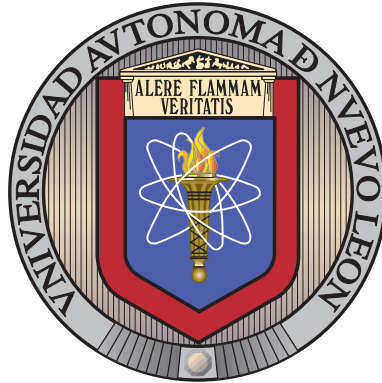


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS: CASO  
DE ESTUDIO EN UNA INSTITUCIÓN DE  
EDUCACIÓN SUPERIOR MEXICANA

POR

LILIA DEL CARMEN BARRÓN TOBÍAS

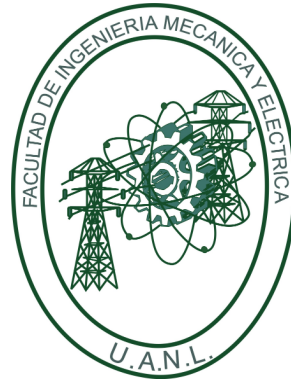
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTO

ENERO 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS: CASO  
DE ESTUDIO EN UNA INSTITUCIÓN DE  
EDUCACIÓN SUPERIOR MEXICANA

POR

LILIA DEL CARMEN BARRÓN TOBÍAS

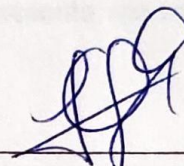
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTO

ENERO 2018

**Universidad Autónoma de Nuevo León**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**Subdirección de Estudios de Posgrado**

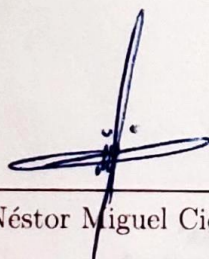
Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Problema de asignación de horarios: caso de estudio en una institución de educación superior mexicana», realizada por la alumna Lilia del Carmen Barrón Tobías, con número de matrícula 1509638, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministo.

El Comité de Tesis



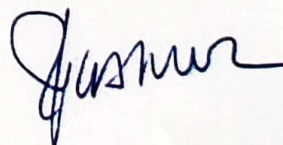
\_\_\_\_\_  
Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa

Asesor



\_\_\_\_\_  
Dr. Néstor Miguel Cid García

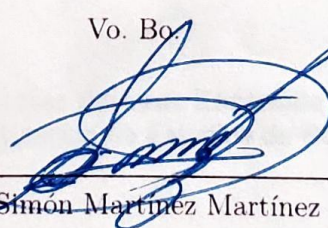
Revisor



\_\_\_\_\_  
Mtro. José Mario Valadez Cedillo

Revisor

Vo. Bo.



\_\_\_\_\_  
Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado



*“El hombre nunca sabe de lo que es capaz, hasta que lo intenta”*

*Charles Dickens.*

# ÍNDICE GENERAL

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>XI</b>
<b>Resumen</b>	<b>XII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Definición del problema . . . . .	5
1.2. Objetivo . . . . .	9
1.3. Hipótesis . . . . .	9
1.4. Justificación . . . . .	9
1.5. Metodología . . . . .	11
1.6. Estructura de la tesis . . . . .	12
<b>2. Antecedentes</b>	<b>14</b>
2.1. Gestión de la educación . . . . .	16
2.1.1. Planeación educativa . . . . .	16
2.2. Calidad . . . . .	18
2.2.1. Calidad educativa . . . . .	19

---

2.2.2. Indicadores de calidad educativa . . . . .	20
2.3. Investigación de Operaciones . . . . .	25
2.3.1. Programación matemática . . . . .	27
2.3.2. Solución . . . . .	29
2.3.3. Métodos de solución . . . . .	30
2.4. Problema de asignación . . . . .	31
2.4.1. Problema de asignación de horarios académicos . . . . .	36
<b>3. Metodología</b>	<b>42</b>
3.1. Descripción del problema . . . . .	42
3.1.1. Etapa 1: Identificación del sistema . . . . .	43
3.1.2. Etapa 2: Identificación de las restricciones . . . . .	45
3.1.3. Etapa 3: Determinación de la función objetivo . . . . .	46
3.2. Modelo integral . . . . .	48
3.3. Modelo dos fases . . . . .	53
3.3.1. Primera fase . . . . .	54
3.3.2. Segunda fase . . . . .	57
<b>4. Experimentación</b>	<b>61</b>
4.1. Experimentación preliminar . . . . .	61
<b>5. Resultados</b>	<b>71</b>

---

5.1. Caso de estudio . . . . .	71
5.2. Resultados . . . . .	74
<b>6. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>77</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	77
6.2. Contribuciones . . . . .	79
6.3. Recomendaciones . . . . .	80
6.4. Trabajo a futuro . . . . .	80
<b>A. Apéndice</b>	<b>81</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

1.1. Metodología del trabajo de investigación . . . . .	11
5.1. Croquis ciudad universitaria . . . . .	72



# ÍNDICE DE TABLAS

---

1.1. Dimensiones de satisfacción del docente . . . . .	4
1.2. Características del problema . . . . .	8
2.1. Características de trabajos relacionados . . . . .	35
2.2. Resumen trabajos previos . . . . .	41
4.1. Datos utilizados modelo integral. . . . .	62
4.2. Tiempos de solución y GAP para cada instancia de la $A_0$ a la $A_7$ . . .	62
4.3. Horario grupo instancia $A_6$ . . . . .	63
4.4. Datos instancia $A_8$ . . . . .	64
4.5. Horario grupo instancia $A_8$ . . . . .	64
4.6. Horario grupo instancia $A_9$ . . . . .	65
4.7. Instancias utilizadas para la comprobación de la separación. . . . .	66
4.8. Horario grupo instancia $B_0$ . . . . .	67
4.9. Datos utilizados fase 1. . . . .	67
4.10. Tiempos de solución y GAP para cada instancia de la $C_0$ a la $C_9$ fase 1.	68

---

4.11. Datos necesarios fase 2. . . . .	68
4.12. Tiempos de solución y GAP para cada instancia de la $C_0$ a la $C_9$ fase 2. . . . .	69
4.13. Horario grupo 1 instancia $C_7$ . . . . .	70
5.1. Distribución de aulas FCB. . . . .	72
5.2. Instancia caso de estudio. . . . .	74
5.3. Horario grupo primer semestre . . . . .	75

# AGRADECIMIENTOS

---

Principalmente a Maria Carmen Tobías Carranza, la persona más importante en mi vida, mi madre, ella, mi mayor ejemplo, quien me enseñó que nada es imposible para mi si lo intento, que si tengo miedo de hacer algo, lo haga con miedo, que la perseverancia es la mejor manera de lograr el éxito, y me dio lo más importante, la vida.

Mis hermanos, por quienes me estoy esforzando para lograr ser un buen ejemplo a seguir, y quienes soportaron ser mis conejillos de indias, escuchando con atención antes de cada una de mis exposiciones importantes.

Mi tutora, la Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa, por sus correcciones, observaciones y tiempo, pero principalmente por ser la persona que es, sin su apoyo, regaños y palabras de aliento todo habría sido más difícil.

Mi co-tutor, el Dr. Néstor Miguel Cid García y mi revisor el Mtro. José Mario Valadez Cedillo, quienes a pesar de estar en otros estados de la República Mexicana siempre tuvieron total disposición en ayudarme.

Mis amigos, las personas que se cuentan con los dedos de las manos, y aun sobran dedos, gracias por su apoyo, observaciones, opiniones y sobre todo por el tiempo que me dieron.

Agradezco ampliamente a CONACyT por el apoyo económico que me brindó.

# RESUMEN

---

Lilia del Carmen Barrón Tobías.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministo.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS: CASO DE ESTUDIO  
EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR MEXICANA.

Número de páginas: 88.

**OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO:** El objetivo de este proyecto es resolver el problema de asignación de horarios académicos mediante el uso de un modelo matemático que mejore el uso de los recursos físicos y humanos disponibles, y a su vez considere la satisfacción de todos los involucrados en el sistema educativo, haciendo uso del método científico.

**CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES:** Este proyecto permitió una mejora razonable en los tiempos invertidos en la distribución de clases de una de las carreras dentro de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, haciendo un uso óptimo de los recursos tanto físicos como humanos de esta importante facultad, respetando los tiempos disponibles de los docentes, las capacidades de las aulas, asignando sólo las clases adecuadas para cada tipo de aula en el mejor

horario establecido en base a los ritmos cognitivos de los estudiantes.

Lo que logro un incremento en la satisfacción de la institución, docentes y estudiantes, traduciendo en una mejoría en la calidad del servicio ofertado por esta organización.

Firma del asesor: \_\_\_\_\_

Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa

## CAPÍTULO 1

# INTRODUCCIÓN

---

La sociedad siempre se ha dado a la tarea de satisfacer sus necesidades vitales con el fin de subsistir de la mejor manera posible, desde sus inicios el hombre logró establecer algunas estrategias de planeación, así como de la logística de abastecimiento, producción y distribución, mismas que se han ido perfeccionando con el paso del tiempo. Las actividades logísticas más sofisticadas se realizaron con objetivos bélicos, donde la función principal era proporcionar todos los recursos humanos y físicos, su movimiento, su alojamiento, además del transporte y el abastecimiento de sus suministros, surgiendo de esta manera el concepto de logística militar, concebida como la «rama de la ciencia militar relacionada con procurar, mantener y transportar material, personal e instalaciones» (Velasco, 2013).

Con el paso del tiempo las empresas vieron una gran área de oportunidad en la aplicabilidad de estas técnicas militares en la gestión de sus procesos, por lo que adoptaron algunos principios y doctrinas que actualmente se consideran de los más importantes, mismos que bien enfocados conducen a lograr sus objetivos (Ballesteros y Ballesteros, 2005) naciendo así el concepto de logística empresarial, la cual fue definida por Vitasek (2013) como «una parte de la cadena de suministro que planea, implementa y controla el flujo eficaz y eficiente de bienes, servicios e información relacionada entre el punto de origen y el punto de consumo para satisfacer las necesidades de los clientes».

Por otra parte Fincowsky y Enrique (2009) señalan que la logística es «el movimiento de los bienes correctos en la cantidad adecuada hacia el lugar correcto en el momento apropiado».

Por último, otra de las definiciones de logística dada por Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud (2001) es la siguiente «un sistema en el que la interrelación de sus partes facilita la obtención de un objetivo de manera más rápida y ordenada mediante la utilización optimizada de los recursos».

Debido a esto, se puede entender que la logística es una de las funciones clave de cualquier organización, entendiéndose por organización a un «sistema integrado por personas y recursos de diversa naturaleza, que mantienen relaciones, fundamentales para su supervivencia, con otras personas y organizaciones exteriores a la organización considerada, las cuales tienen un objetivo común» (Carrasco, 2000). Ya que es una herramienta de gestión total que conduce a dirigir todos los cambios tanto estructurales como culturales de las organizaciones y a incrementar la competitividad y rentabilidad de estas (Pau y de Navascués, 2001). Objetivos buscados por todas las empresas e instituciones, quienes requieren de una correcta planeación de sus actividades, enfrentándose de esta manera a una múltiple toma de decisiones en torno a factores tales como el uso eficiente de sus recursos físicos, procesos de distribución, abastecimiento, almacenamiento, entre otras cosas. Para lograr estos objetivos, es necesario mejorar el uso de los recursos físicos y humanos con los que se dispone para lograr brindar servicios de alta calidad al menor costo posible.

En el caso de las instituciones educativas, las cuales se encuentran encargadas de la gestión efectiva del proceso enseñanza-aprendizaje, es de vital importancia la administración eficiente de la planta docente, que permita hacer el mejor uso de este recurso, aprovechando al máximo todas sus capacidades. Se considera que los docentes son, un recurso altamente importante para la institución, debido a que son ellos los encargados de la creación y difusión del conocimiento, además representan el mayor gasto debido a que gran cantidad del presupuesto de estas organizaciones

está compuesto por los salarios correspondientes al pago por sus servicios (Bastías y Chacón, 2001).

De esta manera la planta docente es quien absorbe la máxima cantidad de recursos económicos de la institución. Por esta razón, es importante una correcta toma de decisiones que permita el uso eficiente de los recursos al menor costo posible, buscando siempre mantener una buena calidad del servicio ofertado y así poder mantener una ventaja competitiva frente a otras instituciones educativas del mismo sector.

La calidad de este servicio se ve reflejada en la conformidad y la satisfacción que experimenta la comunidad académica sobre los diferentes servicios prestados por la institución (Vergara y Quesada, 2011). Entendiéndose como comunidad académica a todos aquellos involucrados en el proceso enseñanza-aprendizaje, es decir, docentes, alumnos y administrativos. Entonces, la calidad educativa se verá afectada en la medida en que el docente se encuentre o no satisfecho.

Según Anaya y Suárez (2004) existen 8 dimensiones que indican la satisfacción de un docente, mismas que se muestran en la tabla 1.1 dentro de las que se encuentran las relaciones sociales y tiempo libre. Esta dimensión alude a las facilidades temporales y espaciales que el trabajo permite, es decir, si los docentes están satisfechos podrían agregar valor al servicio educativo, permitiendo mejoras significativas en la calidad de la educación. Sin embargo, si el docente no está satisfecho con la distribución de su carga horaria existe la posibilidad de que la calidad de la educación recibida en la institución disminuya a causa de factores tales como ausencia o retardos. Es por esto que una correcta asignación de horarios permite un mejor desempeño por parte del recurso más importante en el proceso educativo, mejorando de esta manera la calidad de la educación.

En muchos casos, las decisiones en torno a esta distribución horaria se toman con ayuda de modelos matemáticos y técnicas de programación matemática, ya que son herramientas que permiten dar respuesta a este tipo de decisiones. Estas herra-



Diseño del trabajo	Realización personal	Oportunidades de desarrollo futuro
Reconocimiento del propio desempeño laboral	<b>Relaciones sociales y tiempo libre</b>	Valoración social del trabajo
Recompensas extrínsecas	Oportunidades de promoción	

Tabla 1.1: Dimensiones de satisfacción del docente

mientas matemáticas se han utilizado en su mayoría para la mejora de los procesos productivos de las empresas, y para la organización y distribución del producto terminado. Pero en los últimos años estas herramientas se han aplicado de manera muy eficaz en la optimización del uso de recursos humanos, particularmente en empresas e instituciones que prestan algún servicio, donde el recurso humano constituye el factor más importante a organizar y el costo más relevante como el caso de las instituciones educativas.

Tal es el caso del trabajo realizado por Castrillón (2014) quien propuso una herramienta matemática para la programación de horarios de clases en una universidad considerando los ritmos cognitivos de los alumnos. Esquivel (2015) también propuso una programación de horarios de clases considerando diferentes tipos de docentes y los traslados entre sedes. Ojeda (2015) proporcionó una solución eficiente a la programación de horarios de trabajo de operadores telefónicos. Bastías y Chacón (2001) presentan una metodología para resolver el problema de asignación de horarios a enfermeras. Cavada *et al.* (2012) muestran un trabajo en el cual se realizó una planificación de turnos y generación de tareas en un aeropuerto. Jara (2011) realizó la adaptación de un modelo matemático para la asignación de oficiales de seguridad (policías) a los diferentes sitios a proteger.

Todos estos autores hicieron uso de herramientas cuantitativas para resolver esta problemática, específicamente del problema de asignación de horarios, también conocido como, *Scheduling problem* o *Employee timetabling problem*. El cual consiste

en la asignación del personal a sus diversas áreas de trabajo en un periodo de tiempo determinado.

## 1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La planificación académica de las universidades involucra compensar virtualmente varios factores en términos académicos, financieros y logísticos (Sagenmüller, 2016). Dentro de esta planeación se encuentran diversas actividades, que crean un gran desafío para estas instituciones, ya que se requiere tomar en cuenta diversos estos factores antes mencionados, dentro de los cuales se puede destacar la asignación de horarios de clases, mismo que se define como la correcta disposición de una cierta cantidad de unidades de aprendizaje, docentes y grupos, en un patrón de tiempo determinado, satisfaciendo una cierta cantidad de restricciones (Wren, 1995).

Específicamente en el caso de las instituciones educativas, uno de los principales desafíos es la asignación de horarios de clases, la cual consiste en la correcta disposición de unidades de aprendizaje, docentes, alumnos y aulas en un periodo de tiempo determinado, satisfaciendo una cierta cantidad de restricciones establecidas por la institución.

De esta definición se puede destacar una serie de conceptos relevantes:

- **Docente:** Persona experta en un área del conocimiento encargada de la creación y difusión del conocimiento.
- **Unidad de aprendizaje (UA):** Área del conocimiento que será impartida por un docente a ciertos grupos.
- **Grupo:** Conjunto de alumnos que cursan la misma unidad de aprendizaje.
- **Clase:** El conjunto conformado por la el grupo que tomará la unidad de aprendizaje, la unidad de aprendizaje y el docente asignado a esta última.

- **Hora clase:** Tiempo establecido para la impartición de la unidad de aprendizaje.
- **Jornada:** Horario pre-establecido por la institución en el que pueden ser asignadas cada una de las clases.
- **Aula:** Lugar designado para el proceso enseñanza-aprendizaje.

El problema de asignación de horarios universitarios siempre ha sido un gran reto para las instituciones universitarias, quienes buscan optimizar la distribución de los recursos con los que cuentan. Esto no es una tarea fácil, pues el realizar una correcta distribución de estos recursos humanos e infraestructura requiere de mucho esfuerzo y horas de trabajo.

En la actualidad muchas instituciones llevan a cabo este proceso de distribución de la carga académica de forma manual, es decir, no cuentan con ninguna herramienta analítica o informática que ayude a minimizar el esfuerzo derivado de esta actividad.

Sin embargo, la resolución de esta problemática por medio de este tipo de estrategias triviales no permite cumplir con ciertos requerimientos importantes para lograr la satisfacción de todos los involucrados.

Estos requerimientos se pueden separar como características generales y particulares. Dentro de las características generales, es decir, aquellas que no pueden ser violadas, se tiene que:

- No se puede asignar un mismo docente en dos grupos a la misma hora.
- No se deben impartir dos clases diferentes al mismo grupo a la misma hora.
- Las unidades de aprendizaje se deben asignar en base al perfil del docente.
- Solo se pueden asignar las unidades de aprendizaje que se encuentran en el plan de estudios.

- Se debe respetar el límite mínimo y máximo de horas clase por docente por día.
- Las unidades de aprendizaje deben ser asignadas en las aulas adecuadas.
- Se debe satisfacer el número de frecuencias semanales de cada una de las unidades de aprendizaje.
- No se debe exceder la capacidad de las aulas.
- Las clases se deben asignar a cada docente en base a su disponibilidad horaria.

Asimismo, existe un grupo de características particulares que se busca cumplir con el fin de aumentar la satisfacción de los principales actores del proceso enseñanza-aprendizaje, mismas que se pretenden satisfacer, más son obligatorias, por ejemplo:

- La programación de cada una de las clases se debe hacer de forma consecutiva, es decir, que inmediatamente que termine una clase inicie la otra para cada uno de los grupos.
- Las unidades de aprendizaje se deben asignar en la hora ideal con base en los ritmos cognitivos de los alumnos.
- Se debe reducir el tiempo muerto entre clases para cada uno de los docentes.
- Los traslados diarios de los docentes entre cada una de las sedes debe ser mínimo.
- Las unidades de aprendizaje se deben dictar en bloques de máximo tres horas consecutivas.

La Tabla 1.2 muestra las características que corresponden a cada uno de los involucrados en el sistema educativo.

Tabla 1.2: Características del problema

<b>Unidades de aprendizaje</b>	<b>Docentes</b>	<b>Infraestructura</b>
No se debenn impartir dos clases diferentes al mismo grupo a la misma hora.	No se puede asignar un mismo docente en dos grupos a la misma hora.	Las clases deben ser asignadas en aulas adecuadas.
Solo se asignaran en base al plan de estudios.	Las clases se asignaran en base a su perfil académico.	No se debe exceder la capacidad de las aulas.
El número de frecuencias semanales debe ser satisfecho para cada una.	Se debe respetar el número mínimo y máximo de horas clase por día para cada uno.	
Si se asignan dos horas o más, deben ser asignadas de forma consecutiva.	Reducir al máximo el tiempo muerto entre clases.	
Se deben dictar en bloques de máximo tres horas consecutivas.	Se asignaran las clases en base a su disponibilidad horaria.	
Serán asignadas a la hora ideal en base a los ritmos cognitivos.	Los traslados diarios entre cada una de las sedes debe ser mínimo para cada docente.	

## 1.2 OBJETIVO

Resolver el problema de asignación de horarios académicos mediante el uso de un modelo matemático que mejore el uso de los recursos físicos y humanos disponibles, y a su vez considere la satisfacción de todos los involucrados en el sistema educativo, mejorando de esta manera la calidad del servicio ofertado por la institución.

## 1.3 HIPÓTESIS

Mediante la aplicación de un modelo matemático para el problema de asignación de horarios en instituciones universitarias se puede hacer un uso adecuado de los recursos físicos y humanos, satisfaciendo a todos los involucrados en el proceso educativo mejorando de esta manera la calidad del servicio ofertado por la institución.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

La programación de horarios es una actividad determinante para cualquier tipo de organización, ya que es aquí donde se gestionan todas las actividades que se llevarán a cabo dentro de la misma.

En las instituciones educativas no es la excepción, ya que la programación de horarios determinará gestionar todas las actividades que se llevarán a cabo a lo largo del periodo escolar. El manejo y la gestión del espacio físico y el recurso humano es uno de los grandes desafíos para este tipo de organizaciones en todo el mundo (Sagenmüller, 2018a). El cual, si se realiza correctamente puede aumentar los índices de eficiencia interna y calidad educativa de la institución, además, es un

aspecto altamente influyente en el clima institucional y el éxito de las actividades que en su interior se realizan (Esquivel, 2015).

Muchos planteles de Educación Superior no cuentan con un sistema formal para realizar esta asignación y los hacen en forma manual (Sagenmüller, 2018a). En la mayoría de los casos a prueba y error, esta es la forma más tradicional, en la cual se realizan los cambios pertinentes de asignaturas, docentes y aulas. Ya que ha sido desde tiempos inmemorables el método que los conduce a los mejores resultados en relación con los objetivos que se pretenden alcanzar.

La distribución de clases es una actividad altamente demandante en esfuerzo y tiempo, puesto que puede llevarle días e incluso semanas al personal administrativo encargado de esta labor en llegar al objetivo deseado.

A consecuencia de que esta asignación no considera factores tales como la disponibilidad horaria de los docentes, la capacidad de las aulas, las horas muertas de los docentes y las clases, los traslados entre sedes, los ritmos cognitivos de los alumnos, entre otras cosas, el resultado obtenido se limita a ser una solución que beneficia únicamente los requerimientos de la institución en cuestión, además de que no existe una optimización de espacios y recursos.

Aunado a esto, la asignación resultante se toma como base para los periodos siguientes, es decir, se repite de forma indefinida y solo se modifica en ciertos casos derivados de la insatisfacción de docentes y alumnos. Sin embargo, una asignación debe realizarse con un efecto acíclico puesto que cada periodo se modifican los requerimientos de todos los involucrados en el proceso enseñanza-aprendizaje.

Es importante que las instituciones adopten el uso de nuevas técnicas, herramientas de gestión y métodos, basados en las nuevas tecnologías e inspirados en los nuevos enfoques organizativos (Carrasco, 2000). Debido a que la eficacia del método tradicional ha ido disminuyendo con el paso del tiempo, gracias a las constantes exigencias de la sociedad de una educación de calidad.

Por esta razón, sería ideal que las instituciones educativas consideren la opción de contar con una solución automatizada que les permita resolver este tipo de problemáticas, gestionando de forma eficiente los costos, reduciendo los conflictos de horarios y optimizando el uso de la infraestructura y recursos humanos, con el fin de obtener mejoras en la satisfacción, calidad, productividad, rentabilidad y reputación de un plantel de Educación Superior(Sagenmüller, 2018a).

## 1.5 METODOLOGÍA

Para abordar la problemática de la asignación de horarios en instituciones universitarias se hizo uso de la metodología presentada en la figura 1.5:

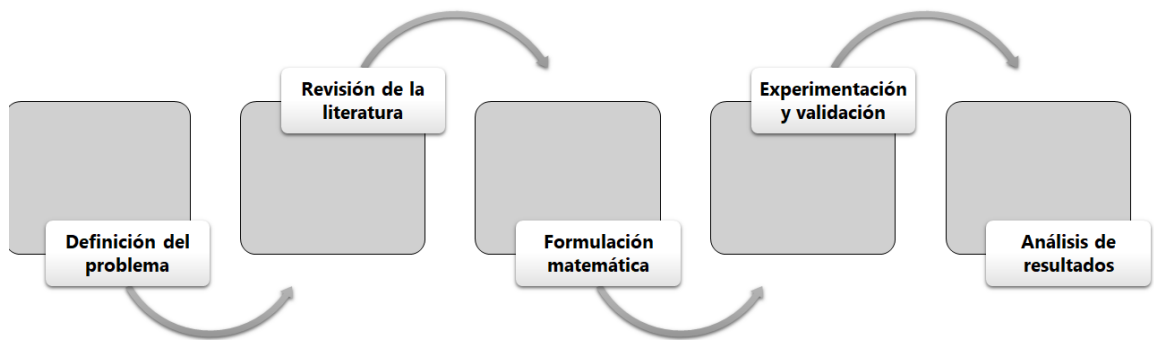


Figura 1.1: Metodología del trabajo de investigación

- El primer paso para la elaboración de este trabajo fue la definición del problema a abordar, en donde se consideró una problemática a resolver dentro del área de logística con los recursos que se tenían a disposición.
- Se realizó una revisión de la literatura para encontrar las áreas de oportunidad de este trabajo, así como artículos que pudieran servir como base y sustento del mismo.
- Se eligió el método más conveniente para resolver el problema con base a la revisión de literatura, considerando las características particulares del mismo.



Decidiendo que lo más apropiado es hacer uso de un modelo matemático de programación lineal entera.

- Como siguiente paso se formuló el modelo matemático que se usó como herramienta para resolver el problema de asignación de horarios, haciendo una adaptación de modelos encontrados en literatura y agregando características especiales del caso de estudio.
- Teniendo la formulación se comenzó con la validación del mismo, haciendo uso de información encontrada en artículos relacionados a este trabajo.
- Se tomó la información del caso de estudio, alimentando el modelo con diferentes instancias dentro del mismo.

## 1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

El presente documento se organiza de la siguiente manera:

En el Capítulo 2 se definen de manera concreta cada uno de los conceptos relacionados a la problemática a tratar pasando desde la gestión de la educación, la planeación académica, la calidad educativa y como ésta se ve afectada por la programación de horarios hasta algunas de las estrategias para abordar la problemática que se presenta periodo tras periodo dentro de las instituciones educativas. Además, se detallan algunos de los antecedentes de la problemática a tratar.

El Capítulo 3 contiene la formulación del modelo integral y la formulación del modelo de dos fases, que se va a utilizar para resolver el problema de asignación de horarios universitarios, en el cual se toman en cuenta características para aumentar la calidad de la educación ofertada en la institución, entendiendo que esta calidad se encuentra directamente relacionada con la satisfacción de cada uno de los involucrados en el sistema educativo.

---

El Capítulo 4 muestra la aplicación del modelo de programación lineal en diferentes instancias, se explica el alcance del modelo integral y se explican a detalle las razones que llevaron a descomponer este modelo en dos fases.

El Capítulo 5 muestra los resultados obtenidos para un caso de estudio, el cual se centra en realizar la asignación de horarios de la carrera de Licenciado en Biotecnología Genómica dentro de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, la cual cuenta con 78 unidades de aprendizaje y 34 grupos de los 10 semestres, la distribución de las clases se puede realizar en cualquiera de las aulas y en 10 laboratorios, distribuidos en ambas sedes, además se cuenta con un total de 115 docentes disponibles, de los cuales, 45 son docentes de tiempo completo, 10 de tiempo parcial y 60 docentes por horas.

Por último, el Capítulo 6 muestra las conclusiones, contribuciones del proyecto y algunas recomendaciones para posibles trabajos futuros.

## CAPÍTULO 2

# ANTECEDENTES

---

El conocimiento ha ocupado siempre el lugar central del crecimiento económico y de la elevación progresiva del bienestar social. La capacidad de inventar e innovar, es decir, de crear nuevos conocimientos y nuevas ideas que se materializan luego en productos, procedimientos y organizaciones, ha alimentado históricamente al desarrollo.

En todo tiempo han existido organizaciones eficaces en la creación y difusión de conocimientos (David y Foray, 2002). Entendiéndose por organización a aquel sistema conformado por personas y recursos de diversa naturaleza que mantienen relaciones con otras personas y organizaciones externas fundamentales para su supervivencia (Carrasco, 2000).

Los organismos encargados de la difusión de estos conocimientos son las instituciones educativas tanto del sector público como privado, en quienes recae la responsabilidad de generar y difundir el conocimiento para su posterior uso en la sociedad. Esto se puede ver como un proceso de producción mediante el cual un individuo adquiere conocimientos y destrezas hasta convertirse en un profesionalista quien será capaz de vender en el mercado (que en este caso serían las empresas y organizaciones) las capacidades, competencias, habilidades y destrezas adquiridas.

El proceso en el que al individuo se le suministra lo antes mencionado, se

conoce como educación. Así, el servicio que se oferta en estas instituciones educativas determina la capacidad de competir con éxito y de afrontar los desafíos que se planteen en el futuro, esta educación permite que el mercado abra sus puertas a los nuevos profesionistas, quienes serán mayormente valorados en términos de la habilidad que este tenga para transformar todo lo adquirido a lo largo del proceso en dinero y nuevas estrategias.

De esta manera, una institución educativa se puede ver como una *fábrica del saber* (Sáenz de Miera, 1998) en donde, se crea y distribuye la educación, y para lograr manufacturar dicho producto el docente cumple con el rol de obrero de línea que trabaja con conocimientos básicos de los estudiantes, mismos que fueron obtenidos por procesos anteriores, y mediante la herramienta esencial de este proceso, es decir, su propio conocimiento, el cual transmite en forma de explicaciones, actividades, cuestionamientos, evaluaciones y material didáctico, va transformando estos conocimientos básicos a conocimientos más especializados, además aporta una mayor cantidad de competencias, mismos que el alumno podrá ofertar al mercado.

Para asegurar que este producto que se ofrece al consumidor sea de calidad, es determinante que todos los procesos por los que se pasa con el fin de obtenerlo sean de calidad. Por lo que, es necesario que estas organizaciones se mantengan actualizadas en las nuevas necesidades del mercado, ya que las decisiones que se toman ahora no producirán los mismos resultados en el futuro debido al constante cambio de la sociedad.

Claro ejemplo de los cambios que se han presentado en la actualidad es la introducción al sistema de las nuevas tecnologías, herramientas que son de gran ayuda con el manejo de la información y la toma de decisiones, sin embargo, las organizaciones que han decidido hacer uso de estas importantes herramientas han tenido que adecuar los pasados enfoques a las nuevas realidades cambiando sus objetivos, sus actividades e incluso la filosofía o los enfoques de gestión (Carrasco, 2000).

## 2.1 GESTIÓN DE LA EDUCACIÓN

La Real Academia Española define la gestión como la «acción de ocuparse de la administración, organización y funcionamiento de una empresa, actividad económica u organismo». Mientras que Godino *et al.* (2015) la definen como el «proceso mediante el cual se persigue la construcción de un escenario factible, que garantice el logro de los objetivos que se plantean, en función de una determinada visión y misión». De esta manera se puede definir a la gestión educativa como un proceso en el que los directivos de la institución realizan una toma de decisiones para apoyar el trabajo del personal académico y administrativo, para brindar a los alumnos una educación de calidad.

Dicha toma de decisiones busca la eficiencia económica, la eficacia pedagógica, la efectividad política y la relevancia cultural de la institución. Estas decisiones se toman desde las fases de planeación hasta las de evaluación, pasando por procesos intermedios de organización, asignación de recursos, implementación de procesos, entre otras cosas (Valenzuela *et al.*, 2009).

### 2.1.1 PLANEACIÓN EDUCATIVA

La planeación es un proceso administrativo que permite definir qué hacer, con qué recursos y con qué estrategias. Este proceso ayuda a los directivos de la institución a organizar una serie de actividades que ayudan a cumplir los fines, objetivos y metas de la educación.

Dicha planeación consiste en elaborar un plan detallado de como se van a llevar a cabo las actividades que se pretenden realizar. Para llegar a esta planificación, se debe pasar por las siguientes etapas:

- **Análisis del sistema:** se revisan las variables internas y externas de las or-

ganizaciones para tomar decisiones. Se analizan debilidades y fortalezas para detectar problemas y áreas de oportunidad.

- **Planeación de fines:** se definen los propósitos, los objetivos y las metas.
- **Planeación de medios:** se determinan las estrategias para cumplir los objetivos y llegar a las metas.
- **Planeación de recursos:** definir con que recursos económicos, materiales y humanos se cuenta, determinar lo que se necesita de cada uno de ellos y cuáles son viables de conseguir.
- **Planeación organizacional:** dar orden y coherencia a las acciones.
- **Planeación operativa:** programar las actividades a realizar y organizarlas en el tiempo.
- **Evaluación y seguimiento de los resultados:** controlar y retroalimentar el proceso.

#### 2.1.1.1 PLANEACIÓN DE RECURSOS

Sagenmüller (2018b) considera de gran importancia que después de haber definido los recursos necesarios para satisfacer las necesidades de la institución, se realice una programación que siga un proceso alineado a los objetivos y metas de la institución, además de que permita la satisfacción del personal docente, con el fin de crear un estado emocional positivo que se vea reflejado en un trabajo de calidad, de esta manera se logrará proveer a la sociedad de una enseñanza de calidad. Mientras que una programación ineficiente perjudica el clima educativo teniendo como resultado docentes que trabajan en horarios, asignaturas o jornadas inadecuados, lo que afecta su rendimiento y se traduce en una enseñanza de mala calidad.

Además, menciona que las etapas para la realización de una correcta programación son las que se describen a continuación:

1. Conocer la disponibilidad horaria y la preferencia de cada docente en cuanto a la impartición de unidades de aprendizaje.
2. Analizar y compatibilizar la cantidad de grupos, unidades de aprendizaje, el horario disponible y la infraestructura con la disponibilidad de cada uno de los docentes.
3. Considerar comentarios de cada uno de los docentes.
4. Entrega de la propuesta final.

Es importante que quienes dirigen las instituciones conozcan el proceso de planeación y sepan cabalmente el propósito que conlleva, dado que un buen manejo de los planes, reduce el impacto del cambio, elimina la improvisación, minimiza la redundancia, optimiza los recursos que la organización dispone y facilita la aplicación de los estándares de control (Universidad Católica Boliviana de San Pablo, 2007), lo que se traduce en un aumento en la calidad educativa.

## 2.2 CALIDAD

La Real Academia Española define la calidad como «la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permite apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su misma especie». Por su parte Ishikawa (1985) considera que «Trabajar en calidad consiste en diseñar, producir y servir un bien o servicio que sea útil, lo más económico posible y siempre satisfactorio para el usuario».

De esta manera se puede deducir que la calidad, es un objetivo fundamental de cualquier actividad económica, la cual se ha vuelto una estrategia de competitividad. Para que exista la calidad en una organización es necesario que exista una adecuada planificación de todas sus acciones y actividades y una correcta gestión de todos los recursos materiales y humanos (Millet, 2011).

Por su parte, la calidad educativa o calidad de la educación es un tema que con el paso del tiempo ha ido cobrando importancia y ha sido el centro del discurso pedagógico, en el cual se coloca a la calidad de la educación como el objetivo principal de cuanta acción educativa se proponga o se lleve adelante, ya sea mediante cualquier proceso de cambio o plan de mejora. Esta tiene como pilares básicos la eficacia y la eficiencia (Palacios, 1996).

Para poder cuantificar esta calidad se requiere conocer una serie de aspectos relacionados con la organización, gestión, dirección, resultados académicos, entre otras cosas, para ello se debe disponer de distintos indicadores con el fin de determinar si esta calidad educativa se encuentra presente y en que nivel (Rodríguez, 2010).

### 2.2.1 CALIDAD EDUCATIVA

«Es evidente que la educación no puede entenderse como un producto físico o manufacturado, sino, como un servicio que se presta a los alumnos» (Palacios, 1996). Pero al igual que ocurre con otros servicios, la calidad de este servicio puede ser medida, sin embargo, es difícil de describir.

La calidad educativa elude una definición precisa, no obstante, existe un cierto consenso en el que se entiende que la educación de calidad depende de múltiples variables, es un concepto complejo y totalizante, ya que abarca tanto la calidad del docente, de los aprendizajes, la infraestructura y de los procesos, un medio ambiente que sea auténtico promotor del aprendizaje, la atinada gestión de la institución educativa, entre otras cosas (Valenzuela *et al.*, 2009).

En esta calidad, lo esencial no se encuentra en el servicio o resultado, sino en la satisfacción de los involucrados en el proceso educativo, que son quienes la determinan (Juste *et al.*, 2000), depende principalmente de las acciones técnico-pedagógicas que permitan mejorar la productividad de actores e instituciones, de la capacidad que tengan estos últimos para interactuar y consolidar redes de aprendizaje que



fortalezcan la capacidad científico-tecnológica de un territorio, e incrementen la productividad y competitividad de las organizaciones industriales a través del desarrollo continuo de innovaciones (Jiménez, 2013).

Una forma de medir la calidad de una institución educativa es viéndola desde la perspectiva de un problema de mercado, en el cual, mediante una relación entre la oferta y la demanda, se trata de generar situaciones de competencia que permitan diferenciar la calidad de la educación que brindan las distintas instituciones escolares. De esta manera será el cliente quien, al elegir la escuela, determine a que nivel de calidad aspira acceder.

Desde la implementación de un programa innovador, hasta la operación diaria de la institución, cada decisión que los directores toman tiene un impacto en la calidad del servicio ofertado por dicha institución, por esta razón cada decisión se debe tomar tratando de asegurar hasta donde sea posible, una mayor efectividad en el logro de las metas institucionales y una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los recursos con los que se cuenta.

En ese sentido, la evaluación de instituciones educativas juega un papel fundamental para proveer de información completa, fidedigna y oportuna a quienes toman decisiones y están a cargo de la gestión en la institución (Valenzuela *et al.*, 2009).

### 2.2.2 INDICADORES DE CALIDAD EDUCATIVA

Una manera de evaluar la calidad ofertada por las instituciones es entendiendo que estas organizaciones no son tan diferentes a una empresa, por lo que es posible traducir las finalidades de la institución en términos de una misión, que a su vez es posible traducir en estrategias, objetivos y metas susceptibles a evaluación (Godino *et al.*, 2015).

Mismas que se pueden medir mediante indicadores de calidad, los cuales son

«medidas estadísticas basadas en cifras o ratios que se utilizan como criterio para juzgar y evaluar el desempeño de una organización, un sistema o un proceso» (EAE business school, 2017). Por su parte García (2007) definen un indicador de calidad en el sector educativo como «una proposición que identifica un rasgo o característica empírica observable, que permite la medida estadística de un concepto o de una dimensión de este, basado en un análisis teórico previo, e integrado en un sistema coherente de proposiciones vinculadas, cuyo análisis puede orientarse a describir, comparar, explicar o prever hechos». Mientras que ? señalan que los indicadores educativos son «estadísticas que permiten realizar juicios de valor sobre la pertinencia de los aspectos clave del funcionamiento de los sistemas educativos; constituyen características mesurables de estos y aspiran a medir aspectos fundamentales». Estos proporcionan un panorama de las condiciones actuales del sistema educativo, sin describirlo a fondo y se espera que a través de ellos sea posible establecer inferencias acerca de la calidad de la enseñanza.

Para la construcción de una lista de indicadores, es necesario identificar la meta de la institución educativa, de manera que se puedan alinear los indicadores de acuerdo con los objetivos que se deseen evaluar, dentro de los cuales se pueden encontrar, entre muchos otros, la mejora de la calidad educativa, y la consolidación de la eficiencia interna del sistema (García *et al.*, 2014).

Cualquier institución educativa requiere establecer indicadores de calidad que ayuden a los tomadores de decisiones a elaborar su planeación estratégica, ya que estos indicadores aportan datos que permiten conocer información relevante para el perfeccionamiento de la calidad educativa.

Algunos de los indicadores que se pueden utilizar para medir esta calidad están relacionados con la satisfacción de todos los involucrados en el sistema educativo, es decir:

- **La satisfacción del personal docente:** El éxito o fracaso de una institución depende en gran medida del recurso humano con el que se dispone, debido a

que de ellos depende el funcionamiento de la organización. En el caso de las instituciones el personal docente es el recurso de mayor valor. Para que este importante recurso sea productivo, eficiente y se comprometa al máximo es trascendental que la institución se preocupe por el bienestar de cada uno de sus trabajadores, principalmente por su felicidad, su realización personal, su desarrollo y su satisfacción, es decir, que desarrolle un estado de ánimo positivo como resultado de sus experiencias laborales (Jiménez, 2013).

En el caso de los docentes de una institución educativa, esta satisfacción se puede lograr cuando se toman en cuenta las preferencias, deseos y necesidades de cada uno de ellos, trayendo como consecuencia una gran satisfacción y motivación por parte de cada uno de los docentes, logrando una mejora en la calidad educativa (Hernández, 2009).

- **La satisfacción de la institución:** Cualquier organización busca siempre hacer el mejor uso de todos los recursos con los que cuenta, las instituciones educativas no son la excepción, ya que estas buscan conseguir un mejor aprovechamiento de los recursos; para esto se requiere la organización del personal docente, los horarios y la infraestructura de la forma más eficiente posible, lo que tenderá a lograr un mejor desempeño de los estudiantes y docentes (Enríquez *et al.*, 2007), logrando así una mejora significativa en la calidad ofertada en la institución.
- **La satisfacción de los alumnos:** Esta se puede medir mediante los ritmos cognitivos.

**Ritmos cognitivos:** El conocimiento, las habilidades y los valores que se adquieren en las instituciones educativas son fundamentales para ser capaces de cumplir las metas personales de cada uno y así llegar a una satisfacción personal.

De esta manera, los alumnos asisten regularmente a clases con la intención de

adquirir una educación de calidad, sin embargo, uno de los principales obstáculos a la hora de asistir a clase a adquirir nuevos conocimientos es su capacidad para prestar una buena atención (Vargas, 2017), ya que durante el día los procesos atencionales se ven afectados por los ritmos normales del organismo, lo cual llega a ser contraproducente en ciertas situaciones (Ramírez, 2005).

Todas las actividades derivadas de diversas funciones cerebrales, muestran momentos de mayor activación durante ciertas horas del día. Por lo que, existen momentos del día en los cuales los procesos cognitivos de los estudiantes presentan mayor o menor activación. En un estudio realizado por Hederich y Camargo (2005) se determinó que existen horarios que podrían resultar contraproducentes para la enseñanza y el aprendizaje de los alumnos.

Entre los resultados presentados se establece que las primeras horas de la mañana o primeras horas de la tarde son los horarios más difíciles para las actividades que involucren la comprensión de contenidos complejos, ya que presentan los más bajos rendimientos, tanto en control atencional como en activación. Mientras que las últimas horas de la jornada presentan un comportamiento similar, debido a que se consideran poco apropiadas para todas aquellas actividades tengan altos requerimientos de control atencional, que requieran una actividad intelectual sostenida y compleja, pero resultan ideales para trabajos con un alto componente motor.

De esta manera los momentos ideales para el trabajo intelectualmente exigente se sitúan a la mitad de la jornada. En estos momentos, los niveles de activación son relativamente elevados y los de control están en sus niveles ideales.

Por su parte Vargas (2017) muestra que los horarios de mayor activación son de las 8:00 a las 10:00 horas y de las 16:00 a las 18:00 horas. Mientras que los horarios de menor activación cerebral se encuentran de las 6:00 a las 8:00 horas y de las 12:00 a las 14:00 horas.

Debido a lo cual podemos concluir que las horas del día son un factor influyente tanto en el rendimiento de las personas como al momento de aprender una tarea

nueva. Si se sabe el momento de la jornada en que las actividades derivadas de las funciones cerebrales se encuentran en su mejor momento, puede acomodarse el horario escolar de forma que las capacidades del alumno se aprovechen al máximo y su desempeño escolar se vea beneficiado, logrando cumplir de la mejor manera con el objetivo de adquirir nuevos conocimientos, ocasionando un incremento en la satisfacción con el servicio ofertado por la institución.

Es importante considerar la satisfacción de los involucrados en el proceso educativo, ya que esta última tiene efectos significativos sobre el rendimiento, la velocidad de aprendizaje, el absentismo, la cantidad de reclamaciones y quejas, el bienestar físico y mental, entre otras cosas (Anaya y Suárez, 2004).

Para lograr ser una institución de calidad, capaz de competir con las mejores instituciones educativas, es importante una correcta gestión de la educación, es decir, realizar acciones que ayuden a la institución a ser competitiva, por ejemplo, la correcta planeación de los procesos educativos, entre los que se encuentra la asignación de horarios (Canseco *et al.*, 2016).

Esquivel (2015) menciona que una adecuada programación de horarios se refleja en factores como:

- **Eficiencia:** hacer el uso correcto de los recursos para el proceso enseñanza-aprendizaje contribuye a que la institución asegure la disponibilidad adecuada de docentes, en el lugar y momento correcto, con un menor costo, para ofrecer el servicio correcto y cumplir con las metas de la institución (Canseco *et al.*, 2016).
- **Servicio educativo:** realizar una programación de horarios teniendo en cuenta las limitaciones y los deseos de los docentes llevará a una respuesta afectiva al trabajo, canalizando todos sus esfuerzo a lograr el alcance de los objetivos institucionales.
- **Clima institucional:** El capital humano es el elemento esencial de toda orga-

nización (Hernández, 2009), en el caso de las instituciones educativas el cuerpo docente es el activo de mayor valor, es el recurso más importante que poseen este tipo de organizaciones. Su buen manejo contribuye al logro de los objetivos y a la creación de un buen clima organizacional. Por eso es, importante realizar una asignación de horarios enfocado a la satisfacción de los requerimientos de los docentes, de tal forma que beneficie sus necesidades y desempeño laboral, evitando de esta manera estrés, inconformidad, etc.

Por lo que, hacer el mejor uso de los recursos disponibles en una institución educativa es necesario para su correcto funcionamiento. La utilización de una herramienta que considere aspectos que a simple vista no se pueden analizar con el fin de poder apoyar a la toma de decisiones es de vital importancia, dentro de estas herramientas se encuentra la investigación de operaciones.

## 2.3 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

La investigación de operaciones nació con el fin de tratar problemas complejos de optimización. Se puede definir como la aplicación del método científico como herramienta de ayuda en la toma de decisiones y gestión de diversos sistemas, teniendo como principal característica la construcción de un modelo, por lo general matemático, que represente lo mejor posible el sistema a tratar, de manera que se pueda predecir el comportamiento de este sistema para ayudar al personal responsable a determinar la forma más eficiente de actuar, con la finalidad de conseguir la satisfacción de un objetivo específico deseado.

Los profesionales de la investigación de operaciones colaboran con los responsables de los sistemas en el diseño y mejora de las operaciones y decisiones; resuelven problemas y ayudan en las funciones de gestión, planificación o predicción; aportan conocimiento y ayuda en la toma de decisiones. Su trabajo normalmente consiste en recoger y analizar datos, desarrollar y probar modelos matemáticos, interpretar la

información y proponer soluciones o recomendaciones.

La investigación de operaciones surge cuando el economista Quesnay empieza a utilizar modelos primitivos de programación matemática en los años 1759. Sin embargo, cuando comenzó a tomar auge fue durante la segunda guerra mundial (Witenberg, 1999), donde se asignó a un grupo de científicos ingleses para la ayuda en la toma de decisiones logísticas. Primeramente, en la logística estratégica para vencer al enemigo, lo que permitió una mejor utilización de los recursos con los que se contaba, como el radar, armas y calculadoras mecánicas para artillería antiaérea. Al finalizar la guerra, apoyaron en las decisiones de la logística de distribución de todos los recursos militares de los aliados dispersos por todo el mundo, ya que antes de la implementación de las herramientas cuantitativas se estaba consumiendo una gran cantidad de recursos humanos, financieros y materiales. Al observar el éxito obtenido mediante las ideas formuladas en operaciones militares, estas herramientas fueron adaptadas para mejorar la eficiencia y la productividad en el sector civil (Taha, 2004). De esta manera surgió un nuevo campo de las matemáticas, la investigación de operaciones, llamado así, debido a que su primer uso fue el de investigar las operaciones militares.

Las fases principales de la implementación de la investigación de operaciones en la práctica según Taha (2004) comprenden:

- La **definición del problema**. En esta fase se define el alcance del problema a resolver, es aquí donde se define el objetivo del estudio, las especificaciones o limitaciones bajo las cuales funciona el sistema que se modelará y la descripción de las alternativas de decisión.
- La **construcción del modelo**. En esta parte del proceso se traduce el problema a tratar a un modelo matemático que lo represente.
- La **solución del modelo**. Fase en la cual se hace uso de los algoritmos ya definidos en la investigación de operaciones, para resolver el modelo planteado.

- La **validación del modelo**. Después de obtener la solución, es importante comprobar si el modelo propuesto hace lo que se quiere que haga. Un método frecuente para comprobar la validez de un modelo es comparar su resultado con datos históricos. El modelo es válido si, bajo condiciones de datos semejantes, reproduce el funcionamiento en el pasado.
- La **implementación de la solución**. Implica la traducción de los resultados a instrucciones de operación, emitidas en forma comprensible para las personas que administrarán al sistema recomendado.

De las cinco fases, sólo la número tres de la solución del modelo es la que está mejor definida en un estudio de investigación de operaciones, porque maneja principalmente algoritmos ya definidos. La implementación de las demás fases es más un arte que una teoría, ya que el éxito de todas las fases que anteceden y siguen a la resolución del modelo matemático depende mucho de la creatividad y la experiencia de quien las implementa.

Aunque los modelos de investigación de operaciones deben optimizar determinado objetivo sujeto a un conjunto de restricciones, la calidad de la solución que se obtenga depende de la exactitud del modelo para representar el sistema real.

### 2.3.1 PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA

La programación matemática es una técnica de modelado usada en los procesos de toma de decisiones. Cuando se trata de resolver un problema de toma de decisiones, se encuentran tres etapas descritas por Hillier y Lieberman (2006):

- **Primera etapa**: consiste en identificar las posibles decisiones que pueden tomarse; esto lleva a identificar las variables del problema. Normalmente, las variables son de carácter cuantitativo y se buscan los valores que optimizan el objetivo.



- **Segunda etapa:** supone determinar que decisiones resultan admisibles; esto conduce a un conjunto de restricciones que se determinan teniendo presente la naturaleza del problema en cuestión.
- **Tercera etapa:** radica en calcular el costo/beneficio asociado a cada decisión admisible; esto supone determinar una función objetivo que asigna, a cada conjunto posible de valores para las variables que determinan una decisión, un valor de costo/beneficio.

Algunos de los campos de la programación matemática son: *Programación dinámica, Programación por metas, Programación estocástica, Programación no lineal y Programación lineal.*

#### 2.3.1.1 PROGRAMACIÓN LINEAL

La programación lineal es una técnica racional de análisis y de resolución de problemas que tiene por objeto ayudar a los responsables en las decisiones sobre asuntos en los que interviene un gran número de variables. Esta técnica es una parte de la programación matemática, y una de las técnicas más importantes de la investigación de operaciones. Se utiliza en campos como la ingeniería, la economía, la gestión, y muchas otras áreas de la ciencia, la técnica y la industria. Cualquier problema de programación lineal requiere identificar cuatro componentes básicos:

1. El conjunto de datos.
2. El conjunto de variables involucradas en el problema.
3. El conjunto de restricciones lineales del problema que definen el conjunto de soluciones admisibles, las cuales pueden ser:
  - **Restricciones duras (obligatorias):** Son aquellas restricciones que deben cumplirse, la violación de alguna de este tipo de restricciones originará una solución no factible.

- **Restricciones blandas (deseables):** Son restricciones que denotan preferencias de quien las establece, se desea que se cumplan en la medida de lo posible, sin embargo, no es necesario satisfacerlas, la violación de este tipo de restricciones generará una solución factible, pero de menor calidad que si se cumplieran todas.

4. La función objetivo que debe ser optimizada (minimizada o maximizada).

Su objetivo principal es optimizar, ya sea, minimizar o maximizar una función lineal de  $n$  variables sujeto a un cierto número de restricciones. Esta técnica busca encontrar la solución óptima que satisfaga las restricciones planteadas.

### 2.3.1.2 PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

La programación lineal entera, al igual que la programación lineal es una técnica de análisis y resolución de problemas, la cual cuenta con los mismos cuatro componentes que la programación lineal, sin embargo, difiere en que las variables involucradas en el sistema deben tomar valores estrictamente enteros. Los problemas de programación lineal entera al ser resueltos tienden a generar un costo computacional mucho más elevado que la resolución de los problemas de programación lineal, debido a que los problemas de programación lineal pueden encontrar una solución óptima utilizando un algoritmo polinomial, es decir, haciendo uso de un algoritmo que consta de un número de operaciones acotadas por una función polinomial, a este tipo de problemas se les considera parte de la clase **P** (Polinomiales). Mientras que algunos de los problemas de programación lineal entera son **NP** (No Polinomiales).

### 2.3.2 SOLUCIÓN

Al resolver un modelo matemático, se pueden presentar diversos casos, los cuales se describen a continuación:

- **Solución infactible:** es el tipo de solución que no satisface al menos una de las restricciones del modelo.
- **Solución factible:** es aquella solución que satisface todas las restricciones del modelo.
- **Solución óptima:** es aquella solución que además de ser factible, arroja el mejor resultado de la función objetivo el cual puede ser máximo o mínimo, dependiendo el caso.

### 2.3.3 MÉTODOS DE SOLUCIÓN

Para resolver los problemas de programación lineal entera, es decir, encontrar la mejor solución posible del problema formulado en lenguaje matemático se aplican diferentes métodos, los cuales se pueden clasificar en:

- **Métodos exactos:** son métodos que garantizan una solución óptima del problema, pero normalmente requieren de un tiempo computacional muy prolongado, por lo que este tipo de métodos resultan adecuados para instancias pequeñas.
- **Métodos de aproximación:** son métodos que no encuentran todas las soluciones posibles, si no, que acotan el espacio de búsqueda, por esta razón son muy utilizados en la literatura para problemas con instancias muy grandes. Entre este tipo de métodos se encuentran las heurísticas y metaheurísticas.
  - **Método heurístico:** «Procedimiento para resolver un problema de optimización bien definido mediante una aproximación intuitiva, en la que la estructura del problema se utiliza de forma inteligente para obtener una buena solución» (Díaz *et al.*, 1996)Algunas de las razones que se pueden destacar en Díaz *et al.* (1996); Márquez (2012) para hacer uso de un método heurístico son:

- No se puede aplicar un método exacto para la resolución de un problema ya que este método no se conoce, no existe o requiere demasiados recursos.
  - El recurso demandado por el método es demasiado elevado y se encuentra fuera del alcance de quien lo analiza.
  - Se puede hacer la incorporación de condiciones de difícil modelización dentro de los métodos exactos.
  - La solución planteada no requiere una solución óptima.
  - Se usa como punto de partida para la aplicación de otros algoritmos.
- **Metaheurística:** «Método aproximado diseñado para resolver un problema de optimización combinatoria, en el cual el método heurístico clásico ya no es efectivo. Los Metaheurísticos proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de la inteligencia artificial, la evolución biológica y los mecanismos estadísticos» (Osman y Kelly, 1996). Estos métodos están diseñados para encontrar buenas soluciones y se basan principalmente en explorar el espacio de soluciones buscando eficientemente una solución cercana a la óptima.
- **Simulación:** es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para su funcionamiento.

## 2.4 PROBLEMA DE ASIGNACIÓN

La planeación de actividades es de vital importancia en todas las empresas e instituciones del sector público o privado las cuales buscan administrar el uso efectivo de sus recursos para lograr satisfacer sus necesidades. En dichas organizaciones la asignación de recursos es un problema muy común al cual se enfrentan día con

día, ya que diariamente es necesaria una múltiple toma de decisiones en torno a factores tales como el uso óptimo de sus recursos físicos, procesos de distribución y producción, entre otras cosas.

Con la finalidad de resolver esta problemática surge el problema de asignación de horarios, el cual se utiliza en distintas áreas para regular diferentes operaciones donde sea necesaria una ubicación de una herramienta en un sitio determinado en una hora específica, por ejemplo, en el transporte, en la educación, en la salud, en el entretenimiento, etc.

Wren (1995) define el problema de asignación de horarios como aquel que «consiste en la disposición de objetos dentro de un horario establecido, siguiendo un patrón en el tiempo o el espacio, de tal manera que se logre el cumplimiento de unos objetivos determinados y que las restricciones sobre la forma en que se deben disponer dichos objetos se satisfagan».

De esta manera se identifican tres elementos esenciales dentro de cualquier problema de asignación de horarios:

- **Objeto:** se refiere al recurso a organizar o disponer, los cuales pueden ser personas, máquinas, vehículos, clases, trabajos en una fábrica, etcétera.
- **Horario:** periodo de tiempo definido por su hora de inicio y su duración, en el cual los objetos están interactuando.
- **Patrón:** orden que deben seguir los eventos con recursos limitados y se crea como parte del proceso de programación.
- **Restricciones:** se definen como las relaciones tangibles o intangibles entre objetos y representan las reglas impuestas en un periodo de tiempo que se deben seguir.

Una de las clasificaciones más comunes que se pueden encontrar para los problemas de asignación de horarios de acuerdo con la caracterización hecha por Wren

(1995) es la siguiente:

- ***Rostering***: ubicación de algunos recursos siguiendo un cierto patrón, sujeta a un cierto número de restricciones, en la que se busca minimizar algún objetivo o simplemente obtener una asignación factible.
- ***Sequencing***: construcción (sujeta a una serie de restricciones) de un orden en el cual una serie de tareas o eventos deben ser llevados a cabo.
- ***Scheduling***: proceso de ubicar una tarea o evento en particular en el lugar y momento correcto, de tal manera que se minimice el costo total de los recursos utilizados.
- ***Timetabling***: asignación de una tarea o evento en particular en el momento en el cual debe ser llevado a cabo, de tal manera que se satisfaga en su mayoría un conjunto de objetivos deseados.

Es importante destacar que la diferencia entre *timetabling* y *scheduling* radica en que *timetabling* se enfoca a la programación de horarios directamente relacionada con recursos, mientras que *scheduling* a la reducción de costos mediante una programación de horarios eficiente (Canseco *et al.*, 2016).

El problema de asignación de horarios tiene un gran alcance, ya que su aplicación se puede ver reflejada en muchas áreas, algunos de los ejemplos de estas aplicaciones son los que se describen a continuación:

En el área de entretenimiento, específicamente en la asignación de partidos de fútbol, Nazareno y López (2013) presentan un trabajo en el cual se plantea un modelo matemático basado en programación entera, el cual fue resuelto por medio de GAMS. Este modelo tiene como objetivo minimizar el número de *breaks*, es decir, minimizar el número de veces que un equipo juegue de forma consecutiva ya sea como local o visitante, debido a que se busca que todos los equipos jueguen de forma alternada como local o visitante en fechas seguidas.

Pradenas y Matamala (2012) optaron por aplicar el problema de asignación de horarios en el área de la salud, en su trabajo presentan un modelo de optimización multi-objetivo que busca realizar una programación eficiente de las intervenciones quirúrgicas en un hospital de forma semanal, para el cual se desea la satisfacción de tres objetivos, la maximización de la suma de los valores de urgencia de cada una de las intervenciones, la suma de los tiempos de espera acumulados por las cirugías candidatas y la suma del número de cirugías realizadas. Este modelo fue resuelto con ayuda de un algoritmo genético.

En cuanto al área de transporte, Cavada *et al.* (2012) presentan un trabajo en el que se describe la planificación de turnos y generación de tareas de operarios de carruseles en un aeropuerto internacional. Esta planificación se basa en la resolución de dos modelos de programación lineal entera mixta, los cuales fueron resueltos de forma secuencial, ambos problemas fueron resueltos en GAMS. El primer modelo tiene el objetivo de determinar la cantidad mínima de operarios necesarios para la descarga de equipaje, mientras que el segundo modelo busca determinar cual es la mejor combinación que minimice los costos y permita cumplir todas las tareas generadas en el modelo anterior, asimismo, este modelo detalla los horarios y tareas de cada uno de los operarios.

Millán (2016) realizó un trabajo que ayuda a la planificación diaria para el proceso de aprovisionamiento de catering aéreo. Este trabajo se realizó específicamente para el Aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo ubicado en Ecuador, sin embargo, es aplicable en distintos aeropuertos internacionales. Para esta planificación se busca optimizar mediante un algoritmo basado en *Scatter Search* la asignación de recursos, es decir, que los vehículos y los empleados sean asignados a los vuelos de la forma más eficiente.

En cuanto a la atención al cliente, Ojeda (2015) elaboró un modelo de programación lineal, el cual fue validado mediante algoritmos genéticos. Dicho modelo contribuyó a la resolución del problema de asignación de personal a los diferentes

horarios de trabajo de un centro de atención telefónica, minimizando el número de operadores asignados a cada uno de los turnos. Además del diseño del horario, se realizó una comparación de la calidad reflejada gracias al modelo matemático y la calidad obtenida mediante la asignación de los operadores mediante el uso del modelo tradicional, demostrando de esta manera que el modelo matemático minimiza la cantidad de operadores requeridos al mismo tiempo que se ajusta a la curva de demanda.

Otra aplicación de los problemas de asignación de horarios es la presentada en el trabajo realizado por Jara (2011) en el cual se realizó una evaluación y adaptación de un modelo matemático (aplicado en un aeropuerto internacional) para la asignación de oficiales de seguridad a las diferentes zonas que se desean proteger tomando en consideración algunos conceptos de teoría de juegos para determinar las zonas con mayor prioridad de ser cubiertas, y de esta manera determinar donde y cuando colocar una determinada cantidad de oficiales en cierta zona, con el objetivo de tratar de impedir de la forma eficiente la ocurrencia de delitos de robo, robo con fuerza o robo con violencia.

En la Tabla 2.1 se muestran las características de cada uno de los trabajos expuestos en los párrafos anteriores, donde se muestra el área a que pertenece el trabajo de estudio, los autores del mismo, así como el año en el que fueron publicados, la problemática que se trabajó y el método de solución aplicado.

Tabla 2.1: Características de trabajos relacionados

Área	Autor(es)	Año	Problemática	Solución	
				<i>Exacto</i>	<i>Heurístico</i>
Entretenimiento	Nazareno y López	2013	Programación de partidos de fútbol	✓	



Transporte	González	2012	Programación de itinerarios de líneas aéreas	✓
Seguridad	Jara	2011	Asignación de oficiales de seguridad a diferentes zonas	✓
Servicios	Ojeda	2015	Asignación de personal en un centro de atención telefónica	✓
Salud	Pradenas y Matamala	2012	Programación de intervenciones quirúrgicas	✓
Industria	Rivera y Santillana	2015	Asignación de maquinaria en obras de construcción	✓

#### 2.4.1 PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS ACADÉMICOS

Dentro de los problemas de asignación de horarios se puede encontrar el problema de asignación de horarios académicos, el cual según Carter y Laporte (1996) se define como un problema de asignación multi-dimensional, en el que estudiantes y docentes son asignados a las unidades de aprendizaje en ciertas aulas en un periodo de tiempo establecido. Este problema esta dentro de la clasificación de *timetabling*.

Según Franco *et al.* (2008) se derivan 3 diferentes categorías para el problema de asignación de horarios académicos, los cuales se diferencian según el tipo de institución (escuelas de educación básica o universidades) y de eventos (clases o exámenes):

- **Asignación de horarios escolares:** Esta categoría considera la asignación de un horario semanal para las sesiones de las asignaturas de una institución de educación básica (primaria, secundaria) que consiste en asignar las materias

en un periodo de tiempo determinado por la institución, evitando que algún docente tenga asignadas dos clases en un mismo periodo, en esta categoría la jornada escolar se programa de forma continua, además las aulas y los grupos que cursarán la asignatura ya están establecidos (de Werra, 1985).

- **Asignación de horarios universitarios:** En esta categoría se debe organizar un horario para las sesiones de un conjunto de asignaturas, al igual que la categoría anterior, no se permite que un mismo docente este asignado a una materia en un mismo periodo de tiempo, los docentes pueden impartir más de una materia, pero, a diferencia de la asignación anterior, las aulas deben ser asignadas considerando las necesidades de cada una de las asignaturas, ya que algunas de estas aulas no son aptas para las asignaturas. Otra diferencia es que los grupos y la jornada escolar no están establecidos, además de que esta última no es necesariamente continua (de Werra, 1985).
- **Asignación de exámenes:** Consiste en asignar el horario a la aplicación de exámenes en una temporada especial, este tipo de asignación se da en conjunto con la asignación de horarios escolares y la asignación de horarios universitarios.

Entre los trabajos relacionados con la asignación de horarios académicos se encuentran los siguientes:

Canseco *et al.* (2016) realizaron un modelo matemático de programación entera, el cual fue resuelto por la técnica de ramificación y acotamiento, para la asignación de horarios en una institución de educación técnica media en México, el cual se aplicó en una sola carrera, un solo semestre y los cinco días de la semana en el turno matutino, que va de las 7:00 a las 14:00 horas. Este modelo tiene como objetivo maximizar la suma de las asignaciones de los cursos a los grupos en el turno establecido, es decir, maximizar la cantidad de cursos asignados en el horario establecido.

Sarmiento *et al.* (2012) presentaron un modelo de programación lineal entera para la asignación de clases de una sola carrera en una universidad de Colombia,

considerando que dicha asignación se puede realizar en un horario desde las 7:00 hasta las 18:00 horas de lunes a viernes y de las 7:00 a 14:00 horas los sábados. En este modelo se considera que las clases se pueden dictar en bloques de máximo 3 horas, mismas en las que los alumnos no pueden cambiar de salón. Este modelo tiene como objetivo minimizar la suma de todas las posibles asignaciones, considerando además las preferencias de cada profesor en cuanto a la materia que imparte. Debido a que el modelo presenta una gran cantidad de variables, se hizo uso de algunos parámetros auxiliares con el fin de reducir esta cantidad. Además, este modelo se resolvió en dos fases mediante el sistema GAMS. En la primera fase se buscaba encontrar en qué periodo de tiempo asignar cada clase, mientras que en la segunda ya tomando en consideración la asignación realizada en la fase anterior se incluyeron algunas restricciones que aseguraron que las clases impartidas en bloques de más de una hora seguida se impartieran en el mismo salón.

Hernández *et al.* (2008) implementó un modelo de programación lineal entera el cual asigna de manera simultánea los horarios de los cursos y la asignación de las salas en un caso de estudio en la Facultad de Ingeniería de la universidad de Diego Portales. Este modelo asigna simultáneamente dos tipos de clases, las clases cátedra y las clases auxiliares de todos los cursos correspondientes a una semana siguiendo patrones horarios-salas impuestos por la facultad, donde se consideran tanto la disponibilidad de horarios de los profesores como las capacidades de las aulas. Teniendo como objetivo minimizar la cantidad de clases auxiliares que se asignan cualquier día que no sea el miércoles y minimizar la cantidad de cursos asignados al auditorio.

Marín y Maya (2015) presentan un modelo matemático de programación lineal para la obtención de un horario académico en instituciones de educación primaria y secundaria, que asigna las materias a los grupos en las horas más adecuadas para la institución, logrando satisfacer todas las restricciones asociadas a las políticas de la institución, por ejemplo, que ninguna materia debe ser asignada en el mismo grupo más de dos horas diarias y las particularidades de cada uno de los docentes.

La función objetivo busca maximizar la cantidad de bloques que se puedan formar durante la semana.

Esquivel (2015) presentó un modelo de programación lineal que fue resuelto con búsqueda tabú, para la asignación de clases en una institución educativa nivel secundaria la cual cuenta con dos sedes y un horario entre las 6:30 y la 14:30 horas, en dicha institución se dispone de cuatro tipos de docentes: ordinarios, en jornada extendida, con horario especial y compartidos, conocidos así; debido a que a este tipo de docente se le pueden asignar clases en ambas sedes, cabe mencionar que aquellos docentes en jornada extendida también pueden compartirse entre sedes. Este modelo busca minimizar los traslados entre sedes de los docentes compartidos.

Lozada *et al.* (2013) formulan una metodología basada en colonia de hormigas para resolver el problema de asignación adecuada de salones, el cual requiere del desarrollo de un modelo matemático para garantizar que a cada evento programado se le asignen los salones adecuados, teniendo como función objetivo la minimización de la asignación de eventos a la última hora del día, así como minimizar la cantidad de eventos a asistir de forma consecutiva para cada estudiante.

Suárez *et al.* (2013) desarrollaron un proyecto para la solución de un problema de asignación de horarios escolares en una escuela pública de nivel básico en Colombia. Este problema fue resuelto mediante un algoritmo genético de clasificación no dominada NSGA-II, mismo que considera dos funciones objetivo: la función definida como RD, en la que se contemplaron aquellos aspectos que la institución considero de mayor importancia y la función denominada FITNESS, la cual toma en cuenta aspectos relacionados con los ritmos de aprendizaje de los estudiantes. En este trabajo se tomaron como restricciones duras que en un mismo día no se deben dictar más de 2 horas seguidas de una misma materia, y en caso de que esto sucediera, estas deben ser consecutivas, además considera el uso de algunas áreas especiales como la sala de informática y el patio de deportes.

Feng *et al.* (2017) desarrollaron un modelo de programación lineal entera mix-

ta, para la resolución de un problema de asignación de horarios universitarios, el cual fue convertido a un problema de empaquetamiento tridimensional, donde se consideraron los días, periodos de clase y aulas como las tres dimensiones del contenedor, además se estableció que cada una de las unidades de aprendizaje serían los diferentes productos que deben de ser asignados al contenedor tridimensional. Se tenía como objetivo minimizar la cantidad de unidades de aprendizaje no asignadas, el traslape de clases para un mismo grupo y la distancia recorrida entre las aulas asignadas a cada unidad de aprendizaje en un horario consecutivo para cada grupo. Este problema fue resuelto por un algoritmo genético híbrido, el cual funciona para instancias de gran tamaño.

Castrillón (2014) realizó un modelo para la asignación óptima de clases para un segmento de una institución universitaria, mismo que fue resuelto mediante una combinación entre algoritmos genéticos y aleatorios. Este modelo tiene como principal objetivo resolver todas las restricciones duras y optimizar todas aquellas restricciones blandas. Entre las restricciones duras se evita el empalme entre clases y/o docentes, además de que se debe respetar la disponibilidad horaria de cada uno de los docentes, entre otras cosas. Por su parte, las restricciones blandas son aquellas relacionadas con la programación ideal de cada una de las materias y la compactibilidad del horario.

La Tabla 2.2 se muestran las características de cada uno de los proyectos mencionados anteriormente, en donde se detalla el nombre del autor o autores que realizaron el trabajo, en que año fue publicado, en que nivel educativo fue aplicado, las características particulares de cada uno de los proyectos y el método de solución implementado.

Tabla 2.2: Resumen trabajos previos

Autor	Año	Nivel educativo				Características				Solución		
		Básico	Medio superior	Superior		Ritmos cognitivos	Tipos de docentes	Diferentes sedes		Exacto	Heurístico	Meta-heurístico
Canseco <i>et al.</i>	2016		✓					✓		✓		
Sarmiento <i>et al.</i>	2012			✓						✓		
Hernández <i>et al.</i>	2008			✓						✓		
Marín y Maya	2015	✓								✓		
Esquivel	2014	✓					✓	✓			✓	
Lozada <i>et al.</i>	2013										✓	
Suárez <i>et al.</i>	2013	✓				✓						✓
Feng <i>et al.</i>	2017			✓								✓
Castrillón	2014			✓		✓						✓
Barrón	2018			✓		✓	✓	✓			✓	

## CAPÍTULO 3

# METODOLOGÍA

---

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una de las maneras en la que una institución universitaria puede competir en el mercado es enfocando todos sus esfuerzos en mejorar la calidad de la educación ofertada en sus instalaciones con el fin de beneficiar a todos los involucrados en su proceso educativo.

Uno de los indicadores de la calidad educativa es la satisfacción de la institución, los docentes y los estudiantes. Para este trabajo de investigación se considerará que esta satisfacción se deriva de los siguientes aspectos: para los docentes se tomará en cuenta que se encuentran satisfechos si se le asignan las clases con relación a la disponibilidad de cada uno ellos, si se minimiza el tiempo muerto entre clase y los traslados entre sedes, además, si se asigna la mayor cantidad de horas en el día; los estudiantes se considerarán satisfechos si las unidades de aprendizaje se asignan en el tipo de salón que mejor se adapte a las condiciones de la clase y si estas clases se asignan a la hora ideal con base en los ritmos cognitivos; mientras que la institución se supone satisfecha en el caso de que se haga el mejor uso de los recursos con los que se dispone al menor costo posible.

El cumplimiento de los indicadores antes mencionados logrará que institución,

docentes y estudiantes trabajen en completa comodidad, lo cual se verá reflejado en un aumento de la calidad de la institución universitaria.

Para resolver esta problemática que se presenta al inicio de cada periodo escolar se propone el uso de una herramienta, la cual ha demostrado traer buenos resultados al momento de tratar de optimizar el uso de la infraestructura de la institución, mientras considere aspectos que aumenten la satisfacción de todos los involucrados en el proceso educativo.

Para realizar la formulación matemática se proponen tres etapas: identificación del sistema, identificación de las restricciones y determinación de la función objetivo. Cada etapa se describe a continuación:

### 3.1.1 ETAPA 1: IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA

El propósito de esta etapa es analizar el estado inicial del sistema, además de definir los factores con los que se va a trabajar.

Actualmente las instituciones realizan la programación de una manera convencional, esta actividad se efectúa antes de cada inicio de periodo escolar, ocupando mucho tiempo de la o las personas encargadas de esta tarea. La información con la que se cuenta es: la cantidad de docentes disponibles para la asignación, los cuales se dividen en docentes de tiempo completo, quienes deben impartir 8 horas clase diarias; docentes de tiempo parcial, los cuales deben tener asignadas 4 horas clase y por último, los docentes por horas, quienes no tienen un número establecido de horas de clase; la cantidad de alumnos, los cuales se disponen en diferentes grupos dependiendo de la carrera y el semestre, esto se realiza previo a la asignación; el tipo de cada una de las aulas, ya que se manejan aulas "normales", aulas de informática y laboratorios y se tiene la cantidad de aulas disponibles por cada una de los edificios y cada una de las unidades con las que cuenta la institución; las unidades de aprendizaje que se habilitarán, las horas clase requeridas por cada una de las



unidades de aprendizaje, el horario y los días disponibles para la distribución de la carga académica.

Al ser una asignación que se realiza de forma trivial, no se consideran muchos aspectos que pueden ser relevantes para la satisfacción del personal y el alumnado. Tal es el caso de la disponibilidad horaria de cada uno de los docentes, ya que, en muchas instituciones, al momento de la distribución de la carga académica se considera que estos tienen disponibilidad en cualquier momento del día para disminuir la complejidad de la asignación. Sin embargo, al momento de que el docente recibe su horario y no está de acuerdo con la asignación, se tienen que realizar movimientos a la programación ya establecida. Otro aspecto importante es la asignación de la clase en un aula adecuada en capacidad e infraestructura, ya que, de igual manera en la programación tradicional, se busca asignar las clases en las aulas, sin considerar la capacidad de las mismas y si es o no apropiada para la clase que se asignó. Además, no se considera la hora ideal en que debe ser asignada una unidad de aprendizaje, es decir, el mejor momento para enseñar cada unidad de aprendizaje la cual esta dada por los ritmos cognitivos de los alumnos, en otras palabras, el periodo de tiempo en que los estudiantes se encuentran con una mejor capacidad de atención y una mayor disposición cognitiva. Bajo esta idea se debe buscar que aquellas unidades de aprendizaje consideradas de mayor dificultad se impartan a la mitad de cada jornada.

De esta manera, para el modelo propuesto se considera que se conoce lo siguiente:

- El número de docentes de cada tipo, la disponibilidad horaria de cada uno de ellos y el perfil académico en cuanto a las o la unidad de aprendizaje a impartir.
- La cantidad de aulas y laboratorios de cada tipo, su capacidad, además en que sede se encuentra cada una de ellas.
- La distancia y el tiempo de traslado entre cada una de las sedes.

- La oferta educativa de la institución universitaria, es decir, el número de carreras disponibles.
- La cantidad de grupos y el número de estudiantes que conforma a cada uno de ellos.
- El número de unidades de aprendizaje que se imparten, además, en que semestre, con que docentes, en que grupos y en que aulas se pueden impartir.
- Las unidades de aprendizaje que necesitan impartirse en laboratorios o aulas de informática al menos una vez a la semana.
- La frecuencia diaria y por lo tanto la semanal de cada una de las unidades de aprendizaje.
- Cuales unidades de aprendizaje se imparten en cada una de las sedes.
- La hora ideal en la que se debe programar cada unidad de aprendizaje.
- El horario y los días disponibles para la asignación.

### 3.1.2 ETAPA 2: IDENTIFICACIÓN DE LAS RESTRICCIONES

La serie de restricciones que se propone, se orientan a la construcción del horario teniendo en cuenta las necesidades y requerimientos tanto de la institución como de los docentes, ya que se desea que estos últimos estén satisfechos con su horario de clase, con el fin de que puedan agregar valor al servicio ofertado por la institución.

#### **Restricciones duras**

- Se evita asignar más de un docente en cada grupo a cada hora.
- No se puede impartir más de una unidad de aprendizaje a cada hora para cada grupo.

- Se asignarán las unidades de aprendizaje a cada docente en dependencia de su perfil académico.
- El número mínimo y máximo de horas clase por docente por día no debe ser excedido ni sobrepasado.
- En caso de que el docente deba trasladarse entre unidades, se establece que este tenga al menos una hora libre para poder trasladarse de una sede a otra.
- Las unidades de aprendizaje se deben impartir en las aulas adecuadas.
- La asignación de clases se realizará dentro de la jornada escolar diaria establecida.
- Se debe satisfacer el número de frecuencias semanales de cada unidad de aprendizaje.
- Se restringe que las unidades de aprendizaje se asignen en bloques de más de tres horas consecutivas.
- Se evita que la cantidad de alumnos por grupo exceda la capacidad del aula en el que se asigna la clase.

#### **Restricciones blandas**

- Programación de cada una de las unidades de aprendizaje por grupo de forma consecutiva.
- Las unidades de aprendizaje se deben asignar en la hora ideal en base a los ritmos cognitivos de los alumnos.

### **3.1.3 ETAPA 3: DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO**

La planeación de actividades es de vital importancia en todas las organizaciones, ya que una eficiente programación de horarios puede contribuir a que la

institución asegure la disponibilidad adecuada de docentes, en el lugar y momento correcto, con un menor costo, para ofrecer un servicio de calidad servicio y cumplir con sus metas (Canseco *et al.*, 2016), para que este servicio sea de calidad es necesario que todos los involucrados en el proceso educativo se encuentren satisfechos con la asignación realizada.

La institución universitaria, como cualquier otra organización, busca hacer el mejor uso de todos los recursos disponibles, tanto humanos como físicos al menor costo posible. Además, al ser una institución que presta un servicio, el mayor valor agregado viene del personal docente, aunado a esto, su mayor gasto se encuentra en el pago a los docentes, por esta razón es importante para la institución el hacer un uso eficiente de los docentes disponibles asignándoles la mayor cantidad de horas clase en base a su disponibilidad, su preferencia y la capacidad que este tenga para impartir la o las unidades de aprendizaje establecidas, en lugar de contratar una mayor cantidad de docentes que impartan pocas horas, ya que esta acción, además de perjudicar en los gastos de la institución afecta en la fluidez con la que se trabaja, la organización y la estandarización de las clases a impartir. Debido a esto, en la función objetivo se considera la minimización de los gastos por pago al personal docente.

Otro factor importante es la satisfacción de los docentes de la institución, ya que como se ha mencionado anteriormente, al ser una institución que presta un servicio, el recurso humano es el más importante y el que puede representar una ventaja competitiva para la institución, si estos se encuentran satisfechos con la asignación establecida, se puede reflejar una mejora significativa en la calidad del servicio ofertado.

Una forma de mejorar esta satisfacción es mediante la disminución de tiempos muertos entre clases, además de que en el caso en el cual los docentes se tengan que trasladar de una sede a otra, es necesario que estos traslados sean mínimos y en caso de que estos se realicen se tenga un tiempo razonable disponible para este traslado, con la finalidad de que los retardos, las ausencias, entre otras cosas, se disminuyan

en gran medida, mejorando así la calidad del servicio, ya que este será recibido en tiempo y forma.

En cuanto a la satisfacción de los alumnos, un factor que poco se considera, es el mejor momento de la jornada en el cual se deben asignar las unidades de aprendizaje de forma que el alumno se encuentre con una mejor capacidad de atención y una mayor disposición cognitiva, esto se encuentra dado por los ritmos cognitivos, de esta manera, el maximizar la cantidad de unidades de aprendizaje que se imparten en la hora ideal en base a los ritmos cognitivos de los alumnos es un aspecto importante para este trabajo de investigación.

Esta hora ideal se determinará considerando los índices de reprobación, dónde se tomará en cuenta que las unidades de aprendizaje con mayor tasa de reprobación se asignarán a la mitad de la jornada escolar. Las unidades de aprendizaje que requieran un mayor trabajo motor se asignarán al final de la jornada, mientras que las unidades de aprendizaje que no requieran un gran esfuerzo físico o mental se asignarán al principio, aunado a esto, se realizará un análisis en base a los trabajos propuestos por (Vargas, 2017; Ramírez, 2005)

## 3.2 MODELO INTEGRAL

Tomando en cuenta lo descrito en las secciones anteriores, se propone un esquema integral para resolver el problema de asignación de horarios. La notación requerida para realizar la formulación matemática se describe a continuación:

### Conjuntos

- $S$  : Conjunto de unidades de aprendizaje que deben ser asignadas.
- $T$  : Conjunto de docentes que deben ser asignados.
- $D$  : Conjunto de días disponibles para realizar la asignación.

- $H$  : Conjunto ordenado de las horas semanales.
- $G$  : Conjunto de grupos.
- $A$  : Conjunto de aulas disponibles para la asignación.
- $U$  : Conjunto de sedes en las que se pueden impartir las clases.
- $T(s)$  : Conjunto de docentes que pueden ser asignados a una unidad de aprendizaje  $s$ .
- $S(t)$  : Conjunto de unidades de aprendizaje que pueden ser asignadas a cada docente  $t$ .
- $S(g)$  : Conjunto de unidades de aprendizaje que debe cursar cada grupo  $g$ .
- $S(a)$  : Conjunto de unidades de aprendizaje que pueden ser asignadas en cada una de las aulas  $a$ .
- $A(u)$  : Conjunto de aulas que pertenecen a cada una de las sedes  $u$ .
- $H(d)$  : Conjunto de horas diarias disponibles para la asignación. Cada uno de estos conjuntos son una partición disjunta de las horas disponibles a la semana, por ejemplo, si se consideran dos días de 2 horas cada uno, los conjuntos quedarían de la siguiente manera:  $H(1)=\{1,2\}$ , y  $H(2)=\{3,4\}$ .
- $H(t)$  : Conjunto de horas diarias a las que puede ser asignado un docente en base a su disponibilidad horaria.

### Parámetros

- $f_s$ : Frecuencia semanal para cada unidad de aprendizaje  $s$ .
- $l_{sg}$ : Número máximo de horas diarias que pueden ser asignadas a cada grupo  $g$  de una unidad de aprendizaje  $s$ .

- $m_t$ : Número mínimo de horas a la semana que se le deben asignar a un docente  $t$ .
- $M_t$ : Número máximo de horas a la semana que se le pueden asignar a un docente  $t$ .
- $n_g$ : Número de estudiantes por cada grupo  $g$ .
- $c_a$ : Capacidad de cada aula  $a$ .
- $p_t$ : Pago por horas para cada docente  $t$ .
- $a_t$ : Penalidad (en pesos) correspondiente a cada hora libre del docente  $t$ .
- $b_t$ : Penalidad (en pesos) por cada día que se contrata a un docente  $t$ .
- $e_{sh}$ : Beneficio (en pesos) de asignar una unidad de aprendizaje  $s$  en su hora ideal  $h$  en base a los ritmos cognitivos de los alumnos.

### VARIABLES DE DECISIÓN

$$\begin{aligned}
 x_{sthga} &:= \begin{cases} 1 & \text{si el docente } t \text{ es asignado a la unidad de aprendizaje } s \\ & \text{en el grupo } g \text{ a la hora } h \text{ en el aula } a. \\ 0 & \text{de otra manera.} \end{cases} \\
 y_{td} &:= \begin{cases} 1 & \text{si el docente } t \text{ es contratado para impartir clases el día } d, \\ 0 & \text{de otro modo.} \end{cases} \\
 z_{stg} &:= \begin{cases} 1 & \text{si el docente } t \text{ es asignado para impartir la unidad de aprendizaje} \\ & s \text{ en el grupo } g, \\ 0 & \text{si no.} \end{cases} \\
 w_{shs'g} &:= \begin{cases} 1 & \text{si la unidad de aprendizaje } s \text{ es asignada a la hora } h \text{ y la unidad} \\ & \text{de aprendizaje } s' \text{ es asignada a la hora } h+1 \text{ en el grupo } g, \\ 0 & \text{de otro modo.} \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$v_{sga} := \begin{cases} 1 & \text{si la unidad de aprendizaje } s \text{ es asignada al grupo } g \text{ en el aula } a \\ 0 & \text{si no.} \end{cases}$$

$r_t :=$  número de horas restantes para completar el número mínimo de horas  $m_t$

para cada docente  $t$

### Formulación matemática

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{t \in T} p_t \left( \sum_{s \in S(t)} \sum_{h \in H} \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} x_{sthga} + r_t \right) &+ \sum_{t \in T} a_t \sum_{d \in D} \left( |H(d)| - \sum_{s \in S(t)} \sum_{h \in H(d)} \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} x_{sthga} \right) \\ &- \sum_{t \in T} b_t \sum_{d \in D} |H(d)|(1 - y_{td}) - \sum_{s \in S} \sum_{h \in H} e_{sh} \left( \sum_{t \in T} \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} x_{sthga} \right) \end{aligned} \quad (3.1)$$

s.a.

$$\sum_{t \in T} \sum_{h \in H} \sum_{a \in A} x_{sthga} \geq 1 \quad \forall s \in S(g), g \in G \quad (3.2)$$

$$\sum_{t \in T(s)} z_{stg} = 1 \quad \forall s \in S(g), g \in G \quad (3.3)$$

$$\sum_{a \in A} v_{sga} = 1 \quad \forall s \in S(a), g \in G \quad (3.4)$$

$$N_g v_{sga} \leq c_a \quad \forall s \in S, g \in G, a \in A \quad (3.5)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{a \in A} x_{sthga} = f_s z_{stg} \quad \forall t \in T, s \in S, g \in G \quad (3.6)$$

$$\sum_{t \in T(s)} \sum_{h \in H(d)} \sum_{a \in A} x_{sthga} \leq l_{sg} \quad \forall s \in S, g \in G, d \in D \quad (3.7)$$

$$\sum_{t \in T(s)} x_{sthga} \leq v_{sga} \quad \forall s \in S, h \in H, g \in G, a \in A \quad (3.8)$$

$$\sum_{s \in S(t)} x_{sthga} \leq 1 \quad \forall t \in T, h \in H, g \in G, a \in A \quad (3.9)$$

$$\sum_{s \in S(g)} \sum_{t \in T(s)} \sum_{a \in A} x_{sthga} \leq 1 \quad \forall h \in H, g \in G \quad (3.10)$$

$$\sum_{s \in S(t)} \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} x_{sthga} \leq 1 \quad \forall t \in T, h \in H \quad (3.11)$$



$$\sum_{g \in G} \sum_{a \in A} x_{sthga} \leq 1 \quad \forall t \in T, s \in S, h \in H \quad (3.12)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{g \in G} (x_{sthga} + x_{sth+1ga'}) \leq 1 \quad \forall t \in T, h \in H, a \in A \quad (3.13)$$

$$\sum_{h \in H(d)} \sum_{t \in T(s)} \sum_{a \in A} x_{sthga} - 1 \leq \sum_{h \in H(d)} w_{shsg} \quad \forall s \in S, g \in G, d \in D \quad (3.14)$$

$$\frac{1}{2} \left( \sum_{t \in T(s)} \sum_{a \in A} x_{sthga} + \sum_{t \in T(s')} \sum_{a \in A} x_{s'th+1ga} \right) \geq w_{shs'g} \quad \forall s, s' \in S, h \in H, g \in G \quad (3.15)$$

$$\sum_{s \in S(t)} \sum_{h \in H(d)} \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} x_{sthga} \leq |H(d)| y_{td} \quad \forall t \in T, d \in D \quad (3.16)$$

$$r_t + \sum_{s \in S(t)} \sum_{h \in H(t)} \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} x_{sthga} \geq m_t \quad \forall t \in T \quad (3.17)$$

$$r_t + \sum_{s \in S(t)} \sum_{h \in H(t)} \sum_{g \in G} \sum_{a \in A} x_{sthga} \leq M_t \quad \forall t \in T \quad (3.18)$$

$$x_{sthga} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S, t \in T, h \in H, g \in G, a \in A \quad (3.19)$$

$$z_{stg} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S, t \in T, g \in G \quad (3.20)$$

$$w_{shs'g} \in \{0, 1\} \quad \forall s, s' \in S, h \in H, g \in G \quad (3.21)$$

$$y_{td} \in \{0, 1\} \quad \forall t \in T, d \in D \quad (3.22)$$

$$v_{sga} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S, g \in G, a \in A \quad (3.23)$$

$$r_t \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall t \in T \quad (3.24)$$

donde, (3.1) es la función objetivo que busca reducir el costo por pago a los docentes minimizando la cantidad de docentes contratados, el tiempo muerto entre clases, el traslado entre sedes y además busca maximizar la asignación de las unidades de aprendizaje en su hora ideal, se considera que es mejor tener todo un día libre para el docente en lugar de muchas horas libres en el día. (3.2) garantiza que todas las clases sean asignadas, (3.3) especifica que solo se debe asignar un solo docente para cada unidad de aprendizaje por grupo, (3.4) restringe que cada una de las unidades de aprendizaje para cada grupo deben ser asignadas en una misma aula, (3.5) asegura que no se debe exceder la capacidad de cada una de las aulas, (3.6) garantiza que la suma de las horas asignadas a cada unidad de aprendizaje satisfaga el número

de horas requeridas a la semana para cada una de las unidades de aprendizaje, restringe que solo se puede asignar un solo docente a cada unidad de aprendizaje a cada hora por cada grupo, (3.7) asegura que no se exceda el número de horas diarias establecidas para cada unidad de aprendizaje, (3.8) asegura que solo se pueda asignar un solo docente para cada unidad de aprendizaje por grupo a cada hora del día en cada una de las aulas, (3.9) garantiza que solo se asigne una unidad de aprendizaje a cada grupo en cada hora y cada aula, (3.10) evita el traslape de unidades de aprendizaje y docentes en un aula a cualquier hora, para cada grupo, (3.11) evita que a cada hora un docente este asignado a más de dos unidades de aprendizaje en dos grupos diferentes, (3.12) asegura que cada docente y a cada unidad de aprendizaje se les asigne únicamente un grupo y solo se asignen a una aula a cada hora de la jornada, en caso de que un docente tenga asignadas clases en las dos sedes la restricción (3.13) garantiza que exista al menos una hora libre para que se pueda trasladar de una sede a otra, (3.14) asegura que si se asignan dos o más horas de una misma unidad de aprendizaje, estas deben estar asignadas de forma consecutiva, (3.15) permite que la variable  $w_{shs'g}$  se active, si el docente es contratado (3.16) evita que se le sean asignadas una cantidad de horas que exceda las establecidas en la jornada escolar, (3.17) garantiza que se satisfaga el número mínimo de horas semanales que se debe contratar a un docente, (3.18) asegura que no se exceda el número máximo de horas a la semana que debe tener asignadas un docente, y (3.19), (3.20), (3.21), (3.22), (3.23) son las restricciones lógicas.

### 3.3 MODELO DOS FASES

Este modelo consiste en hacer una separación del modelo integral en dos partes, con el objetivo de obtener una buena solución para instancias grandes, es decir, aquellas instancias de tamaños reales tales como las que se encuentran en cualquier institución educativa. Como se expone detalladamente en el capítulo 4, el modelo integral arroja buenos resultados para instancias pequeñas, pero empieza a presentar

complicaciones al aumentar el tamaño de las instancias, además, con esta separación se pretende minimizar el tiempo computacional empleado en la solución del modelo.

Esta separación se basa en asignar primero a cada uno de los grupos las unidades de aprendizaje que deben tomar en cada hora, y en base a esta asignación seleccionar el docente que brindará la clase y el aula designada a esta clase.

### 3.3.1 PRIMERA FASE

Esta fase consiste en la asignación de las unidades de aprendizaje a cada uno de los grupos a una hora, siempre y cuando este grupo deba tomar la clase y la unidad de aprendizaje se asigne dentro de el horario establecido para cada uno de los grupos. Tratando, además el asignar las unidades de aprendizaje en base a los ritmos cognitivos de los estudiantes.

La notación utilizada para la formulación de esta fase es la siguiente:

#### Conjuntos

- $S$  : Conjunto de unidades de aprendizaje que deben ser asignadas.
- $D$  : Conjunto de días disponibles para realizar la asignación.
- $H$  : Conjunto ordenado de las horas semanales.
- $G$  : Conjunto de grupos.
- $S(g)$  : Conjunto de unidades de aprendizaje que debe cursar cada grupo  $g$ .
- $H(g)$  : Conjunto de las horas a las que se debe asignar cada grupo  $g$ .
- $H(d)$  : Conjunto de horas diarias disponibles para la asignación. Cada uno de estos conjuntos son una partición disjunta de las horas disponibles a la semana, por ejemplo, si se consideran dos días de 2 horas cada uno, los conjuntos quedarían de la siguiente manera:  $H(1)=\{1,2\}$ , y  $H(2)=\{3,4\}$ .

### Parámetros

- $f_s$ : Frecuencia semanal para cada unidad de aprendizaje  $s$ .
- $l_{sg}$ : Número máximo de horas diarias que pueden ser asignadas a cada grupo  $g$  de una unidad de aprendizaje  $s$ .
- $e_{sh}$ : Beneficio de asignar una unidad de aprendizaje  $s$  en su hora ideal  $h$  en base a los ritmos cognitivos de los alumnos.
- $H_{gh}$ : Conjunto de horas a las que puede ser asignado un grupo  $g$ .
- $nm_s$ : Número de maestros disponibles para impartir cada una de las unidades de aprendizaje  $s$ .
- $b_g$ : Beneficio de asignar cada unidad de aprendizaje de manera consecutiva para cada grupo  $g$ .

### VARIABLES DE DECISIÓN

$$x_{shg} := \begin{cases} 1 & \text{si la unidad de aprendizaje } s \text{ es asignada al grupo } g \text{ en la hora } h, \\ 0 & \text{de otra manera.} \end{cases}$$

$$z_{sg} := \begin{cases} 1 & \text{si la unidad de aprendizaje } s \text{ se asigna al grupo } g, \\ 0 & \text{si no.} \end{cases}$$

$$w_{shs'g} := \begin{cases} 1 & \text{si la unidad de aprendizaje } s \text{ es asignada a la hora } h \text{ y la unidad} \\ & \text{de aprendizaje } s' \text{ es asignada a la hora } h+1 \text{ en el grupo } g, \\ 0 & \text{de otro modo.} \end{cases}$$

### Formulación matemática

$$\text{Min} \quad - \sum_{s \in S} \sum_{h \in H} e_{sh} \sum_{g \in G} x_{shg} - \sum_{g \in G} b_g \sum_{s \in S} \sum_{h \in H} w_{shs'g} \quad (3.25)$$

s.a.

$$\sum_{h \in H_{gh}} x_{shg} \geq 1 \quad \forall s \in S(g), g \in G \quad (3.26)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{g \in G} x_{shg} \leq nm_s \quad \forall s \in S \quad (3.27)$$

$$\sum_{h \in H} x_{shg} = f_s z_{sg} \quad \forall s \in S, g \in G \quad (3.28)$$

$$\sum_{h \in H(d)} x_{shg} \leq l_{sg} \quad \forall s \in S, g \in G, d \in D \quad (3.29)$$

$$\sum_{s \in S(g)} x_{shg} \leq 1 \quad \forall h \in H, g \in G \quad (3.30)$$

$$\sum_{h \in H(d)} x_{shg} - 1 \leq \sum_{h \in H(d)} w_{shsg} \quad \forall s \in S, g \in G, d \in D \quad (3.31)$$

$$\frac{1}{2} (x_{shg} + x_{s'h+1g}) \geq w_{shs'g} \quad \forall s, s' \in S, h \in H, g \in G \quad (3.32)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{h \in H(d)} x_{shg} \leq |H(d)| \quad \forall g \in G, d \in D \quad (3.33)$$

$$x_{shg} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S, h \in H, g \in G \quad (3.34)$$

$$z_{sg} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S, t \in T, g \in G \quad (3.35)$$

$$w_{shs'g} \in \{0, 1\} \quad \forall s, s' \in S, h \in H, g \in G \quad (3.36)$$

donde (3.25) es la función objetivo que trata de maximizar la cantidad de unidades de aprendizaje que se asignen a la hora ideal y de manera consecutiva, (3.26) asegura que todas las unidades de aprendizaje que debe cursar un grupo se le sean asignadas, (3.27) impide que se asignen más clases a la misma hora que docentes disponibles, (3.28) establece que se debe de satisfacer el número de frecuencias de cada una de las unidades de aprendizaje para cada grupo que debe cursarla, (3.29) asegura que no se exceda la cantidad de horas diarias establecidas para la asignación de cada una de las unidades de aprendizaje, (3.30) restringe que solo se asigne una sola unidad de aprendizaje a cada hora para cada uno de los grupos, (3.31) y (3.32) permiten que el horario sea lo más compacto posible, (3.33) establece que la asignación de unidades de aprendizaje se realice únicamente dentro de las horas establecidas de la jornada escolar y (3.34), (3.35) y (3.36) son las restricciones lógicas que hablan de

la naturaleza de cada una de las variables.

### 3.3.2 SEGUNDA FASE

La segunda fase consiste en la asignación del docente y el aula a cada uno de los grupos, tomando como base la asignación previa, es decir, asignar el docente y el aula adecuada a la unidad de aprendizaje que fue asignada anteriormente a cada uno de los grupos, considerando características importantes, por ejemplo, que solo se asignará el docente si la unidad de aprendizaje encaja con su perfil y si se encuentra disponible a la hora establecida, además de que las aulas se asignarán al grupo siempre y cuando el aula sea apta para esta asignación.

#### Conjuntos

- $S$  : Conjunto de unidades de aprendizaje, que se replican para cada uno de los grupos al que se asigna.
- $T$  : Conjunto de docentes que deben ser asignados.
- $H$  : Conjunto ordenado de las horas semanales.
- $G$  : Conjunto de los grupos a asignar.
- $A$  : Conjunto de aulas disponibles para la asignación.
- $U$  : Conjunto de sedes en las que se pueden impartir las clases.
- $T(s)$  : Conjunto de docentes que pueden ser asignados a una unidad de aprendizaje  $s$ .
- $S(t)$  : Conjunto de unidades de aprendizaje que pueden ser asignadas a cada docente  $t$ .
- $A(s)$  : Conjunto de aulas en las que se puede asignar cada unidad de aprendizaje  $s$ .

- $A(u)$  : Conjunto de aulas que pertenecen a cada una de las sedes  $u$ .
- $H(t)$  : Conjunto de horas diarias a las que puede ser asignado un docente en base a su disponibilidad horaria.
- $S(g, h)$  : Conjunto de unidades de aprendizaje que fueron asignadas al grupo  $g$  en la hora  $h$  en la fase anterior.

### Parámetros

- $m_t$ : Número mínimo de horas a la semana que se le deben asignar a un docente  $t$ .
- $M_t$ : Número máximo de horas a la semana que se le pueden asignar a un docente  $t$ .
- $n_g$ : Número de estudiantes por cada grupo  $g$ .
- $c_a$ : Capacidad de cada aula  $a$ .
- $p_t$ : Pago por horas para cada docente  $t$ .
- $a_t$ : Penalidad (en pesos) correspondiente a cada hora libre del docente  $t$ .
- $b_t$ : Penalidad (en pesos) por cada día que se contrata a un docente  $t$ .

### VARIABLES DE DECISIÓN

$$x_{sta}^2 := \begin{cases} 1 & \text{si la clase } s \text{ es asignada al docente } t \text{ en el aula } a, \\ 0 & \text{de otra manera.} \end{cases}$$

$$y_{td} := \begin{cases} 1 & \text{si el docente } t \text{ es contratado el día } d, \\ 0 & \text{si no.} \end{cases}$$

$$v_{sa} := \begin{cases} 1 & \text{si la clase } s \text{ es asignada al aula } a, \\ 0 & \text{de otro modo.} \end{cases}$$

**Formulación matemática**

$$\text{Min} \sum_{t \in T} p_t \left( \sum_{s \in S(g,h)} \sum_{a \in A} x_{sta}^2 + r_t \right) + \sum_{t \in T} a_t \sum_{d \in D} \left( |H(d)| - \sum_{s \in S(g,h)} \sum_{a \in A} x_{sta}^2 \right) \quad (3.37)$$

s.a.

$$\sum_{t \in T(s)} x_{sta}^2 = 1 \quad \forall s \in S(g, h), g \in G, a \in A \quad (3.38)$$

$$\sum_{a \in A(s)} x_{sta}^2 = 1 \quad \forall s \in S(g, h) \quad (3.39)$$

$$N_g v_{sa} \leq c_a \quad \forall g \in G, a \in A, s \in S \quad (3.40)$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{h \in H} x_{sta}^2 = f_s \quad \forall s \in S, t \in T \quad (3.41)$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{s \in S(g,h)} x_{sta}^2 \leq 1 \quad \forall t \in T, h \in H \quad (3.42)$$

$$\sum_{s \in S(g,h)} \sum_{s' \in S(g,h)} \sum_{g \in G} (x_{sta}^2 + x_{s'ta'}^2) \leq 1 \quad \forall t \in T, h \in H, a \in A(u), a' \in A(u') \quad (3.43)$$

$$\sum_{s \in S(g,h)} \sum_{h \in H(d)} \sum_{a \in A} x_{sta}^2 \leq |H(d)| y_{td} \quad \forall t \in T, d \in D \quad (3.44)$$

$$r_t + \sum_{s \in S(g,h)} \sum_{a \in A} x_{sta}^2 \geq m_t \quad \forall t \in T \quad (3.45)$$

$$r_t + \sum_{s \in S(g,h)} \sum_{a \in A} x_{sta}^2 \leq M_t \quad \forall t \in T \quad (3.46)$$

$$x_{sta}^2 \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S, t \in T, a \in A \quad (3.47)$$

$$y_{td} \in \{0, 1\} \quad \forall t \in T, d \in D \quad (3.48)$$

$$v_{sa} \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S, a \in A \quad (3.49)$$

donde (3.37) es la función objetivo que trata de minimizar los gastos por pago a los docentes disminuyendo la cantidad de docentes contratados, el tiempo muerto entre clases y el traslado entre sedes, (3.38) establece que solo se debe asignar a un mismo docente para cada una de las unidades de aprendizaje en cada grupo, (3.39) asegura que se asignen las clases en una misma aula para cada una de las unidades de aprendizaje, (3.40) especifica que la capacidad de las aulas no debe ser excedida,



(3.41) asegura que se satisfaga el total de frecuencias para cada una de las unidades de aprendizaje, (3.42) establece que no se debe asignar a cada docente en más de un aula ni más de una unidad de aprendizaje en cada hora, (3.43) permite que si un docente tiene asignada clase en ambas sedes, este docente tenga al menos una hora libre para poder trasladarse de una sede a la otra, (3.44) restringe que las clases que se le asignen a cada uno de los docentes se encuentre dentro de la jornada diaria establecida, (3.45) asegura que se satisfaga la cantidad mínima de horas clase que se deben asignar a cada uno de los docentes, (3.46) establece que no se exceda la cantidad de horas clase establecidas para cada uno de los docentes, (3.47), (3.48), (3.49) son las restricciones lógicas, que establecen la naturaleza de cada una de las variables.

## CAPÍTULO 4

# EXPERIMENTACIÓN

---

Este Capítulo muestra la información de algunas de las instancias utilizadas para la validación del modelo integral propuesto en el capítulo 3, además se muestran de forma detallada las razones que llevaron a descomponer el modelo integral en uno compuesto por dos fases, tal como se explicó en el capítulo previo, aunado a esto se detalla como se llegó a la separación propuesta.

### 4.1 EXPERIMENTACIÓN PRELIMINAR

Con el fin de proponer una distribución de la carga horaria que permita hacer un uso eficiente de los recursos físicos y humanos disponibles en la institución, satisfaciendo las necesidades de cada uno de los involucrados en el proceso educativo, se comenzó la validación del modelo propuesto con diversas instancias, entre las que se encuentran las mostradas en la Tabla 4.1.

Para realizar la experimentación computacional se utilizó la herramienta GAMS 23.7 con CPLEX 12.5 en un ordenador con procesador Intel® Core™ i3-2100 CPU @ 3.10 GHz con 4 GB de memoria RAM y sistema operativo de 64 bits.

Los datos de las instancias de la  $A_0$  a la  $A_7$  se realizaron de forma aleatoria,

Tabla 4.1: Datos utilizados modelo integral.

	<b>Instancia</b>											
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$	$A_{10}$	$A_{11}$
<b>UA</b>	3	3	4	5	5	6	6	8	7	4	4	10
<b>Docentes</b>	3	15	6	8	8	5	5	18	7	22	22	28
<b>Días</b>	5	4	5	5	4	3	3	3	5	1	5	5
<b>Horas</b>	15	12	18	20	20	18	18	18	35	7	35	30
<b>Grupos</b>	3	7	4	2	3	2	2	4	3	14	14	10
<b>Aulas</b>	3	20	7	3	6	2	9	8	10	14	14	12
<b>Sedes</b>	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1

además se ejecutaron diversas variantes de cada una de ellas. Se analizaron los tiempos y GAP de estas variantes, los cuales se exponen en la Tabla 4.2 que muestra los tiempos promedio obtenidos, al ejecutar cada una de las variantes de estas instancias.

Tabla 4.2: Tiempos de solución y GAP para cada instancia de la  $A_0$  a la  $A_7$ .

<b>Instancias</b>	<b>Variables</b>	<b>Tiempo (seg.)</b>	<b>GAP(%)</b>
$A_0$	1,689	2.712	0.00
$A_1$	77,151	10,800.000	5600.00
$A_2$	14,350	8.457	0.00
$A_3$	5,950	1.829	0.00
$A_4$	16,151	480.572	0.00
$A_5$	3,555	14.622	0.00
$A_6$	11,199	40.382	0.00
$A_7$	88,438	6.847	0.00

Una vez resueltas cada una de las instancias, se codificó un algoritmo en lenguaje R, con el objetivo de facilitar la interpretación de las soluciones. Este programa extrae cada una de las soluciones que se originan para cada una de las instancias desde GAMS y genera una hoja de calculo para cada uno de los grupos en Microsoft Excel, en las que se muestra de forma ordenada la información obtenida, con el

objetivo de que el usuario interprete los datos con mayor facilidad.

Para ejemplificar la solución que se obtiene para estas instancias se expone el horario obtenido de uno de los grupos de la instancia  $A_6$ . En la Tabla 4.3 se detalla la distribución obtenida por la formulación, en la que se puede observar que día a que hora se asigno que materia con cual docente y en que aula. En esta instancia a un grupo específico solo se le deben asignar 4 de las 8 unidades de aprendizaje repartidas en 18 horas de lunes a sábado.

Tabla 4.3: Horario grupo instancia  $A_6$ .

<b>Día</b> <b>Hora</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Sábado</b>
<b>8:00-9:00</b>	UA 1 Docente 16 Aula 7	UA 3 Docente 17 Aula 2	UA 2 Docente 17 Aula 3	UA 4 Docente 10 Aula 7	UA 1 Docente 16 Aula 7	UA 1 Docente 16 Aula 7
<b>9:00-10:00</b>	UA 3 Docente 17 Aula 2	UA 1 Docente 16 Aula 7	UA 1 Docente 16 Aula 7	UA 2 Docente 17 Aula 3	UA 4 Docente 10 Aula 7	UA 3 Docente 17 Aula 2
<b>10:00-11:00</b>	UA 2 Docente 17 Aula 3	UA 2 Docente 17 Aula 3	UA 4 Docente 10 Aula 7	UA 1 Docente 16 Aula 7	UA 2 Docente 17 Aula 3	UA 2 Docente 17 Aula 3

Por otro lado, los datos de la instancia  $A_8$  se extrajeron de Canseco *et al.* (2016), además, se generaron aleatoriamente la cantidad de aulas y unidades para completar la información requerida para el modelo, estos datos se muestran en la Tabla 4.4.

Al alimentar el modelo con la información proporcionada se generaron en total 20,825 variables y se obtuvo una solución óptima en un tiempo de 2.260 segundos, con un GAP 0.00 %.

El resultado obtenido para uno de los grupos de la instancia  $A_8$  se presenta en la Tabla 4.5, donde se describe detalladamente que día y a que hora se asignará la unidad de aprendizaje, con que docente y en que aula, distribuido en 35 horas de lunes a viernes.

Mientras que los datos de las instancias  $A_9$  y  $A_{10}$  se obtuvieron de información

Tabla 4.4: Datos instancia  $A_8$ .

<b>UA</b>	7
<b>Docentes</b>	7
<b>Días</b>	5
<b>Horas</b>	35
<b>Grupos</b>	3
<b>Aulas</b>	10
<b>Sedes</b>	1

Tabla 4.5: Horario grupo instancia  $A_8$ .

<b>Día</b> <b>Hora</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>
<b>7:00-8:00</b>	UA 1 Docente 1 Aula 7	UA 1 Docente 1 Aula 7		UA 2 Docente 2 Aula 5	
<b>8:00-9:00</b>	UA 1 Docente 1 Aula 7	UA 3 Docente 3 Aula 8	UA 4 Docente 4 Aula 5	UA 5 Docente 5 Aula 5	UA 6 Docente 6 Aula 1
<b>9:00-10:00</b>	UA 4 Docente 4 Aula 5		UA 5 Docente 5 Aula 5	UA 6 Docente 6 Aula 1	UA 5 Docente 5 Aula 5
<b>10:00-11:00</b>		UA 2 Docente 2 Aula 5		UA 4 Docente 4 Aula 5	UA 4 Docente 4 Aula 5
<b>11:00-12:00</b>		UA 4 Docente 4 Aula 5	UA 3 Docente 3 Aula 8	UA 1 Docente 1 Aula 7	UA 2 Docente 2 Aula 5
<b>12:00-13:00</b>	UA 5 Docente 5 Aula 5	UA 6 Docente 6 Aula 1	UA 2 Docente 2 Aula 5	UA 1 Docente 1 Aula 7	
<b>13:00-14:00</b>	UA 7 Docente 7 Aula 7	UA 7 Docente 7 Aula 7	UA 6 Docente 6 Aula 1	UA 3 Docente 3 Aula 8	UA 3 Docente 3 Aula 8

extraída de un caso de estudio, el cual se describirá a detalle en el capítulo 5, estos datos se obtuvieron específicamente del curso propédeutico que se ofertó en esta institución universitaria.

La diferencia entre las instancia  $A_9$  y  $A_{10}$  es que en  $A_9$  la asignación se realiza un único día, al ejecutar el modelo con la información de esta instancia se generaron 123,469 variables, tardo un tiempo de 187.036 minutos para obtener el resultado con un GAP de 0.0%. El resultado para uno de los grupos se presenta en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Horario grupo instancia  $A_9$ .

<b>Hora</b> \ <b>Día</b>	<b>Lunes</b>
<b>7:00-8:00</b>	UA 1 Docente K Aula 8
<b>8:00-9:00</b>	UA 1 Docente K Aula 8
<b>9:00-10:00</b>	
<b>10:00-11:00</b>	UA 2 Docente H Aula 2
<b>11:00-12:00</b>	UA 3 Docente O Aula 1
<b>12:00-13:00</b>	UA 4 Docente K Aula 2
<b>13:00-14:00</b>	UA 4 Docente K Aula 2

Por otro lado la instancia  $A_{10}$  detalla la asignación de la semana completa, con los datos de esta instancia se generaron 613,646 variables, se ejecutó por un lapso de 10,800 segundos sin embargo, no arrojó resultado alguno, al igual que la instancia  $A_{11}$  que generó 1,042,140 variables. Por lo que se decidió buscar otra metodología capaz de resolver el modelo propuesto para instancias de gran tamaño. La opción

elegida es un método compuesto de dos fases, con el que se pretende darle mayor flexibilidad al modelo propuesto.

Esta metodología consiste en la descomposición del modelo integral en dos fases, en la que la primer fase consiste en asignar el docente a la unidad de aprendizaje que debe cursar cada grupo a una cierta hora, y como segunda fase realizar la asignación de las aulas, tomando como base la solución obtenida en la primer fase.

Para comprobar el correcto funcionamiento de esta separación se hizo uso de diversas instancias las cuales se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Instancias utilizadas para la comprobación de la separación.

<b>Instancia</b>		
	$B_0$	$B_1$
<b>UA</b>	4	22
<b>Docentes</b>	22	24
<b>Días</b>	5	5
<b>Horas</b>	35	40
<b>Grupos</b>	14	14

Para la instancia  $B_0$  se obtuvo una solución en un tiempo de 256.8 segundos con un GAP de 0%, en la Tabla 4.8 se ejemplifica el resultado obtenido para uno de los 14 grupos, en el que se detalla que día y a que hora debe ser asignada cada una de las unidades de aprendizaje que debe cursar este grupo y con que docente.

Al observar que con la instancia  $B_0$  se obtuvo una solución buena, se prosiguió ahora con la instancia  $B_1$ , la cual fue generada de manera aleatoria, aumentando de forma considerable algunos datos, para corroborar el funcionamiento de este modelo de dos fases.

Tabla 4.8: Horario grupo instancia  $B_0$ .

Hora \ Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8:00-9:00	UA 1 Docente A		UA 3 Docente C		UA 2 Docente B
9:00-10:00	UA 1 Docente A	UA 3 Docente C	UA 2 Docente B	UA 2 Docente B	UA 2 Docente B
10:00-11:00	UA 2 Docente B	UA 1 Docente A	UA 2 Docente B	UA 2 Docente B	UA 1 Docente A
11:00-12:00	UA 2 Docente B	UA 1 Docente A	UA 1 Docente A	UA 3 Docente C	UA 1 Docente A
12:00-13:00	UA 3 Docente C	UA 4 Docente D	UA 1 Docente A	UA 4 Docente D	UA 4 Docente D
13:00-14:00		UA 2 Docente B		UA 1 Docente A	UA 3 Docente C
14:00-15:00	UA 4 Docente D	UA 2 Docente B	UA 4 Docente D	UA 1 Docente A	

Esta instancia se ejecutó durante un tiempo de 3,600 segundos, sin embargo, no se encontró ninguna solución. Por lo que se decidió cambiar la primer fase, realizando primero la asignación de la unidad de aprendizaje al grupo que debe de tomarla en alguna hora. Y, en base a esta solución realizar la asignación del docente y el aula.

Los datos que se muestran en la Tabla 4.9 son parte de aquella información que se utilizó para validar la primer fase, estos datos son de gran tamaño, tratando de ver el comportamiento del modelo para instancias semejantes a tamaños reales.

Tabla 4.9: Datos utilizados fase 1.

	Instancia									
	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
<b>UA</b>	3	4	4	7	10	22	38	50	82	100
<b>Días</b>	4	1	5	5	5	5	6	6	6	6
<b>Horas</b>	12	7	35	35	30	40	48	54	54	60
<b>Grupos</b>	7	14	14	3	10	16	25	39	50	61

Al ejecutar las instancias con sus respectivas variantes se obtuvieron los resultados que se exponen en la Tabla 4.10, donde se pueden exponen los tiempos



promedio obtenidos para cada instancia, además se observar que buenas soluciones se pueden obtener en tiempos muy cortos para instancias de gran tamaño.

Tabla 4.10: Tiempos de solución y GAP para cada instancia de la  $C_0$  a la  $C_9$  fase 1.

<b>Instancias</b>	<b>Variables</b>	<b>Tiempo</b>	<b>GAP</b>
$C_0$	1,029	0.594	0.0
$C_1$	2,016	2.352	0.0
$C_2$	11,326	6.743	0.0
$C_3$	5,901	0.688	0.0
$C_4$	33,100	1.243	0.0
$C_5$	324,192	3.907	0.0
$C_6$	1,779,350	18.738	0.0
$C_7$	5,372,250	1:10.990	0.0
$C_8$	18,380,300	3:44.250	0.0
$C_9$	36,972,100	7:11.574	0.0

Al comprobar que la fase 1 funcionó de forma satisfactoria se paso a la fase 2, tomando como referencia las soluciones obtenidas de la fase previa, los datos utilizados para la ejecución de esta fase para cada una de las instancias se exponen en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Datos necesarios fase 2.

	<b>Instancia</b>									
	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$
<b>UA</b>	3	4	4	7	10	22	38	50	82	100
<b>Docentes</b>	15	22	22	7	28	24	47	57	71	84
<b>Horas</b>	12	7	35	35	30	40	48	54	54	60
<b>Aulas</b>	7	14	14	10	12	20	25	30	30	40

En la Tabla 4.12 se muestran los resultados obtenidos al ejecutar la segunda fase para cada una de las instancias.

Tabla 4.12: Tiempos de solución y GAP para cada instancia de la  $C_0$  a la  $C_9$  fase 2.

<b>Instancias</b>	<b>Variables</b>	<b>Tiempo</b>	<b>GAP</b>
$C_0$	6,796	5.214	0.0
$C_1$	18,077	5.308	0.0
$C_2$	18,165	12.617	0.0
$C_3$	1,723	3.596	0.0
$C_4$	3,649	5.343	0.0
$C_5$	56,145	2:23.362	0.0
$C_6$	195,930	11.791	0.0
$C_7$	87,342	10,800.000	0.02
$C_8$	77,546	48.06	0.0
$C_9$	340,504	23.778	0.0

En la Tabla 4.13 se muestra el horario obtenido para uno de los grupos de la instancia  $C_7$ , en el que se detalla a que hora, con que docente y en que aula se debe asignar cada unidad de aprendizaje se debe al grupo.

Tabla 4.13: Horario grupo 1 instancia  $C_7$ .

<b>Hora</b> \ <b>Día</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>
<b>7:00-8:00</b>	UA 9 Docente C Aula 41			UA 31 Docente B Aula 30	UA 31 Docente B Aula 30
<b>8:00-9:00</b>			UA 29 Docente A Aula 7	UA 6 Docente E Aula 23	
<b>9:00-10:00</b>	UA 44 Docente D Aula 5	UA 44 Docente D Aula 5		UA 9 Docente C Aula 41	
<b>10:00-11:00</b>		UA 44 Docente D Aula 5	UA 9 Docente C Aula 41	UA 9 Docente C Aula 41	UA 34 Docente A Aula 1
<b>11:00-12:00</b>	UA 68 Docente F Aula 34	UA 44 Docente D Aula 5	UA 9 Docente C Aula 41	UA 44 Docente D Aula 5	UA 29 Docente A Aula 7
<b>12:00-13:00</b>	UA 68 Docente F Aula 34	UA 29 Docente A Aula 7	UA 34 Docente A Aula 1	UA 68 Docente F Aula 34	UA 29 Docente A Aula 7
<b>13:00-14:00</b>	UA 68 Docente F Aula 34		UA 6 Docente E Aula 23	UA 68 Docente F Aula 34	UA 29 Docente A Aula 7

## CAPÍTULO 5

# RESULTADOS

---

### 5.1 CASO DE ESTUDIO

El modelo expuesto en el capítulo anterior se implementó en la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma de Nuevo León, la cual cuenta con una oferta educativa de 4 carreras: Biólogo, Licenciado en Biotecnología Genómica, Químico Bacteriólogo Parasitólogo y Licenciado en Ciencias de los Alimentos. Cada una de estas carreras tiene una duración de 10 semestres.

La malla curricular para cada una de estas carreras ya esta preestablecida, por lo que en cada periodo se conoce con certeza cuales unidades de aprendizaje deben ser asignadas, en promedio por periodo se imparten 199 unidades de aprendizaje.

Las clases se asignan de lunes a viernes de las 7:00 a las 20:00 horas y teniendo se esta manera 13 horas clase de 60 minutos cada una.

La FCB cuenta con dos sedes, a las que se les denominan unidad A y unidad B, mismas que se encuentran a una distancia de entre 20 y 30 minutos caminado, ya que ambas se encuentran dentro de la Ciudad Universitaria, tal como se muestra en la figura 5.1.



Figura 5.1: Croquis ciudad universitaria

El total de aulas disponibles tomando en cuenta las dos sedes es de 35, cada una con capacidades diferentes. Además, se cuenta con 29 laboratorios cada uno adecuado a la unidad de aprendizaje a la que pertenece, 3 aulas de informática y 3 auditorios, los cuales tienen una capacidad mayor, mismos que son utilizados para eventos importantes, cursos especializados para docentes y/o estudiantes, juntas masivas, etc. en la Tabla 5.1 se encuentra la distribución de lo anterior mencionado para cada una de las sedes.

Tabla 5.1: Distribución de aulas FCB.

	Unidad A	Unidad B
<b>Aulas</b>	19	16
<b>Laboratorios</b>	19	10
<b>Aulas de informática</b>	3	
<b>Auditorios</b>	1	2

Esta institución cuenta con un total de 235 docentes, entre docentes de tiempo completo, tiempo parcial y por horas. Para la asignación de cada una de las clases, se tomará en cuenta la disposición horaria de cada uno de los docentes. Ya que

actualmente, se considera que todos los docentes están disponibles a cualquier hora del día para facilitar el proceso. Sin embargo, lo anterior no es siempre cierto, lo que llega a causar gran insatisfacción para los docentes debido a dos acontecimientos: se dejan muchas horas libres entre clases o se asignan clases, días u horas en las que el docente no se encuentra disponible, logrando de esta manera que existan múltiples cambios al inicio del periodo escolar, retrasos o faltas por parte del docente, lo que se traduce en un bajo nivel de calidad del servicio ofertado.

Actualmente, esta asignación de clases se genera por el personal administrativo del departamento escolar de la FCB, quienes se demoran días e incluso semanas en obtener la programación final. Misma que se genera en base a la programación obtenida del periodo anterior, en la cual solo se hacen los cambios necesarios al existir un nuevo requerimiento, tal como una unidad de aprendizaje que no se asignó el periodo anterior, algún cambio generado por la salida o la entrada de un nuevo docente, o alguno derivado de la petición de algún docente en ser asignado a alguna hora en específico, entre otros. Sin embargo, esta asignación termina presentando una serie de ineficiencias, por ejemplo, en algunos casos se asigna un grupo que excede la capacidad del aula, o los grupos que deben tomar una cierta unidad de aprendizaje son asignados a aulas que no están acondicionadas para esa unidad de aprendizaje.

El alcance de este trabajo se centra en realizar la asignación de horarios de la carrera de Licenciado en Biotecnología Genómica, la cual cuenta con 78 unidades de aprendizaje y 34 grupos de los 10 semestres, la distribución de las clases se puede realizar en cualquiera de las aulas y en 10 laboratorios, distribuidos en ambas sedes, además se cuenta con un total de 115 docentes disponibles, de los cuales, 45 son docentes de tiempo completo, 10 de tiempo parcial y 60 docentes por horas.

## 5.2 RESULTADOS

En esta sección se presentaran los resultados obtenidos para la asignación eficiente de recursos de la FCB específicamente para la carrera de Licenciado en Biotecnología Genómica.

La información utilizada se detalla en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Instancia caso de estudio.

<b>UA</b>	78
<b>Docentes</b>	115
<b>Días</b>	5
<b>Horas</b>	65
<b>Grupos</b>	34
<b>Aulas</b>	62
<b>Sedes</b>	2

Al alimentar el modelo se obtuvieron 13,620,672 variables en la primer fase, esta instancia se resolvió en un tiempo de 169.509 segundos, con un GAP de 0.0%. Al obtener el resultado, esta solución se tomo como referencia para alimentar la segunda fase del modelo, esta segunda fase generó un total de 1,352,787 variables, se ejecuto un tiempo de 56.238 segundos, generando una solución con un GAP de 0.0%.

Para ejemplificar el resultado obtenido, se expone la Tabla 5.2, en la que se muestra el horario obtenido para uno grupo de primer semestre, misma que contiene la unidad de aprendizaje asignada, que docente la impartirá, en que aula y a que hora, donde las clases señaladas con rojo, son aquellas que tienen mayor índice de reprobación, por lo que se decidió asignarlas a la mitad de la jornada, tal como se menciono en el Capitulo 2 en la sección 2.2.2

Se puede observar que las unidades de aprendizaje(UA) que requieren una

Tabla 5.3: Horario grupo primer semestre

<b>Día</b> <b>Hora</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>
<b>7:00-8:00</b>				UA 31 Docente 8 Aula 30	UA 31 Docente 8 Aula 30
<b>8:00-9:00</b>			UA 29 Docente 1 Aula 7	UA 6 Docente 57 Aula 23	
<b>9:00-10:00</b>	UA 44 Docente 27 Aula 5	UA 44 Docente 27 Aula 5		UA 9 Docente 23 Aula 41	
<b>10:00-11:00</b>	UA 9 Docente 23 Aula 41	UA 44 Docente 27 Aula 5	UA 9 Docente 23 Aula 41	UA 9 Docente 23 Aula 41	UA 34 Docente 1 Aula 1
<b>11:00-12:00</b>	UA 68 Docente 106 Aula 34	UA 44 Docente 27 Aula 5	UA 9 Docente 23 Aula 41	UA 44 Docente 27 Aula 5	UA 29 Docente 1 Aula 7
<b>12:00-13:00</b>	UA 68 Docente 106 Aula 34	UA 29 Docente 1 Aula 7	UA 34 Docente 1 Aula 1	UA 68 Docente 106 Aula 34	UA 29 Docente 1 Aula 7
<b>13:00-14:00</b>	UA 68 Docente 106 Aula 34		UA 6 Docente 57 Aula 23	UA 68 Docente 106 Aula 34	UA 29 Docente 1 Aula 7



---

mayor atención se encuentran a la mitad de la jornada, la cantidad de horas libres entre clase es mínima. Además, se obtuvo una reducción del 22% en la cantidad de docentes.

## CAPÍTULO 6

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### 6.1 CONCLUSIONES

La gestión eficiente de actividades dentro de una institución educativa no es tan diferente a lo que se realiza en una empresa, ya que se busca hacer el mejor uso de los recursos disponibles al menor costo posible.

Una de las actividades fundamentales de esta gestión es la planeación, la cual es altamente importante, ya que, es gracias a esta que se llevarán a cabo todas las actividades de la institución.

En el caso de las instituciones educativas, el uso eficiente de docentes, aulas, laboratorios y aulas de informática, satisfaciendo los requerimientos de los docentes, contribuyen al correcto funcionamiento de esta, ya que, si los docentes se encuentran satisfechos, estos podrían contribuir significativamente a la mejora de la calidad de la educación ofertada por la institución.

Para lograr hacer el mejor uso de estos recursos el uso de una herramienta matemática, como la programación matemática, puede considerar aspectos que en la actualidad no se consideran, además que permite que el tiempo destinado en la elaboración de los horarios de clase se reduzca considerablemente, permitiendo que

el personal encargado de esta tarea, pueda usar su tiempo en otras actividades.

El principal objetivo abordado en este trabajo de investigación fue el de incrementar la satisfacción de la institución, los docentes y los alumnos, estableciendo que la institución se consideraría satisfecha si se minimizan los gastos por pago al personal, además de que se haga el mejor uso de los recursos disponibles; los docentes se consideraron satisfechos en caso de que se minimicen los traslados entre sedes, se asigne la mayor cantidad de horas clase dentro de la jornada diaria, respetando el horario disponible de cada uno y por consiguiente se minimice la cantidad de horas libres; mientras que los alumnos se consideraron satisfechos si se asigna la mayor cantidad de unidades de aprendizaje en su hora ideal en base a los ritmos cognitivos, tomando como referencia un estudio realizado por (Vargas, 2017). Todo esto con la finalidad de ver incrementada la calidad de la educación ofertada por la institución.

Por lo cual, se propuso una metodología, que consistió en el desarrollo de un modelo matemático que considero además de las restricciones generales de un modelo de asignación de horarios, las siguientes condiciones: que solo se pueden asignar las unidades de aprendizaje en base al perfil académico de cada uno de los docentes y que estas se asignen solo en el horario disponible de cada uno de ellos, que se minimice la cantidad de traslados entre cada una de las sedes, que las unidades de aprendizaje se asignen en base a la hora ideal en base a los ritmos cognitivos de los alumnos, para tengan un mejor aprovechamiento de la clase.

Dicho modelo se formuló para ser resuelto mediante un método exacto, se realizaron experimentaciones con instancias pequeñas, en donde se consideraron 7 unidades de aprendizaje, 7 docentes, 5 días, 35 horas a la semana, 10 aulas y 3 grupos, la cual arrojó una solución óptima en un tiempo de 2.26 segundos, sin embargo, conforme el número de datos se incrementaba, la herramienta computacional utilizada ya no era capaz de encontrar una solución.

Por esta razón, se eligió un método de dos fases, en el cual, la primera fase consistió en la resolución del modelo tomando todo aquello relacionado con las uni-

dades de aprendizaje-grupos-horas diarias. Y tomando como punto de partida esta solución arrojada por la primera fase, se realizó la asignación de los docentes y las aulas.

## 6.2 CONTRIBUCIONES

Este proyecto permitió una mejora razonable en los tiempos invertidos en la distribución de clases dentro de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, pasando de dedicar días e incluso semanas a la realización de esta tarea, a una mínima cantidad de horas, permitiendo de esta manera que el personal administrativo encargado de esta actividad tenga tiempo suficiente para la realización de algunas otras actividades.

Además, se pudo hacer un uso óptimo de los recursos tanto físicos como humanos de esta importante facultad, usando al máximo la capacidad de cada uno de los diferentes tipos de docentes (en horas), respetando la disponibilidad horaria, la preferencia en cuanto a las unidades de aprendizaje a impartir y el perfil académico de cada uno de ellos, reduciendo la contratación innecesaria de docentes por hora para cubrir las clases faltantes, logrando de esta manera una reducción de los gastos por pago al personal.

Por otro lado, se hizo un uso eficiente de aulas y laboratorios, evitando exceder la capacidad de los mismos y asignando solo las clases adecuadas para cada tipo de aula en el mejor horario establecido en base a los ritmos cognitivos de los estudiantes.

Por esta razón, se hizo presente un incremento en la satisfacción de la institución gracias a que se hizo el mejor uso de sus recursos reduciendo gastos, se aumentó la satisfacción del personal docente, debido a que se consideraron características que anteriormente no se consideraban y por último, se presentó un considerable crecimiento en la satisfacción de los estudiantes, ya que se asignó a medida de lo posible,

la mayor cantidad de unidades de aprendizaje a la hora ideal en base a sus ritmos cognitivos, logrando que estos obtengan un mejor aprovechamiento de la clase.

Es así que en base a esto se presentó una mejoría en la calidad del servicio ofertado por esta organización.

### 6.3 RECOMENDACIONES

Una aportación interesante a este trabajo, sería el abordar la solución de este modelo diseñando un heurístico o un metaheurístico, que permita darle solución a problemas de mayor dimensión con otro enfoque diferente al propuesto.

También, se podría abordar la solución del modelo propuesto relajando algunas restricciones, para poder aprovechar la estructura del modelo.

### 6.4 TRABAJO A FUTURO

Realizar la asignación de horarios a la institución completa, es decir, haciendo la distribución para las cuatro carreras que se ofertan.

APÉNDICE A

# APÉNDICE

---

# BIBLIOGRAFÍA

---

- ANAYA, D. y J. M. SUÁREZ (2004), «La escala de satisfacción laboral, versión para orientadores (ESL-VO) como recurso para la evaluación de la satisfacción laboral», *Invesitigación educativa*, **22**(2), págs. 519–534.
- BALLESTEROS, P. y D. P. BALLESTEROS (2005), «¿Cómo los empresarios aplican la logística militar en sus organnizaciones?», *Scientia et technica*, (28), págs. 139–144.
- BASTÍAS, S. y M. CHACÓN (2001), «Modelamiento de asignación de enfermeras utilizando redes neuronales y branch and bound», en *Congreso Latinoamericano de ingeniría biomédica*.
- CANSECO, A., D. SÁNCHEZ, C. ZUÑIGA y E. OLIVARES (2016), «Application of linear programming for the timetabling model in technical education institution in México», *Revista Ingeniería industrial*, **15**(2), págs. 135–146.
- CARRASCO, J. (2000), «Evolución de los enfoques y conceptos de la logística. Su impacto en la dirección y gestión de las organizaciones», *Economía industrial*, **1**(331), págs. 17–34.
- CARTER, M. y G. LAPORTE (1996), «Recent developments in practical examination timetabling», *IN: Burke an ross*, págs. 3–21.
- CASTRILLÓN, O. D. (2014), «Combinación entre algoritmos genéticos y aleatorios para la programación de horarios de clases basado en ritmos cognitivos», *Revista Información y tecnología*, **25**(4), págs. 51–62.

- CAVADA, J., C. CORTÉS y P. REY (2012), «Modelo de planificación y asignación de personal para el patio de equipajes de un aeropuerto internacional», en *Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación operativa*, págs. 2033–2045.
- DAVID, P. y D. FORAY (2002), «Fundamentos económicos de la sociedad del conocimiento», *Comercio exterior*, **52**(6), págs. 472–490.
- DÍAZ, A., F. GLOVER, H. M. GHAZIRI, J. L. GONZÁLEZ, P. MOSCATO y F. T. TSENG (1996), *Optimización heurística y redes neuronales*, Paraninfo, Madrid, España.
- DE WERRA, D. (1985), «An introduction to timetabling», *European journal of operational research*, (19), págs. 151–162.
- EAE BUSINESS SCHOOL (2017), «Indicadores de calidad: ejemplos y cómo gestionarlos», URL <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/indicadores-de-calidad-optimizar-gestion/>.
- ENRÍQUEZ, E. T., C. A. C. COELLO y E. M. MONTES (2007), «Uso de una Colonia de Hormigas para resolver Problemas de Programación de Horarios», .
- ESQUIVEL, L. L. (2015), *Modelo matemático para la programación de un horario escolar con multi-localización de docentes*, Tesis de Maestría, Escuela de Ingeniería Industrial.
- FENG, X., Y. LEE y I. MOON (2017), «An integer program and a hybrid genetic algorithm for the university timetabling problem», *Optimization Methods and Software*, **32**(3), págs. 625–649.
- FINCOWSKY, E. B. F. y B. ENRIQUE (2009), *Organización de empresas*, McGraw-Hill Interamericana.
- FRANCO, J. F., E. M. TORO y R. A. GALLEGO (2008), «Problema de asignación óptima de salones resuelto con búsqueda tabú», *Revista ingeniería y desarrollo*, **1**(24), págs. 149–175.



- GARCÍA, J. F. E. (2007), *Sistema de indicadores para el diagnóstico y seguimiento de la educación superior en México*, ANUIES.
- GARCÍA, M., R. REBOLLOSO y M. DOLÍS (2014), *Indicadores educativos de la UANL*, primera edición, UANL, Monterrey, México.
- GODINO, C. M. B., M. C. MONTIEL y M. L. MONTIVEROS (2015), «La planificación estratégica y los nuevos escenarios de la Educación Superior», *Kairos*, **19**(35).
- HEDERICH, C. y N. CAMARGO (2005), «Ritmos atencionales en las escuela colombiana», *Revista colombiana de educación*, (49), págs. 38–58.
- HERNÁNDEZ, A. E. (2009), «Modelación matemática de la distribución de la carga docente de los profesores en la universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos», *Revista avanzada científica*, **12**(1).
- HERNÁNDEZ, R., J. MIRANDA y P. A. REY (2008), «Programación de horarios de clases y asignación de salas para la facultad de ingeniería de la universidad de Diego Portales mediante un enfoque de programación entera», *Revista ingeniería de sistemas*, **22**(1), págs. 121–141.
- HILLIER, F. y G. LIEBERMAN (2006), *Introducción a la Investigación de operaciones*, 8ª edición, McGraw Hill, México.
- ISHIKAWA, K. (1985), *¿Qué es el control total de la calidad? El modelo japonés*, Prentice Hall.
- JARA, J. (2011), «Modelo de asignación de recursos policíacos en la vía pública», .
- JIMÉNEZ, Y. (2013), «Modelo de una estructura de interfaz del entorno científico del sistema de innovación para educación superior técnica y tecnológica: caso instituto tecnológico de soledad Atlántico-ITSA», en *Innovación en investigación en ingeniería: factores claves para la competitividad global*, págs. 1–8.

- JUSTE, R. P., F. L. RUPÉREZ, D. P. ORTIZ y P. FERNÁNDEZ (2000), *Hacia una educación de calidad: gestión, instrumentos y evaluación*, tomo 81, Narcea Ediciones.
- LOZADA, J., D. HOYOS, C. PEÑUELA y J. SANTA (2013), «Herramientas heurísticas para la asignación óptima de horarios de clase», *AVANCES investigación en ingeniería*, **10**(1), págs. 68–74.
- MARÍN, J. C. y P. A. MAYA (2015), «Modelo lineal para la programación de clases en una institución educativa», *Revista Ingeniería y ciencia*, **12**(23), págs. 47–71.
- MILLET, F. (2011), «Indicadores que mejoran la calidad en los centros educativos.», *Comunicación presentada en IX Jornadas de redes de investigación en docencia universitaria: Diseño de buenas prácticas docentes en el contexto actual. Instituto deficiencias de la Educación, Universidad de Alicante, Alicante, España.*
- MILLÁN, V. E. A. (2016), *Uso de metaheurística para la asignación óptima de recursos en la planificación de la atención de vuelos en el aeropuerto internacional José Joaquín de Olmedo (Aijjo) por una empresa privada*, Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática.
- MÁRQUEZ, J. (2012), *Optimización de la programación en talleres de mecanizado*, Tesis Doctoral, Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos.
- NAZARENO, A. y D. LÓPEZ (2013), «Diseño de un modelo de programación entera para la calendarización de los partidos de la serie A de la primera división del fútbol ecuatoriano», .
- OJEDA, R. (2015), «Toma de decisiones en la asignación de personal a horarios de trabajo empleando programación lineal: el caso de una empresa de atención telefónica en México», *Revista Investigación administrativa*, **44**(115), págs. 41–54.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD y ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA

- SALUD (2001), *Logística y gestión de suministros humanitarios en el sector salud*, primera edición, Organización Panamericana de la salud, Washington, D.C.
- OSMAN, I. y J. KELLY (1996), *Meta-heuristics: Theory and applications*, Kluwer academic publishers.
- PALACIOS, S. G. (1996), *Instituciones educativas para la calidad total:(configuración de un modelo organizativo)*, Editorial La Muralla.
- PAU, J. y R. DE NAVASCUÉS (2001), *Manual de logística integral*, primera edición, Ediciones Díaz de Santos, Madrid, España.
- PRADENAS, L. y E. MATAMALA (2012), «A mathematical Formulation and solution to schedule surgeries with human resource constraints in a public hospital», *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, **20**(2), págs. 230–241.
- RAMÍREZ, P. V. (2005), *Ritmos circadianos en los procesos atenciones del ser humano*, Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (), url<http://dle.rae.es/?id=6nVpk8P—6nXVL1Z>.
- RODRÍGUEZ, W. (2010), «El concepto de calidad educativa: una mirada crítica desde el enfoque histórico-cultural», *Revista Electrónica. Actualidades Investigativas en Educación*, **10**(1).
- SÁENZ DE MIERA, A. (1998), «La fábrica del saber», *Fundación Universidad-Empresa. Madrid*.
- SAGENMÜLLER, I. (2016), «Asignación de horarios en universidades: ¿Por qué es tan complicada?», URL <https://www.u-planner.com/es/blog/planificacion-academica-por-que-la-asignacion-de-horarios-es-tan-compleja>.
- SAGENMÜLLER, I. (2018a), «BIMS: 3 formas de mejorar la gestión de instalaciones en universidades», URL <https://www.u-planner.com/es/blog/>

- bims-3-formas-de-mejorar-la-gestion-de-instalaciones-en-universidades.
- SAGENMÜLLER, I. (2018b), «Cómo maximizar la eficiencia de la asignación de la carga académica», URL <https://www.u-planner.com/es/blog/asigna-la-carga-academica-a-docentes-de-forma-eficiente>.
- SARMIENTO, A., C. TORRES, C. QUINTERO y J. MONTOYA (2012), «Programación y asignación de horarios de clases universitarias: un enfoque de programación entera», en *Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference*.
- SUÁREZ, V. F., ÁLVARO GUERRERO y O. D. CASTRILLÓN (2013), «Scheduling of school hours based on cognitive rhythms using a non-dominated sorting genetic algorithm NSGA-II», *Revista Información tecnológica*, **24**(1), págs. 103–114.
- TAHA, H. A. (2004), *Investigación de operaciones*, segunda edición, Pearson, México, DF.
- UNIVERSIDAD CATÓLICA BOLIVIANA DE SAN PABLO (2007), «Importancia de la planificación de recursos humanos en la empresa», *Perspectivas*, págs. 7–28.
- VALENZUELA, J., M. RAMÍREZ y J. ALFARO (2009), «Construcción de indicadores institucionales para la mejora de la gestión y la calidad educativa», *Revista iberoamericana de evaluación educativa*, **2**(2), págs. 60–81.
- VARGAS, E. (2017), *Auto percepción de atención sostenida y aprendizaje en estudiantes de Psicología*, Tesis Doctoral, Facultad de Psicología.
- VELASCO, J. (2013), *Gestión de la logística en la empresa. Planificación de la cadena de suministros*, primera edición, Ediciones Pirámide, Madrid, España.
- VERGARA, J. C. y V. M. QUESADA (2011), «Análisis de la calidad en el servicio y satisfacción de los estudiantes en ciencias económicas en la Universidad de Cartagena mediante un modelo de ecuaciones estructurales», *Investigación educativa*, **13**(1), págs. 109–122.

- 
- VITASEK, K. (2013), *Supply chain management terms and glossary*, Supply Chain Visions.
- WITENBERG, J. P. (1999), *Métodos y modelos de investigación de operaciones*, tomo 1, Editorial Limusa.
- WREN, A. (1995), «Scheduling, timetabling and rostering a special relationship?», en *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Springer, págs. 46–75.

# RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

---

Lilia del Carmen Barrón Tobías

Candidato para obtener el grado de  
Maestría en Logística y Cadena de Suministo

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS: CASO DE ESTUDIO EN  
UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR MEXICANA

Lilia del Carmen Barrón Tobías, primogénita de Maria Carmen Tobías Carranza y Perfecto Barrón Colorado, nació el 19 de febrero de 1994 en el estado de Nuevo León.

Curso la educación básica en el estado de Nuevo León, concluyendo sus estudios profesionales, como Licenciado en Matemáticas en la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas en la Universidad Autónoma de Nuevo León a la edad de 21 años.

Al termino de sus estudios profesionales comenzó a laborar como docente en la Facultad de Ciencias Biológicas en la Universidad Autónoma de Nuevo León, institución educativa a la que actualmente pertenece.