que es el horario.

Se aplicará un modelo matemático para este proyecto para la optimización en la asignación de horarios de los docentes.

---

<sup>3</sup> **Art. 40.- Jornada laboral docente.** Los docentes fiscales deben cumplir con cuarenta (40) horas de trabajo por semana. Estas incluyen treinta (30) horas pedagógicas, correspondientes a los períodos de clase. El tiempo restante, hasta completar las cuarenta (40) horas, está dedicado a la labor educativa fuera de clase.

*Figura 1.1. Ubicación UEGPL “Unidad Educativa Galo Plaza Lasso”*



Fuente: Google Maps

# 2 CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del Arte

Los inconvenientes al momento de trabajar en la realización de asignación y calendarización en las instituciones educativas siempre han causado estancamientos para culminar dichos trabajos en el menor tiempo posible por motivos de requerimientos a cumplir por las entidades a las que están sujetas; de tal motivo que mediante la programación matemática se ha podido facilitar los resultados con menos gasto del factor tiempo y recursos de lo que inicialmente se provee.

Los conflictos de calendarización han ido evolucionando conformemente a las necesidades de las instituciones, como menciona (Zhipeng Lu, Jin Kao Hao, 2010), al asignar ciertas situaciones y en cada uno con varios rasgos distintivos a un número delimitados de recursos fijado a ciertas limitaciones.

Un modelo matemático se refiere a la representación de comportamientos de múltiples regímenes ante escenarios difíciles de percibir en circunstancias reales mediante la observación matemática para expresarlo en relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, parámetros, restricciones y analogías entre variables o entidades u operaciones. ( Fernando Alvarez Valdivia, 2014).

Este ejemplo constituye una formulación sencilla del “problema del horario escolar”. Su objetivo es asociar aulas y horas a las asignaturas de un programa académico dividido en cursos. Se considera que están disponibles  $n_c$  aulas y  $n_h$  horas,

respectivamente, para enseñar  $n_s$  asignaturas. (Castillo, Conejo, Pedregal, García, & Alguacil, 2002).

Como parte de los procesos de la institución es realizar la asignación de horarios, este proceso además de ser una tarea ardua es difícil de llevar a cabo si se realiza de manera manual, principalmente por la cantidad de combinaciones posibles entre los conjuntos de profesores, aulas y horarios, pudiendo ser que no exista una combinación libre de conflictos. (Francisco Valencia & Hernandez Servin, 2017).

En este diseño de modelo se trató de asimilar los horarios a los docentes por el motivo de las actividades que ellos realizan no solo en la universidad sino fuera así de esta manera acoplarse a ellos; dado el motivo se tomará en cuenta la forma de algunos de los parámetros el cual aplicó.

Dado a que en otros estudios han implementado modelos matemáticos por medio de Programación Lineal y la Programación Lineal Entera, heurísticos y metaheurísticos, además de la programación por restricciones.

Así lo indica (Rey, Pablo A, 2008), donde explica que en base a un modelo de Programación Lineal Entera se decidirá simultáneamente los horarios de los cursos y la asignación de las salas, variables a utilizar de acuerdo a un patrón de horario.

Estudios realizados sobre la asignación de horarios para Universidades; para este caso se formulan dos modelos de Programación Lineal Entera, se presentan dos estrategias de solución para cada uno de ellos. El problema consiste en programar las asignaturas a ser dictadas, considerando los profesores, días, horarios, aulas y la necesidad de dictar las asignaturas en periodos consecutivos determinados. El objetivo es minimizar la asignación en periodos no deseados, balanceando la carga de trabajo diaria para cada grupo de alumnos, lo explica (Crovo. & al., 2007).

(Gamarra, 2010), emplea un modelo de programación entera mixta para dividir el conjunto de restricciones esenciales y el otro con los atributos deseables en un horario a ser penalizados en la función objetivo.

Un modelo matemático se empleará para el presente estudio donde se mejorará la asignación de horarios de los docentes.

Mediante Algoritmos Evolutivos, (Caballero, 2008), explica la asignación de horarios de clases de una universidad donde estima mejorar los problemas más comunes que consisten en la planificación de asignaturas, grupos de alumnos que toman en conjunto la asignatura, los días o períodos disponibles, salones requeridos; donde se pueda optimizar el conjunto de restricciones relacionadas con el sistema de educación.

De acuerdo con (Esquivel, 2014), la asignación de horarios requiere de un análisis heurísticos o metaheurísticos, pues proporcionan varias variables efectivas, adecuadas y sobre todo completamente satisfactorias en relación al tiempo requerido.

(Castro, 2014), emplea varios modelos matemáticos para solucionar la problemática en la asignación de horarios, como modelo binario, modelo de asignación por el método húngaro.

Un problema recurrente en cada inicio de período en las instituciones educativas es la calendarización de los horarios de los profesores para un conjunto de grupos y cursos, en el presente proyecto se pretende optimizar la asignación de cursos a grupos en un conjunto de períodos de tiempo con determinados requerimientos, así lo expone (Canseco-González & al, 2016). Por ende en función al objetivo se recurrirá a un modelo de optimización de Programación Lineal Entera Mixta ya solo se tomará en cuenta dos restricciones como son el tiempo que se entra a cada curso y la asignación del aula; ya que los demás estudios antes mencionados se orientan en su gran mayoría al manejo y disponibilidad de recursos universitarios como salón de audiovisuales, salones de auditorios, entre otros. Así como también toman en cuenta las necesidades del alumno, como por ejemplo que se reúnen para tomar una asignatura en conjunto.

# 3 CAPÍTULO 3

## Metodología

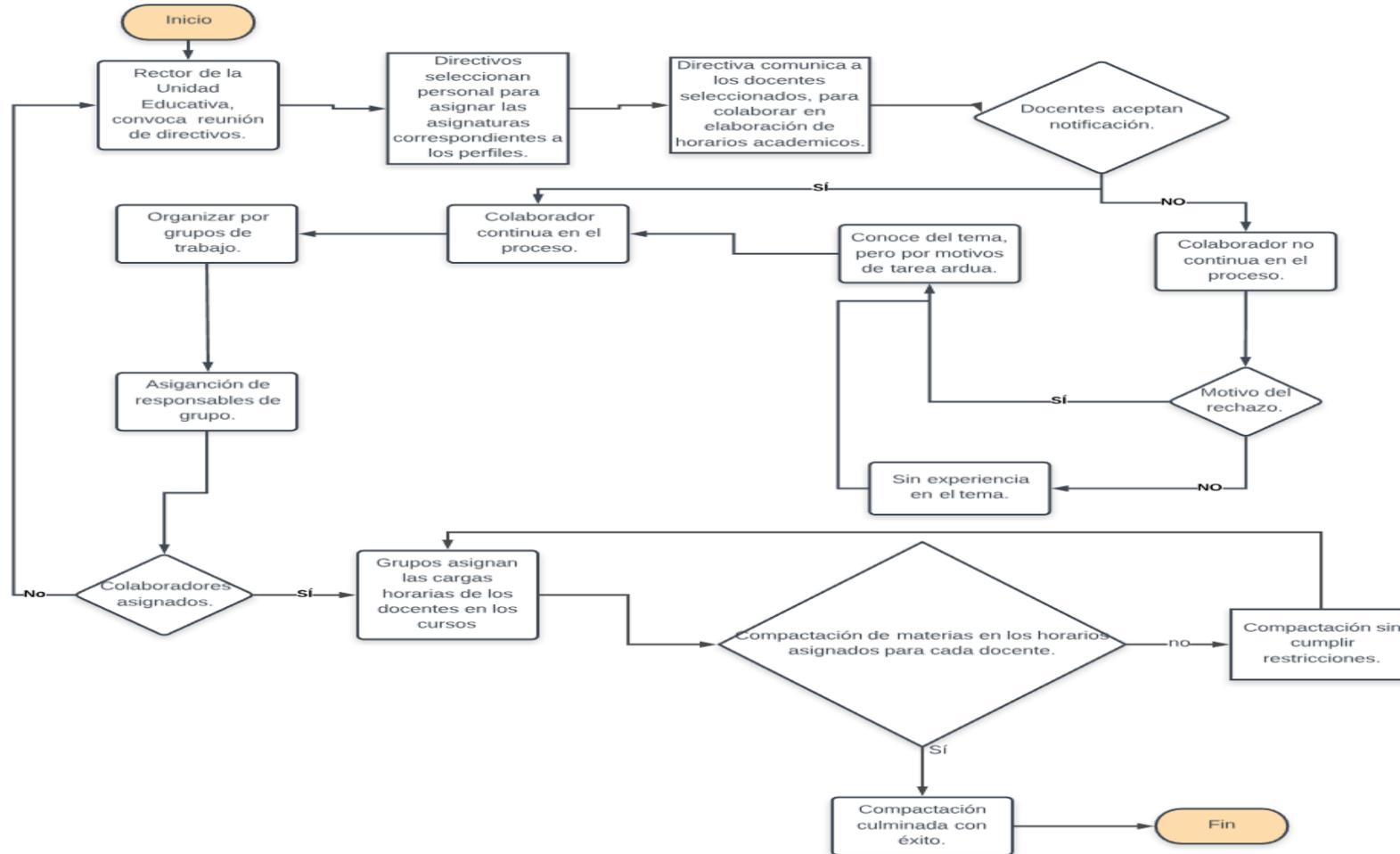
Para el siguiente proyecto de investigación la metodología a aplicar se enfoca en diagramas de flujo donde se muestra desde otra perspectiva la visión de trabajar los horarios de una forma tradicional manualmente, usando como recursos docentes y tiempo en la elaboración; y de tal forma que nos permita demostrar la optimización de dichos recursos basándose en un modelo matemático de programación lineal entera-mixta del horario en un software de optimización.

### 3.1 Flujograma

Un flujograma, también denominado diagrama de flujo es una muestra visual de una línea de pasos de acciones que implican un proceso determinado; es decir el flujograma consiste en representar gráficamente, situaciones, hechos, movimientos y relaciones de todo tipo a partir de símbolos. (DefinicionABC, s.f.)

### 3.2.1 Flujoograma de la situación actual de la UEGPL

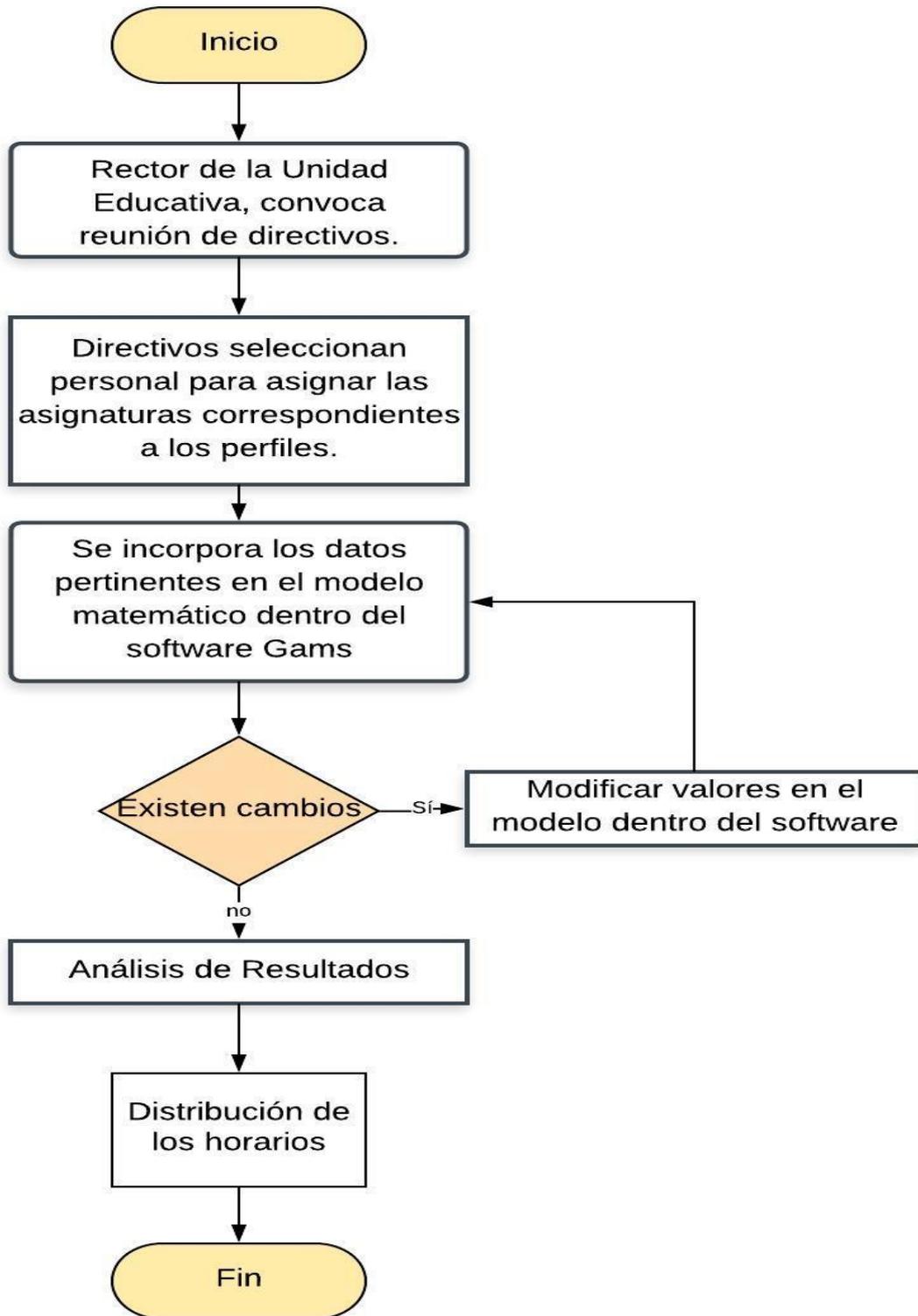
Gráfico 1.2 Diagrama Situación Actual



Nota: Se utilizó la herramienta (Lucidchart, 2018), Elaboración propia

### 3.2.2 Flujograma de la situación modelizada de la UEGPL

Gráfico 1.3 Flujograma situación modelizada



Nota: Se utilizó la herramienta (Lucidchart, 2018)

Elaboración propia

## **3.2 Definiciones Generales**

### **3.2.1 Horario de Clases estudiantes**

De acuerdo al (Paredes, 2016) del Ministerio de Educación indica que se ha dispuesto el horario de clases semanal unificado, con el objetivo de estandarizar las horas de ingreso y salida de estudiantes y docentes, anticipándose a problemas relacionados con:

- Transporte
- Seguridad estudiantil
- Acoplamiento a las jornadas de trabajo de los padres y madres de familia o representantes
- Sectorización de la matrícula en función de los lugares de residencia

Para el desarrollo del año escolar, se reconocen dos tipos de carga horaria semanal:

- 35 períodos de clases semanales para la Educación General Básica (1° a 10° años)
- Entre 40 y 45 períodos de clase semanales para el Bachillerato.

Los períodos de clase en ningún caso durarán menos de 40 minutos. Esta especificación de tiempo se aplicará a todas las modalidades y jornadas: inicial, primaria, colegio.

### **3.2.2 Horario de clases para docentes**

A partir de la inminente publicación de la LOEI, los docentes deberán cumplir 40 horas de trabajo semanales en jornadas diarias de 8 horas reloj, de las cuales 6 horas pedagógicas (de al menos 40 minutos cada una) estarán destinadas al trabajo de aula. El tiempo restante, hasta cumplir las 8 horas diarias, estará distribuido en actualización, capacitación pedagógica, actividades de recuperación pedagógica, coordinación con las familias de sus estudiantes, trabajo con la comunidad, planificación, revisión de tareas, coordinación de área, etc.

### 3.2.3 Estructura del horario por horas

La Unidad Educativa “G.P.L” se rige en base a la siguiente estructura de horas para coordinarlas de 40 minutos de lunes a viernes las materias y poder asignarlas a los docentes.

*Tabla 1.3 Distribución horaria por jornadas*

<b>Jornada Matutina</b>	
h1	06:45 - 07:25
h2	07:25 - 08:05
h3	08:05 - 08:45 clases
h4	08:45 - 09:25
h5	09:25 -10:05
h6	10:05 - 10:20 receso
h7	10:20 - 11:00
h8	11:00 - 11:40
h9	11:40 - 12:20 clases
h10	12:20 - 13:00
<b>Jornada Vespertina</b>	
h1	12:45 - 13:25
h2	13:25 - 14:05
h3	14:05 - 14:45 clases
h4	14:45 - 15:25
h5	15: 25 -16:05
h6	16:05 - 16:20 receso
h7	16:20 - 17:00
h8	17:00 - 17:40
h9	17:40 - 18:20 clases
h10	18:20 - 19:00

**Elaboración propia**

### **3.2.4 Educación Básica**

La Educación General Básica en el Ecuador abarca desde primer hasta décimo grado, a través de los cuales los estudiantes adquieren un conjunto de capacidades y responsabilidades a partir de tres valores fundamentales que forman parte del perfil del bachiller ecuatoriano: la justicia, la innovación y la solidaridad.

Los estudiantes que terminan este nivel, serán capaces de continuar los estudios de Bachillerato y participar en la vida política y social, conscientes de su rol histórico como ciudadanos ecuatorianos, lo indica el (Paredes, 2016).

### **3.2.5 Educación de Bachillerato**

(Montaño, 2018), en su artículo explica que en el Ecuador, se denomina Bachiller de la República a aquellas personas que han terminado con éxito la escuela o colegio secundario, lo cual les permite estudiar en una Universidad. Al terminar la secundaria se obtiene el título de Bachiller de la República del Ecuador técnico o en ciencias con especialización en alguna de las alternativas a elegir.

Para obtener el título de bachiller, los alumnos dan pruebas escritas, orales y/o servicio comunitario después de doce años de estudios (primarios y secundarios). Los colegios denominados como experimentales, tienen más campo de decisión en su currículo que el resto de los centros educativos.

Desde el año 2011 se aplica el Bachillerato General Unificado (BGU), por lo que los estudiantes en la actualidad, dependiendo del establecimiento educativo, tendrán un título de bachiller en ciencias o uno título de bachiller técnico, se sobre entiende que con esto se eliminan las especializaciones. Así mismo, en Ecuador se han dado algunas reformas entre las cuales el estudiante, luego de graduarse como bachiller de la república, debe rendir un examen de ingreso a la Universidad.

### 3.3 Factores de la Programación del Horario Escolar

Los factores de la programación de horarios son el tiempo, los cruces de asignatura que van de acuerdo al perfil profesional de cada docente, el cruce de asignaturas, en lo que se refiere que puede darse que el docente tenga que dar la misma asignatura en dos cursos pero a la misma hora, ese es el problema vital de la asignación de horarios en la Unidad Educativa Galo Plaza Lasso.

Por ende se busca cumplir de la mejor manera con condiciones o requerimientos específicos; ya que se requiere la creación y la planeación de horarios de la forma más eficiente posible en cuanto a la designación y organización del personal docente, horarios y aulas, tendientes a mejorar el desempeño de los estudiantes y docentes de la institución.

Una adecuada programación de horarios refleja los siguientes factores:

- a. Eficiencia en la programación
- b. Servicio Educativo:
- c. Clima Laboral

### 3.4 Modelización Matemática

#### 3.4.1 Planificación de horarios

El modelo matemático presentado se basa en la planificación de horarios de clases que cumpla con restricciones de horarios, profesores y materias. Una vez programado deberá ser ejecutado dos veces: bachillerato matutino y básico vespertina. Tomar en cuenta que una hora clase equivale a 40 minutos reloj.

#### Datos

$i = \{1, 2, 3, \dots, I\}$ . Conjunto de profesores

$h = \{1, 2, 3, \dots, H\}$ . Conjunto de horarios al día

$d = \{Lunes, Martes, Mier, Jueves, Viernes\}$ . Conjunto de días de clase

$m = \{Física, Química, Biología, \dots, M\}$ . Conjunto de todas las materias

$c = \{1A, 1B, 2A, \dots, C\}$ . Conjunto de cursos

$m_i$  : Conjunto de materias que imparte el profesor  $i$

$m_c$  : Conjunto de materias que se imparte en el curso  $c$

$m_r$  : Conjunto de materias que tienen restricción horaria

$i_{campo}$  : Conjunto de profesores de campo

### Parámetro

$N_{m,c}$ : Número total de horarios (40 min) semanal a impartir de la materia  $m$  en el curso  $c$

$B_{h,f}$ : Horas  $h$  en la franja horaria  $f$ .

### Variables

$X(c, d, h, m, i)$

: 1 si en el curso  $c$  el día  $d$  en el horario  $h$  se imparte la materia  $m$  con el profesor  $i$ , 0 caso contrario.

$Y(i)$  : 1 si el profesor  $i$  trabaja en la escuela, 0 caso contrario.

$P(c, m, i)$  : 1 si en el curso  $c$  imparte la materia  $m$  el profesor  $i$ , 0 caso contrario.

$G(f, c, d, m)$

: 1 si en la franja horaria  $f$  en el curso  $c$  en el día  $d$  se imparte la materia  $m$ , 0 caso contrario.

### Función Objetivo

$$\text{Min} \quad \sum_{j=1}^I Y(i) \quad (1)$$

La función objetivo es lograr un horario compacto donde se minimiza el número de profesores a contratar sujeto al cumplimiento de las restricciones (9-12).

### Restricciones

Cada profesor imparte como mucho una asignatura cada hora.

$$\sum_{c=1}^C \sum_{m \in m_i}^{M_i} X(c, d, h, m, i) \leq 1 \quad \forall h, \forall d, \forall i \quad (2)$$

En cada hora se imparte como mucho una sola asignatura.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m \in m_c}^{M_c} X(c, d, h, m, i) \leq 1 \quad \forall h, \forall d, \forall c \quad (3)$$

Cada asignatura se imparte  $N_{m,c}$  veces a la semana.

$$\sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I X(c, d, h, m, i) = N_{m,c} \quad \forall m, \forall c \quad (4)$$

Los profesores no deben dar más de 30 horas semanales.

$$\sum_{m \in m_i} \sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D \sum_{c=1}^C X(c, d, h, m, i) \leq 30 * Y(i) \quad \forall i \quad (5)$$

No puede haber horas libres para los profesores más de tres horas

$$\sum_{m \in m_i} \sum_{c=1}^C (X(c, d, h-2, m, i) + X(c, d, h-1, m, i) + X(c, d, h, m, i)) \geq Y(i) \quad \forall i, \forall d, \forall h \geq 3 \quad (6)$$

No pueden los profesores trabajar más de 4 horas consecutivas.

$$\sum_{m \in m_i} \sum_{c=1}^C X(m, h-3, d, c, i) + X(m, h-2, d, c, i) + X(m, h-1, d, c, i) + X(m, h, d, c, i) \leq 3 \quad \forall i, \forall d, \forall h \geq 4 \quad (7)$$

Los profesores tienen 8 horas reloj todos los días de las cuales 6 son pedagógicas.

$$\sum_{m \in m_i} \sum_{h=1}^H \sum_{c=1}^C X(m, h, d, c, i) \leq 6 * Y(i) \quad \forall d, \forall i \quad (8)$$

Solo un profesor puede impartir la materia en cada curso

$$\sum_{i=1}^I P(c, m, i) = 1 \quad \forall m, \forall c \quad (9)$$

$$\sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D X(c, d, h, m, i) \leq N(m, c) * P(c, m, i) \quad \forall m, \forall c, \forall i \quad (10)$$

$$\sum_{h=1}^H \sum_{d=1}^D X(c, d, h, m, i) \geq P(c, m, i) \quad \forall m, \forall c, \forall i \quad (11)$$

$$P(c, m, i) \leq Y(i) \quad \forall m, \forall c, \forall i \quad (12)$$

Todas las materias deben ser impartidas sin saltarse entre clases. Las materias de matemáticas, física, química, literatura e inglés se deben impartir por lo menos dos horas clase seguidas una vez a la semana.

$$\sum_{f=1}^F G(f, c, d, m) = 1 \quad \forall d, \forall m, \forall c \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^I X(c, d, h, m, i) = \sum_{f=1}^F G((f, c, d, m)) * B(h, f) \quad \forall d, \forall m, \forall c, \forall h \quad (14)$$

Las materias de matemáticas, física, química, literatura e inglés deben estar saltándose uno o dos días mínimo no se dictan días consecutivos.

$$\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I X(c, d, h, m, i) \leq N(m, c) * \alpha(c, d, m) \quad \forall m \in m_r, \forall c, \forall d \quad (15)$$

$$\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I X(c, d, h, m, i) \geq \alpha(c, d, m) \quad \forall m \in m_r, \forall c, \forall d \quad (16)$$

$$\alpha(c, d, m) + \alpha(c, d + 1, m) \leq 1 \quad \forall c \forall m \forall d \leq 4 \quad (17)$$

# 4 CAPÍTULO 4

## 4.1 Resultados

En la simulación del modelo matemático se optó por desarrollarlo por jornadas separadas, y además por cursos es decir los seis paralelos de un año; obteniendo tres resultados para los cursos de primero, segundo y tercero de bachillerato dado que en dichos paralelos se encontraba la mayor dificultad en las restricciones.

En la tabla 3 se especifica el parámetro asignado a cada asignatura de los cursos de bachillerato.

*Tabla 4.1. Código de asignatura para cada curso de bachillerato*

Código	ASIGNATURAS	HORAS		
		PEDAGÓGICAS		
		1° año	2° año	3° año
m1	Física	3	3	2
m2	Química	2	3	2
m3	Biología	2	2	2
m4	Historia	3	3	2
m5	Lengua y Literatura	5	5	2
m6	Matemática	5	4	3
m7	Lengua Extranjera	5	5	3
m8	Emprendimiento y Gestión	2	2	2
m9	Filosofía	2	2	
m10	Educación para la Ciudadanía	2	2	
m11	Educación Física	2	2	2
m12	Educación Artística	2	2	
m13	Crianza y Manejo de Animales Mayores			7
m14	Crianza y Manejo de Animales Menores		3	5

m15	Producción y Propagación de Cultivos de Ciclo Corto a Campo Abierto y/o Bajo Cubierta	3	3	2
m16	Producción de Cultivos Perennes y Viveros			6
m17	Manejo Integral de una Unidad de Producción		2	3
m18	Agrotecnología	4	2	
m19	Dibujo Técnico	3		
m20	Formación y Orientación Laboral-FOL			2

Fuente: (Ministerio de Educación, 2018)

Elaboración propia

## 4.2 Resultados de Horarios por cursos

En las tablas siguientes se mostrarán el horario compacto sin cruces de horas, ni de docentes entre los cursos, además se realizó tres simulaciones con el mismo modelo, solo variando los cursos y aplicando las mismas restricciones, con la misma función objetivo.

Por motivo del modelo matemático que al simularlo en el software <sup>4</sup>GAMS tardaba demasiado tiempo por el número de variables que debía generar. Se optó por realizarlo en <sup>5</sup>NEOS SERVER, debido que los servidores que manejan son mucho más eficiente que un ordenador habitual.

Tabla 4.2. Horario de clase del 1° A

1A					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m3.i7	m1.i4	m4.i8	m11.i5	m18.i6
H2	m8.i4	m1.i4	m12.i9	m18.i6	m18.i6
H3	m15.i7	m4.i8	m18.i6	m2.i5	m7.i15
H4	m12.i9	m19.i9	m19.i9	m6.i2	m7.i15
H5	m19.i9	m2.i5	m9.i8	m6.i2	m7.i15
H6	m11.i5	m15.i7	m5.i1	m1.i4	m3.i7
H7	m6.i2	m10.i5	m5.i1	m4.i8	m5.i1

<sup>4</sup> GAMS: General Algebraic Modeling System

<sup>5</sup> NEOS Server: State of the Art Solvers for Numerical Optimization

H8	m6.i2	m7.i15	m5.i1	m15.i7	m5.i1
H9	m6.i2	m7.i15	m8.i4	m10.i5	m9.i8

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS  
Elaboración propia

*Tabla 4.3. Horario de clase del 1° B*

1B					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m18.i6	m15.i7	m18.i6	m12.i9	m6.i2
H2	m19.i9	m2.i5	m18.i6	m9.i8	m11.i5
H3	m10.i5	m3.i7	m11.i5	m15.i7	m1.i4
H4	m8.i4	m7.i15	m5.i1	m8.i4	m5.i1
H5	m6.i2	m7.i15	m1.i4	m10.i5	m5.i1
H6	m4.i8	m19.i9	m6.i2	m7.i15	m2.i5
H7	m5.i1	m19.i9	m6.i2	m7.i15	m4.i8
H8	m5.i1	m18.i6	m6.i2	m7.i15	m4.i8
H9	m1.i4	m9.i8	m12.i9	m3.i7	m15.i7

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS  
Elaboración propia

*Tabla 4.4. Horario de clase del 1° C*

1C					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m1.i4	m4.i8	m7.i15	m15.i7	m5.i1
H2	m2.i5	m6.i2	m5.i1	m8.i4	m5.i1
H3	m18.i6	m6.i2	m5.i1	m12.i9	m10.i5
H4	m9.i8	m6.i2	m1.i4	m2.i5	m18.i6
H5	m9.i8	m8.i4	m19.i9	m4.i8	m3.i7
H6	m7.i15	m18.i6	m4.i8	m18.i6	m1.i4
H7	m7.i15	m15.i7	m3.i7	m6.i2	m7.i15
H8	m7.i15	m19.i9	m11.i5	m6.i2	m15.i7

H9      m5.i1      m10.i5      m11.i5      m19.i9      m12.i9

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia.

*Tabla 4.5. Horario de clase del 1° D*

1D					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m6.i2	m12.i9	m15.i7	m5.i1	m19.i9
H2	m9.i8	m15.i7	m6.i2	m5.i1	m19.i9
H3	m7.i15	m8.i4	m3.i7	m4.i8	m4.i8
H4	m7.i15	m18.i6	m4.i8	m2.i6	m10.i5
H5	m15.i7	m18.i6	m18.i6	m2.i6	m8.i4
H6	m1.i4	m10.i5	m7.i15	m12.i9	m6.i2
H7	m3.i7	m5.i1	m7.i15	m11.i5	m6.i2
H8	m19.i9	m5.i1	m7.i15	m1.i4	m6.i2
H9	m11.i5	m5.i1	m9.i8	m1.i4	m18.i6

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia.

*Tabla 4.6. Horario de clase del 1° E*

1E					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m4.i8	m7.i15	m8.i4	m7.i15	m1.i4
H2	m15.i7	m7.i15	m9.i8	m7.i15	m8.i4
H3	m6.i2	m5.i1	m6.i2	m7.i15	m6.i2
H4	m10.i5	m5.i1	m6.i2	m5.i1	m6.i2
H5	m2.i6	m5.i1	m3.i7	m5.i1	m4.i8
H6	m19.i9	m1.i4	m12.i9	m3.i7	m19.i9
H7	m18.i6	m1.i4	m10.i5	m19.i9	m12.i9
H8	m18.i6	m4.i8	m15.i7	m2.i6	m11.i5
H9	m9.i8	m18.i6	m15.i7	m18.i6	m11.i5

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.7. Horario de clase del 1° F*

1F					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m7.i15	m18.i6	m12.i9	m6.i2	m15.i7
H2	m18.i6	m19.i9	m7.i15	m6.i2	m4.i8
H3	m5.i1	m11.i5	m7.i15	m8.i4	m12.i9
H4	m5.i1	m4.i8	m10.i5	m19.i9	m3.i7
H5	m5.i1	m9.i8	m10.i5	m15.i7	m2.i6
H6	m15.i7	m6.i2	m8.i4	m9.i8	m18.i6
H7	m1.i4	m6.i2	m2.i6	m5.i1	m1.i4
H8	m11.i5	m6.i2	m1.i4	m5.i1	m7.i15
H9	m19.i9	m3.i7	m18.i6	m4.i8	m7.i15

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.8. Horario de clase del 2° A*

2ª					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m17.i9	m1 .i3	m11.i7	m2 .i4	m1 .i3
H2	m18.i8	m14.i8	m3 .i4	m2 .i4	m1 .i3
H3	m14.i8	m14.i8	m6 .i5	m18.i8	m4 .i6
H4	m4 .i6	m15.i9	m10.i7	m4 .i6	m6 .i5
H5	m11.i7	m15.i9	m17.i9	m15.i9	m10.i7
H6	m6 .i5	m12.i7	m7 .i15	m5 .i10	m7 .i15
H7	m6 .i5	m5 .i10	m7 .i15	m5 .i10	m7 .i15
H8	m2 .i4	m5 .i10	m8 .i3	m5 .i10	m7 .i15

H9      m9 .i6      m8 .i3      m9 .i6                  m3 .i4      m12.i7

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.9. Horario de clase del 2° B*

2B					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m12.i7	m4 .i6	m3 .i4	m14.i8	m7 .i15
H2	m7 .i15	m10.i7	m18.i8	m10.i7	m7 .i15
H3	m7 .i15	m9 .i6	m9 .i6	m8 .i3	m17.i9
H4	m1 .i3	m2 .i4	m15.i9	m1 .i3	m5 .i10
H5	m18.i8	m12.i7	m7 .i15	m1 .i3	m14.i8
H6	m11.i7	m6 .i5	m5 .i10	m6 .i5	m4 .i6
H7	m8 .i3	m3 .i4	m5 .i10	m6 .i5	m11.i7
H8	m5 .i10	m15.i9	m5 .i10	m6 .i5	m2 .i4
H9	m15.i9	m17.i9	m14.i8	m4 .i6	m2 .i4

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.10. Horario de clase del 2° C*

2C					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m2 .i4	m17.i9	m1 .i3	m6 .i5	m14.i8
H2	m2 .i4	m7 .i15	m9 .i6	m6 .i5	m2 .i4
H3	m1 .i3	m7 .i15	m5 .i10	m6 .i5	m5 .i10
H4	m10.i7	m7 .i15	m5 .i10	m7 .i15	m4 .i6
H5	m9 .i6	m18.i8	m3 .i4	m7 .i15	m17.i9
H6	m5 .i10	m14.i8	m18.i8	m3 .i4	m11.i7
H7	m5 .i10	m12.i5	m4 .i6	m14.i8	m1 .i3

H8	m8 .i3	m6 .i5	m15.i9	m15.i9	m12.i5
H9	m11.i7	m4 .i6	m10.i7	m8 .i3	m15.i9

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.11. Horario de clase del 2° D*

2D					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m6 .i5	m5 .i10	m18.i8	m5 .i10	m17.i9
H2	m4 .i6	m5 .i10	m12.i5	m5 .i10	m6 .i5
H3	m15.i9	m1 .i3	m3 .i4	m5 .i10	m18.i8
H4	m15.i9	m1 .i3	m14.i8	m2 .i4	m3 .i4
H5	m8 .i3	m4 .i6	m10.i7	m2 .i4	m12.i5
H6	m2 .i4	m17.i9	m9 .i6	m9 .i6	m1 .i3
H7	m7 .i15	m14.i8	m8 .i3	m10.i7	m15.i9
H8	m7 .i15	m11.i7	m6 .i5	m7 .i15	m14.i8
H9	m7 .i15	m11.i7	m6 .i5	m7 .i15	m4 .i6

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.12. Horario de clase del 2° E*

2E					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m8 .i3	m11.i7	m7 .i15	m9 .i6	m11.i7
H2	m6 .i5	m4 .i6	m7 .i15	m4 .i6	m14.i8
H3	m6 .i5	m3 .i4	m7 .i15	m15.i9	m10.i7
H4	m7 .i15	m5 .i10	m9 .i6	m17.i9	m7 .i15
H5	m12.i5	m5 .i10	m12.i5	m14.i8	m2 .i4
H6	m15.i9	m1 .i3	m17.i9	m10.i7	m6 .i5

H7	m14.i8	m8 .i3	m6 .i5	m1 .i3	m5 .i10
H8	m4 .i6	m2 .i4	m3 .i4	m1 .i3	m5 .i10
H9	m18.i8	m2 .i4	m15.i9	m18.i8	m5 .i10

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.13. Horario de clase del 2° F*

2F					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m14.i8	m14.i8	m5 .i10	m7 .i15	m6 .i5
H2	m5 .i10	m6 .i5	m15.i9	m7 .i15	m9 .i6
H3	m5 .i10	m6 .i5	m10.i7	m12.i7	m1 .i3
H4	m5 .i10	m6 .i5	m1 .i3	m11.i7	m15.i9
H5	m2 .i4	m3 .i4	m1 .i3	m4 .i6	m5 .i10
H6	m4 .i6	m9 .i6	m2 .i4	m18.i8	m18.i8
H7	m17.i9	m7 .i15	m12.i7	m17.i9	m2 .i4
H8	m11.i7	m7 .i15	m14.i8	m10.i7	m4 .i6
H9	m3 .i4	m7 .i15	m8 .i3	m15.i9	m8 .i3

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.14. Horario de clase del 3° A*

3ª					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m1.i15	m15.i9	m14.i2	m4.i6	m7.i15
H2	m13.i1	m5.i6	m6.i10	m2.i5	m16.i3
H3	m6.i10	m20.i14	m7.i15	m14.i2	m16.i3
H4	m16.i3	m13.i1	m3.i5	m17.i9	m14.i2
H5	m2.i5	m4.i6	m11.i10	m1.i15	m14.i2
H6	m7.i15	m11.i10	m8.i5	m16.i3	m3.i5

H7	m15.i9	m17.i9	m13.i1	m13.i1	m13.i1
H8	m20.i14	m16.i3	m13.i1	m13.i1	m6.i10
H9	m17.i9	m14.i2	m16.i3	m8.i5	m5.i6

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.15. Horario de clase del 3°B*

3B					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m14.i2	m3.i5	m20.i8	m17.i9	m8.i5
H2	m14.i2	m14.i2	m4.i6	m13.i1	m13.i1
H3	m4.i6	m17.i9	m16.i3	m13.i1	m7.i10
H4	m11.i10	m6.i15	m16.i3	m3.i5	m7.i10
H5	m11.i10	m8.i5	m16.i3	m16.i3	m16.i3
H6	m16.i3	m15.i9	m14.i2	m20.i8	m6.i15
H7	m5.i6	m13.i1	m7.i10	m14.i2	m6.i15
H8	m2.i5	m13.i1	m15.i9	m2.i5	m5.i6
H9	m13.i1	m1.i10	m13.i1	m1.i10	m17.i9

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.16. Horario de clase del 3°C*

3C					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m16.i8	m16.i8	m15.i14	m20.i14	m6.i10
H2	m1.i15	m2.i5	m16.i8	m20.i14	m3.i5
H3	m17.i9	m2.i5	m16.i8	m16.i8	m7.i15
H4	m17.i9	m15.i14	m17.i9	m14.i2	m16.i8
H5	m5.i6	m14.i2	m11.i15	m14.i2	m8.i6

H6	m4.i6	m8.i6	m6.i10	m5.i6	m13.i8
H7	m6.i10	m13.i8	m14.i2	m13.i8	m13.i8
H8	m14.i2	m7.i15	m1.i15	m13.i8	m13.i8
H9	m3.i5	m7.i15	m13.i8	m4.i6	m11.i15

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.17. Horario de clase del 3°D*

3D					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m17.i14	m13.i1	m2.i5	m13.i1	m14.i2
H2	m20.i14	m13.i1	m13.i1	m15.i9	m16.i14
H3	m3.i5	m7.i10	m3.i5	m8.i6	m16.i14
H4	m14.i2	m7.i10	m4.i6	m4.i6	m8.i6
H5	m1.i15	m16.i14	m17.i14	m16.i14	m11.i15
H6	m16.i14	m14.i2	m20.i14	m6.i15	m15.i9
H7	m13.i1	m14.i2	m11.i15	m6.i15	m5.i6
H8	m13.i1	m17.i14	m16.i14	m7.i10	m13.i1
H9	m6.i15	m5.i6	m1.i15	m14.i2	m2.i5

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.18. Horario de clase del 3°E*

3E					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m11.i10	m1.i10	m6.i10	m11.i10	m16.i3
H2	m16.i3	m16.i3	m14.i2	m7.i15	m15.i9
H3	m7.i15	m16.i3	m14.i2	m7.i15	m5.i6
H4	m13.i1	m4.i6	m17.i14	m17.i14	m13.i1
H5	m13.i1	m20.i8	m13.i1	m13.i1	m13.i1

H6	m2.i5	m3.i5	m4.i6	m1.i10	m17.i14
H7	m14.i2	m3.i5	m2.i5	m15.i9	m6.i10
H8	m20.i8	m8.i6	m5.i6	m16.i3	m14.i2
H9	m6.i10	m13.i1	m8.i6	m16.i3	m14.i2

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.19. Horario de clase del 3°F*

3F					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	m2.i5	m14.i14	m4.i6	m13.i8	m13.i8
H2	m5.i6	m6.i15	m17.i9	m16.i3	m13.i8
H3	m20.i8	m6.i15	m1.i10	m3.i5	m8.i5
H4	m14.i14	m20.i8	m11.i15	m7.i10	m17.i9
H5	m14.i14	m17.i9	m15.i9	m7.i10	m3.i5
H6	m13.i8	m16.i3	m13.i8	m2.i5	m1.i10
H7	m13.i8	m11.i15	m13.i8	m5.i6	m16.i3
H8	m16.i3	m7.i10	m16.i3	m14.i14	m16.i3
H9	m4.i6	m15.i9	m8.i5	m6.i15	m14.i14

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

#### **4.2. Resultados de Horarios por docentes**

En las tablas siguientes se mostrarán los horarios de cada docente con su respectiva asignatura que son asignadas por las autoridades del plantel; de esta manera se optimizó las contrataciones de los docentes que se encuentran en exceso en la unidad educativa.

#### 4.2.1. Profesores de primero bachillerato

Para los profesores de primero de bachillerato los cuales son seis cursos (1°A, 1°B, 1°C, 1°D, 1°E, 1°F), se realizó la primera recolección de materias en la simulación del modelo, a cada docente en los distintos cursos mencionados; para de esta manera hacerles llegar sus horarios individuales a cumplir en el año lectivo.

*Tabla 4.20. Horario de clase por docente (i1)*

HORA	i1				
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1				1D.m5.i1	1C.m5.i1
H2			1C.m5.i1	1D.m5.i1	1C.m5.i1
H3	1F.m5.i1	1E.m5.i1	1C.m5.i1		
H4	1F.m5.i1	1E.m5.i1	1B.m5.i1	1E.m5.i1	1B.m5.i1
H5	1F.m5.i1	1E.m5.i1		1E.m5.i1	1B.m5.i1
H6			1A.m5.i1		
H7	1B.m5.i1	1D.m5.i1	1A.m5.i1	1F.m5.i1	1A.m5.i1
H8	1B.m5.i1	1D.m5.i1	1A.m5.i1	1F.m5.i1	1A.m5.i1
H9	1C.m5.i1	1D.m5.i1			

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.21. Horario de clase por docente (i2)*

HORA	i2				
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	1D.m6.i2			1F.m6.i2	1B.m6.i2
H2		1C.m6.i2	1D.m6.i2	1F.m6.i2	
H3	1E.m6.i2	1C.m6.i2	1E.m6.i2		1E.m6.i2

H4		1C.m6.i2	1E.m6.i2	1A.m6.i2	1E.m6.i2
H5	1B.m6.i2			1A.m6.i2	
H6		1F.m6.i2	1B.m6.i2		1D.m6.i2
H7	1A.m6.i2	1F.m6.i2	1B.m6.i2	1C.m6.i2	1D.m6.i2
H8	1A.m6.i2	1F.m6.i2	1B.m6.i2	1C.m6.i2	1D.m6.i2
H9	1A.m6.i2				

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.22. Horario de clase por docente (i4)*

i4					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	1C.m1.i4	1A.m1.i4	1E.m8.i4		1E.m1.i4
H2	1A.m8.i4	1A.m1.i4		1C.m8.i4	1E.m8.i4
H3		1D.m8.i4		1F.m8.i4	1B.m1.i4
H4	1B.m8.i4		1C.m1.i4	1B.m8.i4	
H5		1C.m8.i4	1B.m1.i4		1D.m8.i4
H6	1D.m1.i4	1E.m1.i4	1F.m8.i4	1A.m1.i4	1C.m1.i4
H7	1F.m1.i4	1E.m1.i4			1F.m1.i4
H8			1F.m1.i4	1D.m1.i4	
H9	1B.m1.i4		1A.m8.i4	1D.m1.i4	

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.23. Horario de clase por docente (i5)*

i5					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1				1A.m11.i5	

H2	1C.m2.i5	1B.m2.i5			1B.m11.i5
H3	1B.m10.i5	1F.m11.i5	1B.m11.i5	1A.m2.i5	1C.m10.i5
H4	1E.m10.i5		1F.m10.i5	1C.m2.i5	1D.m10.i5
H5		1A.m2.i5	1F.m10.i5	1B.m10.i5	
H6	1A.m11.i5	1D.m10.i5			1B.m2.i5
H7		1A.m10.i5	1E.m10.i5	1D.m11.i5	
H8	1F.m11.i5		1C.m11.i5		1E.m11.i5
H9	1D.m11.i5	1C.m10.i5	1C.m11.i5	1A.m10.i5	1E.m11.i5

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.24. Horario de clase por docente (i6)*

i6					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	1B.m18.i6	1F.m18.i6	1B.m18.i6		1A.m18.i6
H2	1F.m18.i6		1B.m18.i6	1A.m18.i6	1A.m18.i6
H3	1C.m18.i6		1A.m18.i6		
H4		1D.m18.i6		1D.m2.i6	1C.m18.i6
H5	1E.m2.i6	1D.m18.i6	1D.m18.i6	1D.m2.i6	1F.m2.i6
H6		1C.m18.i6		1C.m18.i6	1F.m18.i6
H7	1E.m18.i6		1F.m2.i6		
H8	1E.m18.i6	1B.m18.i6		1E.m2.i6	
H9		1E.m18.i6	1F.m18.i6	1E.m18.i6	1D.m18.i6

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.25. Horario de clase por docente (i7)*

i7					
----	--	--	--	--	--

HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	1A.m3.i7	1B.m15.i7	1D.m15.i7	1C.m15.i7	1F.m15.i7
H2	1E.m15.i7	1D.m15.i7			
H3	1A.m15.i7	1B.m3.i7	1D.m3.i7	1B.m15.i7	
H4					1F.m3.i7
H5	1D.m15.i7		1E.m3.i7	1F.m15.i7	1C.m3.i7
H6	1F.m15.i7	1A.m15.i7		1E.m3.i7	1A.m3.i7
H7	1D.m3.i7	1C.m15.i7	1C.m3.i7		
H8			1E.m15.i7	1A.m15.i7	1C.m15.i7
H9		1F.m3.i7	1E.m15.i7	1B.m3.i7	1B.m15.i7

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.26. Horario de clase por docente (i8)*

i8					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	1E.m4.i8	1C.m4.i8	1A.m4.i8		
H2	1D.m9.i8		1E.m9.i8	1B.m9.i8	1F.m4.i8
H3		1A.m4.i8		1D.m4.i8	1D.m4.i8
H4	1C.m9.i8	1F.m4.i8	1D.m4.i8		
H5	1C.m9.i8	1F.m9.i8	1A.m9.i8	1C.m4.i8	1E.m4.i8
H6	1B.m4.i8		1C.m4.i8	1F.m9.i8	
H7				1A.m4.i8	1B.m4.i8
H8		1E.m4.i8			1B.m4.i8
H9	1E.m9.i8	1B.m9.i8	1D.m9.i8	1F.m4.i8	1A.m9.i8

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.27. Horario de clase por docente (i8)*

i9					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1		1D.m12.i9	1F.m12.i9	1B.m12.i9	1D.m19.i9
H2	1B.m19.i9	1F.m19.i9	1A.m12.i9		1D.m19.i9
H3				1C.m12.i9	1F.m12.i9
H4	1A.m12.i9	1A.m19.i9	1A.m19.i9		
H5	1A.m19.i9		1C.m19.i9	1F.m19.i9	
H6	1E.m19.i9	1B.m19.i9	1E.m12.i9	1D.m12.i9	1E.m19.i9
H7		1B.m19.i9		1E.m19.i9	1E.m12.i9
H8	1D.m19.i9	1C.m19.i9			
H9	1F.m19.i9		1B.m12.i9	1C.m19.i9	1C.m12.i9

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.28. Horario de clase por docente (i15)*

i15					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	1F.m7.i15	1E.m7.i15	1C.m7.i15	1E.m7.i15	
H2		1E.m7.i15	1F.m7.i15	1E.m7.i15	
H3	1D.m7.i15		1F.m7.i15	1E.m7.i15	1A.m7.i15
H4	1D.m7.i15	1B.m7.i15			1A.m7.i15
H5		1B.m7.i15			1A.m7.i15
H6	1C.m7.i15		1D.m7.i15	1B.m7.i15	
H7	1C.m7.i15		1D.m7.i15	1B.m7.i15	1C.m7.i15
H8	1C.m7.i15	1A.m7.i15	1D.m7.i15	1B.m7.i15	1F.m7.i15
H9		1A.m7.i15			1F.m7.i15

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

#### 4.2.2. Profesores de segundo bachillerato

Para los profesores de segundo de bachillerato los cuales son seis cursos (2°A, 2°B, 2°C, 2°D, 2°E, 2°F), se realizó la recolección de materias en la simulación del modelo para los cursos del segundo de bachillerato, a cada docente en los distintos cursos mencionados; para de esta manera hacerles llegar sus horarios individuales a cumplir en el año lectivo.

*Tabla 4.29. Horario de clase por docente (i3)*

i3					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	2E.m8 .i3	2A.m1 .i3	2C.m1 .i3		2A.m1 .i3
H2					2A.m1 .i3
H3	2C.m1 .i3	2D.m1 .i3		2B.m8 .i3	2F.m1 .i3
H4	2B.m1 .i3	2D.m1 .i3	2F.m1 .i3	2B.m8 .i3	
H5	2D.m8 .i3		2F.m1 .i3	2B.m8 .i3	
H6		2E.m1 .i3			2D.m1 .i3
H7	2B.m8 .i3	2E.m8 .i3	2D.m8 .i3	2E.m1 .i3	2C.m1 .i3
H8	2C.m8 .i3		2A.m8 .i3	2E.m1 .i3	
H9		2A.m8 .i3	2F.m8 .i3	2C.m8 .i3	2F.m8 .i3

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.30. Horario de clase por docente (i4)*

i4					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	2C.m2 .i4		2B.m3 .i4	2A.m2 .i4	
H2	2C.m2 .i4		2A.m3 .i4	2A.m2 .i4	2C.m2 .i4
H3		2E.m3 .i4	2D.m3 .i4		
H4	2F.m2 .i4	2B.m2 .i4		2D.m2 .i4	2D.m3 .i4
H5		2F.m3 .i4	2C.m3 .i4	2D.m2 .i4	2E.m2 .i4
H6	2D.m2 .i4		2F.m2 .i4	2C.m3 .i4	
H7		2B.m3 .i4			2F.m2 .i4
H8	2A.m2 .i4	2E.m2 .i4	2E.m3 .i4		2B.m2 .i4
H9	2F.m3 .i4	2E.m2 .i4		2A.m3 .i4	2B.m2 .i4

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

Tabla 4.31. Horario de clase por docente (i5)

i5					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	2D.m6 .i5			2C.m6 .i5	2F.m6 .i5
H2	2E.m6 .i5	2F.m6 .i5	2D.m12.i5	2C.m6 .i5	2D.m6 .i5
H3	2E.m6 .i5	2F.m6 .i5	2A.m6 .i5	2C.m6 .i5	
H4		2F.m6 .i5			2A.m6 .i5
H5	2E.m12.i5		2E.m12.i5		2D.m12.i5
H6	2A.m6 .i5	2B.m6 .i5		2B.m6 .i5	2E.m6 .i5
H7	2A.m6 .i5	2C.m12.i5	2E.m6 .i5	2B.m6 .i5	
H8		2C.m6 .i5	2D.m6 .i5	2B.m6 .i5	2C.m12.i5
H9			2D.m6 .i5		

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

Tabla 4.32. Horario de clase por docente (i6)

i6					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1		2B.m4 .i6		2E.m9 .i6	
H2	2D.m4 .i6	2E.m4 .i6	2C.m9 .i6	2E.m4 .i6	2F.m9 .i6
H3		2B.m9 .i6	2B.m9 .i6		2A.m4 .i6
H4	2A.m4 .i6		2E.m9 .i6	2A.m4 .i6	2C.m4 .i6
H5	2C.m9 .i6	2D.m4 .i6		2F.m4 .i6	
H6	2F.m4 .i6	2F.m9 .i6	2D.m9 .i6	2D.m9 .i6	2B.m4 .i6
H7			2C.m4 .i6		
H8	2E.m4 .i6				2F.m4 .i6
H9	2A.m9 .i6	2C.m4 .i6	2A.m9 .i6	2B.m4 .i6	2D. m4 .i6

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.33. Horario de clase por docente (i7)*

i7					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	2B.m12.i7	2E.m11.i7	2A.m11.i7		2E.m11.i7
H2		2B.m10.i7		2B.m10.i7	
H3			2F.m10.i7	2F.m12.i7	2E.m10.i7
H4	2C.m10.i7		2A.m10.i7	2F.m11.i7	
H5	2A.m11.i7	2B.m12.i7	2D.m10.i7		2A.m10.i7
H6	2B.m11.i7	2A.m12.i7		2E.m10.i7	2B.m11.i7
H7			2F.m12.i7	2D.m10.i7	2B.m11.i7
H8	2F.m11.i7	2D.m11.i7		2F.m10.i7	
H9	2C.m11.i7	2D.m11.i7	2C.m10.i7		2A.m12.i7

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.34. Horario de clase por docente (i8)*

i8					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	2F.m14.i8	2F.m14.i8	2D.m18.i8	2B.m14.i8	2C.m14.i8
H2	2A.m18.i8	2A.m14.i8	2B.m18.i8		2E.m14.i8
H3	2A.m14.i8	2A.m14.i8		2A.m18.i8	2D.m18.i8
H4			2D.m14.i8		
H5	2B.m18.i8	2C.m18.i8		2E.m14.i8	2B.m14.i8
H6		2C.m14.i8	2C.m18.i8	2F.m18.i8	2F.m18.i8
H7	2E.m14.i8	2D.m14.i8		2C.m14.i8	
H8			2F.m14.i8		2D.m14.i8

H9      2E.m18.i8                              2B.m14.i8      2E.m18.i8

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS  
Elaboración propia

*Tabla 4.35. Horario de clase por docente (i9)*

i9					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	2A.m17.i9	2C.m17.i9			2D.m17.i9
H2			2F.m15.i9		
H3	2D.m15.i9			2E.m15.i9	2B.m17.i9
H4	2D.m15.i9	2A.m15.i9	2B.m15.i9	2E.m17.i9	2F.m15.i9
H5		2A.m15.i9	2A.m17.i9	2A.m15.i9	2C.m17.i9
H6	2E.m15.i9	2D.m17.i9	2E.m17.i9		
H7	2F.m17.i9			2F.m17.i9	2D.m15.i9
H8		2B.m15.i9	2C.m15.i9	2C.m15.i9	
H9	2B.m15.i9	2B.m17.i9	2E.m15.i9	2F.m15.i9	2C.m15.i9

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS  
Elaboración propia

*Tabla 4.36. Horario de clase por docente (i10)*

i10					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1		2D.m5 .i10	2F.m5 .i10	2D.m5 .i10	
H2	2F.m5 .i10	2D.m5 .i10		2D.m5 .i10	
H3	2F.m5 .i10		2C.m5 .i10	2D.m5 .i10	2B.m5 .i10
H4	2F.m5 .i10	2E.m5 .i10	2C.m5 .i10		
H5		2E.m5 .i10			2F.m5 .i10
H6	2C.m5 .i10		2Bm5 .i10	2A.m5 .i10	

H7	2C.m5 .i10	2A.m5 .i10	2B.m5 .i10	2A.m5 .i10	2E.m5 .i10
H8	2B.m5 .i10	2A.m5 .i10	2B.m5 .i10	2A.m5 .i10	2E.m5 .i10
H9					2E.m5 .i10

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.37. Horario de clase por docente (i11)*

i11					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1			2E.m7 .i15	2F.m7 .i15	2B.m7 .i15
H2	2B.m7 .i15	2C.m7 .i15	2E.m7 .i15	2F.m7 .i15	2B.m7 .i15
H3	2B.m7 .i15	2C.m7 .i15	2E.m7 .i15		
H4	2E.m7 .i15	2C.m7 .i15		2C.m7 .i15	2E.m7 .i15
H5			2B.m7 .i15	2C.m7 .i15	
H6			2A.m7 .i15		2A.m7 .i15
H7	2D.m7 .i15	2F.m7 .i15	2A.m7 .i15		2A.m7 .i15
H8	2D.m7 .i15	2F.m7 .i15		2D.m7 .i15	2A.m7 .i15
H9	2D.m7 .i15	2F.m7 .i15		2D.m7 .i15	

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

#### 4.2.3. Profesores de tercero bachillerato

Para los profesores de tercero de bachillerato los cuales son seis cursos (3°A, 3°B, 3°C, 3°D, 3°E, 3°F), se realizó la recolección de materias en la simulación del modelo para los cursos de tercero de bachillerato, a cada docente en los distintos cursos mencionados; para de esta manera hacerles llegar sus horarios individuales a cumplir en el año lectivo.

*Tabla 4.38. Horario de clase por docente (i1)*

i1					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1		3D.m13.i1		3D.m13.i1	
H2	3A.m13.i1	3D.m13.i1	3D.m13.i1	3B.m13.i1	3B.m13.i1

H3				3B.m13.i1	
H4	3E.m13.i1	3A.m13.i1			3E.m13.i1
H5	3E.m13.i1		3E.m13.i1	3E.m13.i1	3E.m13.i1
H6					
H7	3D.m13.i1	3B.m13.i1	3A.m13.i1	3A.m13.i1	3A.m13.i1
H8	3D.m13.i1	3B.m13.i1	3A.m13.i1	3A.m13.i1	3D.m13.i1
H9	3B.m13.i1	3E.m13.i1	3B.m13.i1		

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.39. Horario de clase por docente (i2)*

i2					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	3B.m14.i2		3A.m14.i2		3D.m14.i2
H2	3B.m14.i2	3B.m14.i2	3E.m14.i2		
H3			3E.m14.i2	3A.m14.i2	
H4	3D.m14.i2			3C.m14.i2	3A.m14.i2
H5		3C.m14.i2		3C.m14.i2	3A.m14.i2
H6		3D.m14.i2	3B.m14.i2		
H7	3E.m14.i2	3D.m14.i2	3C.m14.i2	3B.m14.i2	
H8	3C.m14.i2				3E.m14.i2
H9		3A.m14.i2		3D.m14.i2	3E.m14.i2

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.40. Horario de clase por docente (i3)*

i3					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1					3E.m16.i3
H2	3E.m16.i3	3E.m16.i3		3F.m16.i3	3A.m16.i3
H3		3E.m16.i3	3B.m16.i3		3A.m16.i3
H4	3A.m16.i3		3B.m16.i3		

H5			3B.m16.i3	3B.m16.i3	3B.m16.i3
H6	3B.m16.i3	3F.m16.i3		3A.m16.i3	
H7					3F.m16.i3
H8	3F.m16.i3	3A.m16.i3	3F.m16.i3	3E.m16.i3	3F.m16.i3
H9			3A.m16.i3	3E.m16.i3	

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS  
Elaboración propia

*Tabla 4.41. Horario de clase por docente (i5)*

i5					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	3F.m2.i5	3B.m3.i5	3D.m2.i5		3B.m8.i5
H2		3C.m2.i5		3A.m2.i5	3C.m3.i5
H3	3D.m3.i5	3C.m2.i5	3D.m3.i5	3F.m3.i5	3F.m8.i5
H4		3A.m3.i5		3B.m3.i5	
H5	3A.m2.i5	3B.m8.i5			3F.m3.i5
H6	3E.m2.i5	3E.m3.i5	3A.m8.i5	3F.m2.i5	3A.m3.i5
H7		3E.m3.i5	3E.m2.i5		
H8	3B.m2.i5			3B.m2.i5	
H9	3C.m3.i5		3F.m8.i5	3A.m8.i5	3D.m2.i5

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS  
Elaboración propia

*Tabla 4.42. Horario de clase por docente (i6)*

i6					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1			3F.m4.i6	3A.m4.i6	
H2	3F.m5.i6	3A.m5.i6	3B.m4.i6		

H3	3B.m4.i6			3D.m8.i6	3E.m5.i6
H4		3E.m4.i6	3D.m4.i6	3D.m4.i6	3D.m8.i6
H5	3C.m5.i6	3A.m4.i6			3F.m8.i6
H6	3C.m4.i6	3C.m8.i6	3E.m4.i6	3C.m5.i6	
H7	3B.m5.i6			3F.m5.i6	3D.m5.i6
H8		3E.m8.i6	3E.m5.i6		3B.m5.i6
H9	3F.m4.i6	3D.m5.i6	3E.m8.i6	3C.m4.i6	3A.m5.i6

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.43. Horario de clase por docente (i8)*

i8					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	3C.m16.i8	3C.m16.i8	3B.m20.i8	3F.m13.i8	3F.m13.i8
H2			3C.m16.i8		3F.m13.i8
H3	3F.m20.i8		3C.m16.i8	3C.m16.i8	
H4		3F.m20.i8			3C.m16.i8
H5		3E.m20.i8	3F.m13.i8		
H6	3F.m13.i8		3F.m13.i8	3B.m20.i8	3C.m13.i8
H7	3F.m13.i8	3C.m13.i8		3C.m13.i8	3C.m13.i8
H8	3E.m20.i8			3C.m13.i8	3C.m13.i8
H9			3C.m13.i8		

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.44. Horario de clase por docente (i9)*

i9					
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES

H1		3A.m15.i9		3B.m17.i9	
H2			3F.m17.i9	3D.m15.i9	3E.m15.i9
H3	3C.m17.i9	3B.m17.i9			
H4	3C.m17.i9		3C.m17.i9	3A.m17.i9	3F.m17.i9
H5		3F.m17.i9	3F.m15.i9		
H6		3B.m15.i9			3D.m15.i9
H7	3A.m15.i9	3A.m17.i9		3E.m15.i9	
H8			3B.m15.i9		
H9	3A.m17.i9	3F.m15.i9			3B.m17.i9

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS  
Elaboración propia

*Tabla 4.45. Horario de clase por docente (i10)*

HORA	i10				
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	3E.m11.i10	3E.m1.i10	3E.m6.i10	3E.m11.i10	3C.m6.i10
H2			3A.m6.i10		
H3	3A.m6.i10	3D.m7.i10	3F.m1.i10		3B.m7.i10
H4	3B.m11.i10	3D.m7.i10		3F.m7.i10	3B.m7.i10
H5	3B.m11.i10		3A.m11.i10	3F.m7.i10	
H6		3A.m11.i10	3C.m6.i10	3E.m1.i10	3F.m1.i10
H7	3C.m6.i10		3B.m7.i10		3E.m6.i10
H8		3F.m7.i10		3D.m7.i10	3A.m6.i10
H9	3E.m6.i10	3B.m1.i10		3B.m1.i10	

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS  
Elaboración propia

*Tabla 4.46. Horario de clase por docente (i14)*

i14					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	3D.m17.i14	3F.m14.i14	3C.m15.i14	3C.m20.i14	
H2	3D.m20.i14			3C.m20.i14	3D.m16.i14
H3		3A.m20.i14			3D.m16.i14
H4	3F.m14.i14	3C.m15.i14	3E.m17.i14	3E.m17.i14	
H5	3F.m14.i14	3D.m16.i14	3D.m17.i14	3D.m16.i14	
H6	3D.m16.i14		3D.m20.i14		3E.m17.i14
H7					
H8	3A.m20.i14	3F.m17.i14	3D.m16.i14	3F.m14.i14	
H9					3F.m14.i14

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

*Tabla 4.47. Horario de clase por docente (i15)*

i15					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
H1	3A.m1.i15				3A.m7.i15
H2	3C.m1.i15	3F.m6.i15			
H3	3E.m7.i15	3F.m6.i15	3A.m7.i15	3Em7.i15	3C.m7.i15
H4		3B.m6.i15	3F.m11.i15	3E.m7.i15	
H5	3D.m1.i15		3C.m11.i15	3A.m1.i15	3D.m11.i15
H6	3A.m7.i15			3D.m6.i15	3B.m6.i15
H7		3F.m11.i15	3D.m11.i15	3D.m6.i15	3B.m6.i15
H8		3C.m7.i15	3C.m1.i15		
H9	3D.m6.i15	3C.m7.i15	3D.m1.i15	3F.m6.i15	3C.m11.i15

Nota: Resultado de la optimización de docentes, utilizando el programa GAMS

Elaboración propia

# 5. CAPÍTULO 5

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Al punto de culminación de este trabajo de tesis, esta sección tiene fines de demostrar conclusiones y recomendaciones alcanzadas en el transcurso del trabajo en este proyecto; con esto se podrá percibir las metas cumplidas y los beneficios logrados.

### 5.1 Conclusiones

El propósito de esta tesis fue de crear un modelo matemático que fuera idóneo de simular y optimizar el uso de recursos al momento de elaborar horarios y que no tengan inconvenientes entre los cursos y profesores.

El objetivo hace mención en el diseño de un modelo matemático para la asignación de profesores a un horario escolar en una institución educativa, cabe recalcar que se cumplió con el 100% de lo esperado dando paso a los horarios de cada curso y de los docentes; consiguiendo principalmente la funcionalidad de un modelo que hiciese el trabajo que normalmente lo realizan algunos docentes, ya que al estar establecidas las asignaturas a los docentes estos deben cumplir ciertas condiciones en referencia a materias las cuales son implícitamente importantes al momento de que el alumnado surja en el medio en el cual se quiera desenvolver, además de constatar los lineamientos que debe cumplir la planta docente en toda institución educativa que es regida por el Ministerio de Educación.

Los profesores que impartían sus cátedras en la jornada matutina en el presente proyecto son el 55 por ciento del total de la planta docente, que equivalen a 33 profesores en los bachilleratos y con la optimización que nos reflejó el modelo se alcanzó un óptimo de 28 docentes; dado que al haber exceso de docentes tenían muchas horas ocias alrededor de más de 3 a 4 horas sin dictar sus cátedras o sobrecargado el día es decir sin descanso, se logró restringir dicha falencia a que por lo menos el profesor tenga 2 horas libres antes de continuar con sus clases.

Un dato muy relevante que para el desarrollo óptimo de este modelo al momento de simularlo se tuvo que realizarlo por cursos, es decir se realizó para este trabajo tres simulaciones con las mismas restricciones solamente con la variación de los cursos y docentes asignados. Al momento de simular el modelo en una computadora este demora mucho tiempo por el motivo de las cantidades de variables en el cual se genera un tiempo aproximadamente de 3 a 4 horas dependiendo de la velocidad del ordenador en la que se esté ejecutando por tal motivo no se unificó el modelo para que nos mostrara en una sola simulación.

La expectativa de la solución óptima se logró en los servidores que nos proporciona el NEOS la cual realiza la misma función que el software que se utiliza para el presente trabajo; y el tiempo de espera de la optimización del modelo depende del número de iteraciones que realizó el servidor dando como tiempo por modelización y por curso se tomó entre 15 a 25 minutos en un total de una hora tener el resultado para luego ordenarlo en tablas de Excel en la misma cantidad de tiempo de espera del modelo, sin embargo en la forma tradicional en la que la institución siempre ha manejado demoraban en un lapso de 1 a 2 meses culminarlo y entregar a cada docente su horario. Si comparamos el tiempo preciso para hallar el óptimo con los realizados habitualmente, concluimos que es considerablemente de mucha ayuda para la institución encargada de realizar las contrataciones de los docente y además para elaboración de los horarios en las instituciones educativas.

## **5.2 Recomendaciones**

Intrínsecamente este proyecto tan deseado tiene de igual manera muchas partes de mejora; consecuentemente se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto, con el adicionamiento de mejora o inclusión de nuevas restricciones con afines en las instituciones que se desea aplicarla y optimizar la cantidad de docentes en uso.

Una sugerencia adicional es el cual desarrollarlo en un ordenador con grandes capacidades o utilizar el NEOS SERVER el cual es vía online.

## 6. Referencias

- Fernando Alvarez Valdivia. (14 de Mayo de 2014). *SCRIBD*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/225097600/Concepto-de-Modelacion-Matematica>
- Caballero, J. M. (2008). *Manglar Uninorte pdf*. Obtenido de <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/80/84032706.pdf?sequence=1>
- Canseco-González, e., & al. (2016). APLICACIÓN DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA ASIGNACIÓN DE HORARIOS EN UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MEXICANA. *Revista de Ingeniería Industrial*, 135 - 146.
- Castillo, E., Conejo, A., Pedregal, P., García, R., & Alguacil, N. (2002). *Formulación y Resolución de Modelos*.
- Castro, G. D. (2014). *TESIS-ICM-Control y Operaciones Logísticas*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25068/1/TESIS%20ICM-Control%20y%20operaci%C3%B3n%20log%C3%ADstica.pdf>
- Crovo., A. S., & al., e. (2007). MODELOS DE PROGRAMACIÓN ENTERA PARA UN PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN DE HORARIOS PARA UNIVERSIDADES. *Ingeniare, Revista Chilena de Ingeniería*, 245 - 259.
- DefinicionABC*. (s.f.). Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/flujograma.php>
- EDUCACIÓN, M. D. (s.f.). Obtenido de <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/CODIFICACION-COMPLETA-DEL-REGLAMENTO-GENERAL-A-LA-LOEI-17-07-20143.pdf>
- Esquivel, L. (21 de Septiembre de 2014). *Biblioteca Digital*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8312/1/CB-0516251.pdf>
- Francisco Valencia, I., & Hernandez Servin, J. A. (24 de Enero de 2017). *Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/65541>
- Gamarra, R. d. (2010). *Repositorio Universidad de Chile*. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-barco\\_rg/html/index-frames.html](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-barco_rg/html/index-frames.html)
- Lucidchart*. (s.f.). Obtenido de <https://www.lucidchart.com/invitations/accept/e9466ded-0c8a-4cf1-82f6-3746db541fa2>
- Lucidchart*. (2018). Obtenido de <https://www.lucidchart.com/invitations/accept/68b88115-2186-4a03-850e-48fe6df881fd>
- Lucidchart*. (2018). Obtenido de <https://www.lucidchart.com/invitations/accept/b8420176-9382-4951-8b85-39d2fe8135c7>
- Mejía Cabello, J. M. (2008). Asignación de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos. Barranquilla, Atlántico, Colombia: Universidad del Norte.
- Ministerio de Educación . (2018). Obtenido de [https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/07/EGC\\_Producci%C3%B3n-Agropecuaria.pdf](https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/07/EGC_Producci%C3%B3n-Agropecuaria.pdf)
- Ministerio de Educación. (2018). Obtenido de <https://educacion.gob.ec/malla-curricular-educacion-general-basica/>
- Montaño, L. (26 de Marzo de 2018). Ecuador Transparente. *LA HORA*, págs. 5-6.
- Paredes, J. (05 de Agosto de 2016). *Ministerio de Educación*. Obtenido de <http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educaci%C3%B3n-y-ciencia/58374-horario-de-clases-estudiantes-de-primaria-colegio-ministerio-de-educaci%C3%B3n-ecuador>

Rey, Pablo A. (2008). 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. *Revista Ingeniería de Sistemas*, 121-136.

Zhipeng Lu, Jin Kao Hao. (Enero de 2010). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/222418829\\_Adaptive\\_Tabu\\_Search\\_for\\_course\\_timetabling](https://www.researchgate.net/publication/222418829_Adaptive_Tabu_Search_for_course_timetabling)

# 7. Apéndices y anexos

## Anexo A

Código usado en el software GAMS para los cursos de primero de Bachillerato

```
option profile = 1;
option iterlim = 1000000000;
option reslim = 86400;
```

### SETS

**i** profesores /i1\*i15/

**h** horario /h1\*h9/

**d** dias /LUNES, MARTES,MIE,JUEVES,VIERNES/

**m** materias y modulos formativos /m1\*m20/

**c** cursos /1A,1B,1C,1D,1E,1F/

**f** franjas horarias /f1\*f22/

**MI(m,i)** asociacion de materias y profesores

/m5.i1,m6.i2,m7.i3,(m1,m8).i4,(m2,m10,m11).i5,(m2,m18).i6,(m3,m15).i7,(m4,m9).i8,(m12,m19).i9,  
(m1,m12).i10,m8.i11,m2.i12,m10.i13,m4.i14,m7.i15/

**MC(m,c)** asociacion de materias y cursos /(m1\*m12,m15,m18,m19).(1A,1B,1C,1D,1E,1F)/

**MR(m)** conjunto de materias con restriccion /m1,m2,m5,m6,m7/

**IC(i)** conjunto de profesores de campo /i6,i7,i9/

**MF(m)** conjunto de modulos formativos /m13,m14,m15,m16,m17,m18,m19,m20/

### Table

**N(c,m)**

	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13	m14	m15	m16	m17	m18	m19	m20
<b>1A</b>	3	2	2	3	5	5	5	2	2	2	2	2	0	0	3	0	0	4	3	0
<b>1B</b>	3	2	2	3	5	5	5	2	2	2	2	2	0	0	3	0	0	4	3	0
<b>1C</b>	3	2	2	3	5	5	5	2	2	2	2	2	0	0	3	0	0	4	3	0
<b>1D</b>	3	2	2	3	5	5	5	2	2	2	2	2	0	0	3	0	0	4	3	0

1E 3 2 2 3 5 5 5 2 2 2 2 2 0 0 3 0 0 4 3 0  
 1F 3 2 2 3 5 5 5 2 2 2 2 2 0 0 3 0 0 4 3 0

**Table**

**B(h,f)**

	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14	f15	f16	f17	f18	f19	f20	f21	f22
<b>h1</b>	1				1						1											
<b>h2</b>	1	1			1	1						1										
<b>h3</b>	1	1	1			1	1						1									
<b>h4</b>		1	1				1	1						1								
<b>h5</b>			1					1							1							
<b>h6</b>				1					1							1						
<b>h7</b>			1	1					1	1									1			
<b>h8</b>				1	1					1	1										1	
<b>h9</b>					1						1											1

;

**VARIABLE z;**

**BINARY VARIABLE** X(c,d,h,m,i),Y(i),P(c,m,i),G(f,c,d,m),alpha(c,d,m);

**EQUATIONS**

obj

const2(d,h,i)

const3(c,d,h)

const4(m,c)

const5(i)

const6(d,h,i)

const7(d,h,i)

const8(d,i)

const10(m,c)

const11(i,m,c)

const12(i,m,c)

const13(m,c,d)

const14(d,m,c,h)

const15(c,d,m)

const16(c,d,m)

const17(c,d,m)

const18(c,m,i) ;

obj.. SUM((i), Y(i))=e=z;

const2(d,h,i)..SUM((c,m)\$ (MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=1;

const3(c,d,h)..SUM((i,m)\$ (MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=1;

const4(m,c)\$MC(m,c)..SUM((h,d,i)\$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=e=N(c,m);

const5(i)..SUM((m,h,d,c)\$ (MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=30\*Y(i);

```

const6(d,h,i)$(ord(h) ge 3)..SUM((c,m)$(MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h-2,m,i)+X(c,d,h-
1,m,i)+X(c,d,h,m,i))=g=1*Y(i);
const7(d,h,i)$(ord(h) ge 4)..SUM((c,m)$( MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h-3,m,i)+X(c,d,h-2,m,i)+X(c,d,h-
1,m,i)+X(c,d,h,m,i))=l=3;
const8(d,i)..SUM((c,h,m)$(MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=l=6*Y(i);
const10(m,c)$MC(m,c)..SUM(i$MI(m,i),P(c,m,i))=e=1;
const11(i,m,c)$(MI(m,i) and MC(m,c)).. SUM((d,h), X(c,d,h,m,i))=l=N(c,m)*P(c,m,i);
const12(i,m,c)$(MI(m,i) and MC(m,c)).. SUM((d,h), X(c,d,h,m,i))=g=P(c,m,i);
const13(m,c,d)$MC(m,c).. SUM(f,G(f,c,d,m))=e=1;
const14(d,m,c,h)$MC(m,c).. SUM(i$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=e=SUM(f,G(f,c,d,m)*B(h,f));
const15(c,d,m)$(MR(m) and MC(m,c))..SUM((h,i)$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=l=N(c,m)*alpha(c,d,m);
const16(c,d,m)$(MR(m) and MC(m,c))..SUM((h,i)$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=g=alpha(c,d,m);
const17(c,d,m)$(MR(m) and MC(m,c) and ord(d) le 4).. alpha(c,d,m)+alpha(c,d+1,m)=l=1;
const18(c,m,i).. P(c,m,i)=l=Y(i);
model horarioprimerero /all/;
solve horarioprimerero using mip minimizing z;
option X:5:0:1;
DISPLAY Y.L, X.L;

```

## Anexo B

### Código usado en el software GAMS para los cursos de segundo de Bachillerato

```
option profile = 1;  
option iterlim = 1000000000;  
option reslim = 86400;
```

#### SETS

```
i profesores /i1*i15/
```

```
h horario /h1*h9/
```

```
d dias /LUNES, MARTES,MIE,JUEVES,VIERNES/
```

```
m materias y modulos formativos /m1*m20/
```

```
c cursos /2A,2B,2C,2D,2E,2F/
```

```
f franjas horarias /f1*f22/
```

```
MI(m,i) asociacion de materias y profesores /m5.i1,m7.i2,(m1,m8).i3,(m2,m3).i4,(m6,m12).i5,(m4,m9).i6,  
(m10,m11,m12).i7,(m14,m18).i8,(m15,m17).i9,(m1*m12).i10,m8.i11,m2.i12,m10.i13,m4.i14,m7.i15/
```

```
MC(m,c) asociacion de materias y cursos /(m1*m12,m14,m15,m17,m18).(2A,2B,2C,2D,2E,2F)/
```

```
MR(m) conjunto de materias con restriccion /m1,m2,m5,m6,m7/
```

```
IC(i) conjunto de profesores de campo /i8,i9/
```

```
MF(m) conjunto de modulos formativos /m13,m14,m15,m16,m17,m18,m19,m20/
```

#### Table

**N(c,m)**

m1 m2 m3 m4 m5 m6 m7 m8 m9 m10 m11 m12 m13 m14 m15 m16 m17 m18 m19 m20

```

2A 3 3 2 3 5 4 5 2 2 2 2 2 0 3 3 0 2 2 0 0
2B 3 3 2 3 5 4 5 2 2 2 2 2 0 3 3 0 2 2 0 0
2C 3 3 2 3 5 4 5 2 2 2 2 2 0 3 3 0 2 2 0 0
2D 3 3 2 3 5 4 5 2 2 2 2 2 0 3 3 0 2 2 0 0
2E 3 3 2 3 5 4 5 2 2 2 2 2 0 3 3 0 2 2 0 0
2F 3 3 2 3 5 4 5 2 2 2 2 2 0 3 3 0 2 2 0 0

```

;

**Table**

B(h,f)

	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14	f15	f16	f17	f18	f19	f20	f21	f22
h1	1					1						1										
h2	1	1				1	1						1									
h3	1	1	1				1	1						1								
h4		1	1					1	1						1							
h5			1						1							1						
h6				1						1							1					
h7			1	1						1	1								1			
h8				1	1						1	1								1		
h9					1							1									1	;

VARIABLE z;

BINARY VARIABLE X(c,d,h,m,i),Y(i),P(c,m,i),G(f,c,d,m),alpha(c,d,m);

**EQUATIONS**

obj

const2(d,h,i)

const3(c,d,h)

const4(m,c)

const5(i)

const6(d,h,i)

const7(d,h,i)

const8(d,i)

const10(m,c)

const11(i,m,c)

const12(i,m,c)

const13(m,c,d)

const14(d,m,c,h)

const15(c,d,m)

const16(c,d,m)

```

const17(c,d,m)
const18(c,m,i) ;
obj.. SUM((i), Y(i))=e=z;
const2(d,h,i)..SUM((c,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=l=1;
const3(c,d,h)..SUM((i,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=l=1;
const4(m,c)$MC(m,c)..SUM((h,d,i)$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=e=N(c,m);
const5(i)..SUM((m,h,d,c)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=l=30*Y(i);
const6(d,h,i)$ord(h) ge 3 )..SUM((c,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h-2,m,i)+X(c,d,h-1,m,i)+X(c,d,h,m,i))=g=1*Y(i);
const7(d,h,i)$ord(h) ge 4 )..SUM((c,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h-3,m,i)+X(c,d,h-2,m,i)+X(c,d,h-1,m,i)+X(c,d,h,m,i))=l=3;
const8(d,i)..SUM((c,h,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=l=6*Y(i);
const10(m,c)$MC(m,c)..SUM(i$MI(m,i),P(c,m,i))=e=1;
const11(i,m,c)$MI(m,i) and MC(m,c).. SUM((d,h), X(c,d,h,m,i))=l=N(c,m)*P(c,m,i);
const12(i,m,c)$MI(m,i) and MC(m,c).. SUM((d,h), X(c,d,h,m,i))=g=P(c,m,i);
const13(m,c,d)$MC(m,c).. SUM(f,G(f,c,d,m))=e=1;
const14(d,m,c,h)$MC(m,c).. SUM(i$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=e=SUM(f,G(f,c,d,m)*B(h,f));
const15(c,d,m)$MR(m) and MC(m,c)..SUM((h,i)$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=l=N(c,m)*alpha(c,d,m);
const16(c,d,m)$MR(m) and MC(m,c)..SUM((h,i)$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=g=alpha(c,d,m);
const17(c,d,m)$MR(m) and MC(m,c) and ord(d) le 4).. alpha(c,d,m)+alpha(c,d+1,m)=l=1;
const18(c,m,i).. P(c,m,i)=l=Y(i);

model horariosegundo /all/;
solve horariosegundo using mip minimizing z;
option X:5:0:1;
DISPLAY Y.L, X.L;

```

## Anexo C

### Código usado en el software GAMS para los cursos de tercero de Bachillerato

```
option profile = 1;  
option iterlim = 1000000000;  
option reslim = 86400;
```

SETS

i profesores /i1\*i15/

h horario /h1\*h9/

d dias /LUNES, MARTES, MIE, JUEVES, VIERNES/

m materias y modulos formativos /m1\*m20/

c cursos /3A,3B,3C,3D,3E,3F/

f franjas horarias /f1\*f22/

MI(m,i) asociacion de materias y profesores /m13.i1,m14.i2,m16.i3,(m1,m6).i4,(m2,m3,m8).i5,  
(m4,m5,m8).i6,(m7,m11).i7,(m13,m16,m20).i8,(m15,m17).i9,(m1\*m12).i10,m8.i11,m2.i12,m10.i13,(m13\*m20).  
i14,(m1\*m12).i15/

MC(m,c) asociacion de materias y cursos /(m1\*m8,m11,m13\*m17,m20).(3A,3B,3C,3D,3E,3F)/

MR(m) conjunto de materias con restriccion /m1,m2,m5,m6,m7/

IC(i) conjunto de profesores de campo /i1,i2,i3,i8,i9/

MF(m) conjunto de modulos formativos /m13,m14,m15,m16,m17,m18,m19,m20/

Table

N(c,m)

	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12	m13	m14	m15	m16	m17	m18	m19	m20
3A	2	2	2	2	3	3	2	0	0	2	0	7	5	2	6	3	0	0	2	
3B	2	2	2	2	3	3	2	0	0	2	0	7	5	2	6	3	0	0	2	
3C	2	2	2	2	3	3	2	0	0	2	0	7	5	2	6	3	0	0	2	
3D	2	2	2	2	3	3	2	0	0	2	0	7	5	2	6	3	0	0	2	
3E	2	2	2	2	3	3	2	0	0	2	0	7	5	2	6	3	0	0	2	
3F	2	2	2	2	3	3	2	0	0	2	0	7	5	2	6	3	0	0	2	

;

Table

B(h,f)

	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8	f9	f10	f11	f12	f13	f14	f15	f16	f17	f18	f19	f20	f21	f22
h1	1					1						1										
h2	1	1				1	1						1									
h3	1	1	1				1	1						1								
h4		1	1					1	1						1							
h5			1						1							1						
h6				1						1							1					
h7			1	1						1	1							1				
h8				1	1						1	1							1			
h9					1							1								1		

VARIABLE z;

BINARY VARIABLE X(c,d,h,m,i),Y(i),P(c,m,i),G(f,c,d,m),alpha(c,d,m);

EQUATIONS

obj

const2(d,h,i)

const3(c,d,h)

const4(m,c)

const5(i)

const6(d,h,i)

const7(d,h,i)

```

const8(d,i)
const10(m,c)
const11(i,m,c)
const12(i,m,c)
const13(m,c,d)
const14(d,m,c,h)
const15(c,d,m)
const16(c,d,m)
const17(c,d,m)
const18(c,m,i) ;
obj.. SUM((i), Y(i))=e=z;
const2(d,h,i)..SUM((c,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=l=1;
const3(c,d,h)..SUM((i,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=l=1;
const4(m,c)$MC(m,c)..SUM((h,d,i)$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=e=N(c,m);
const5(i)..SUM((m,h,d,c)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=l=30*Y(i);
const6(d,h,i)$ord(h) ge 3 )..SUM((c,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h-2,m,i)+X(c,d,h-1,m,i)+X(c,d,h,m,i))=g=1*Y(i);
const7(d,h,i)$ord(h) ge 4 )..SUM((c,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h-3,m,i)+X(c,d,h-2,m,i)+X(c,d,h-1,m,i)+X(c,d,h,m,i))=l=3;
const8(d,i)..SUM((c,h,m)$MI(m,i) and MC(m,c)),X(c,d,h,m,i))=l=6*Y(i);
const10(m,c)$MC(m,c)..SUM(i$MI(m,i),P(c,m,i))=e=1;
const11(i,m,c)$MI(m,i) and MC(m,c).. SUM((d,h), X(c,d,h,m,i))=l=N(c,m)*P(c,m,i);
const12(i,m,c)$MI(m,i) and MC(m,c).. SUM((d,h), X(c,d,h,m,i))=g=P(c,m,i);
const13(m,c,d)$MC(m,c).. SUM(f,G(f,c,d,m))=e=1;
const14(d,m,c,h)$MC(m,c).. SUM(i$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=e=SUM(f,G(f,c,d,m)*B(h,f));
const15(c,d,m)$MR(m) and MC(m,c)..SUM((h,i)$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=l=N(c,m)*alpha(c,d,m);
const16(c,d,m)$MR(m) and MC(m,c)..SUM((h,i)$MI(m,i),X(c,d,h,m,i))=g=alpha(c,d,m);
const17(c,d,m)$MR(m) and MC(m,c) and ord(d) le 4).. alpha(c,d,m)+alpha(c,d+1,m)=l=1;
const18(c,m,i).. P(c,m,i)=l=Y(i);

model horariotercero /all/;

solve horariotercero using mip minimizing z;

option X:5:0:1;
DISPLAY Y.L, X.L;

```