

**MODELO MATEMÁTICO PARA LA PROGRAMACIÓN DE UN HORARIO
ESCOLAR CON MULTI-LOCALIZACIÓN DE DOCENTES**

Linda Lucía Esquivel T.

Código 0900909

Maestría en Ingeniería – Énfasis en Ingeniería Industrial



UNIVERSIDAD DEL VALLE

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL – ÉNFASIS EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL**

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI, 21 DE SEPTIEMBRE DE 2014

**MODELO MATEMÁTICO PARA LA PROGRAMACIÓN DE UN HORARIO
ESCOLAR CON MULTI-LOCALIZACIÓN DE DOCENTES**

Linda Lucía Esquivel T.

Maestría en Ingeniería – Énfasis en Ingeniería Industrial

Director

Juan Pablo Orejuela, M.Sc



UNIVERSIDAD DEL VALLE

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL – ÉNFASIS EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL**

MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI, 21 DE SEPTIEMBRE DE 2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

JUAN PABLO OREJUELA- Director

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, 22 de septiembre de 2014

DEDICATORIA

Dedico este logro principalmente a Dios, pues Él sabe poner las cosas en su justo momento y lugar para que se desarrollen efectivamente.

También a mi esposo Hernando Quintero Quintero, mi ángel de la guarda, por saberme dar el espacio necesario y apoyarme no sólo con su propio espacio sino su conocimiento de la vida, su experiencia como ser humano dedicado al servicio de los demás y su amor como esposo. Conozco de la vida que el amor se puede definir en un solo nombre y es el suyo: Hernando.

LINDA E.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, el profesor Juan Pablo Orejuela, por su dedicación, compromiso y orientación en este proceso. Su aporte en el camino metodológico y en la investigación en general fue de gran valor por cuanto se delineó una meta que poco a poco, con constancia y empeño, llegó efectivamente a su fin.

LINDA E

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	11
2. EL PROBLEMA	13
2.1 PLANTEAMIENTO	13
2.2 JUSTIFICACIÓN	17
2.2.1 Justificación Teórica.....	17
2.2.2 Justificación Práctica	18
2.3 OBJETIVOS.....	19
2.3.1 Objetivo General.....	19
2.3.2 Objetivos Específicos.....	19
2.4 ESTADO DEL ARTE	20
2.5 MARCO CONCEPTUAL.....	33
3. FACTORES DE LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS ESCOLARES.....	38
3.1 INTERESES DE LA IE.....	38
3.2 INTERESES DE LOS DOCENTES.....	40
3.3 LEGISLACION DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL.....	41
4. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	45
4.1 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	45
4.2 DEFINICIÓN DE PROFESORES	46
4.2.1 Requerimientos del MEN	47
4.2.2 Requerimientos de la IE	47
4.2.3 Requerimientos de los profesores	48
4.3 SUPUESTOS Y RESTRICCIONES DEL MODELO.....	49
4.4 FORMULACIÓN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA GENERACIÓN DE UN HORARIO ESCOLAR	51
4.4.1 Notación y definición	51
4.4.2 Formulación Verbal y Matemática	56
5. CASO DE ESTUDIO.....	67
5.1 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	68
5.1.1 Variables que cambiaron con el nuevo Plan de Estudio.....	68
5.1.2 Aplicación del modelo de programación lineal a la unidad de estudio.....	70

5.1.3	Herramienta computacional.....	73
5.2	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	73
5.3	ANÁLISIS DEL MODELO	76
5.3.1	Análisis de la estructura	76
5.3.2	Análisis de sensibilidad.....	80
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
6.1	CONCLUSIONES	81
6.2	RECOMENDACIONES	83
7.	BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS		88

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Tipos de Modelos presentados en la literatura.....	31
Tabla 2. Número de docentes secundaria jornada mañana.....	69
Tabla 3. Grupos por sede de secundaria en la IE.....	71
Tabla 4. Profesores que imparten en jext por sede y los períodos de tiempo	72
Tabla 5. Tamaño de los grupos por instancia	73
Tabla 6. Resultados de las instancias de profesores con horario especial	74
Tabla 7. Diferencia de algunas restricciones del modelo con y sin horario especial.	77
Tabla 8. Resultados de las instancias de profesores sin horario especial.....	78
Tabla 9. Resultados de las instancias en igual condiciones	79

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Docentes compartidos entre las sedes de la IE en secundaria.....	15
Figura 2. Factores de la programación de horarios escolares	44
Figura 3. Tipos de Profesores	47
Figura 4. Representación del caso de estudio.....	67
Figura 5. Tiempo de ejecución de las instancias con y sin horario especial	78
Figura 6. Tiempo de ejecución de instancias en igual condiciones.....	79

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO 1. Asignación e intensidad horaria de asignatura por grupo y profesor en la Sede1	88
ANEXO 2. Asignación e intensidad horaria de asignatura por grupo y profesor en la Sede2	89
ANEXO 3. Programación en Lingo del modelo propuesto con horario especial	90
ANEXO 4. Programación en Lingo del modelo propuesto sin horario especial.....	93

1. INTRODUCCIÓN

La educación no es ajena a la globalización, la cual demanda que el sistema educativo promueva bachilleres con conocimientos y competencias necesarias para enfrentar los desafíos del entorno. Por lo tanto, el Estado se enfrenta a múltiples decisiones en el medio educativo en torno a factores como cobertura, uso de recursos, calidad, nivel de servicio y muchos otros, los cuales afectan día a día el proceso enseñanza-aprendizaje que ocurre en las instituciones educativas.

La Ley General de la Educación (MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, Ley General de Educación, 1994), en uno de sus ítems otorga autonomía a las instituciones educativas (IE), que en cabeza del rector decide y realiza acciones relativas a la vida institucional, a través del Proyecto Educativo Institucional (PEI)

De ahí la importancia del papel que juega la gestión del rector (en sus distintas dimensiones directiva, académica, administrativa y financiera) de direccionar la institución de tal forma que incida en el clima organizacional, la planificación estratégicamente, como por ejemplo el Plan de Estudio, contextualizando el entorno de la IE, y encaminados a mejorar el rendimiento interno del sistema educativo, objetivo clave de la misión y visión institucional. Para lograr lo anterior es fundamental la utilización de herramientas adecuadas que sirvan de apoyo a la toma de decisiones en las diferentes gestiones de la IE, buscando la integración de éstas, y sirviendo así de plataforma para que la institución alcance la calidad educativa.

El Ministerio de Educación Nacional (MEN) exige a los rectores eficiencia (uno de los tres ejes políticos de la Revolución Educativa 2002) respecto a que con los mismos recursos se mejore el servicio educativo; consecuentemente es fundamental el uso estratégico de los diferentes tipos de recursos. Por ser empresas de servicios, las IE tienen la particularidad de que el recurso más importante es el humano (los docentes), ya que tienen un alto grado de contacto con los estudiantes, razón de ser de la educación y la cual se presenta en el desarrollo del horario escolar. De ahí se deriva la importancia de generar horarios que permitan al cuerpo docente desarrollar los diferentes ejes temáticos de cada una de las materias. Lo anterior obliga a la imperiosa necesidad de una

administración adecuada y eficaz de dicho recurso, para que cumpla con las diferentes actividades curriculares institucionales sin incurrir en desgaste emocional o estrés hacia el cuerpo de docentes y permitiendo así potencializar la educación hacia altos estándares de calidad.

En el problema de programación de horarios escolares la dificultad surge porque la IE es afectada por varios factores como es su entorno y las características específicas de la misma, en la cual, la variabilidad en algún de estos factores implica configurar un nuevo horario (Del Barco Gamarra, 2010). De lo anterior surge la importancia de herramientas computacionales que minimicen el tiempo para la realización de la programación de horarios, con resultados que satisfagan los factores de servicio educativo, la eficiencia de la IE y así mismo favorezcan con tiempo y espacio al cuerpo de docentes en su desempeño pedagógico.

La motivación del presente trabajo es desarrollar un modelo matemático para la construcción de un horario escolar, cuyo entorno es una IE del sector público, conformada por varias sedes. El horario tendrá en cuenta el PEI y algunas necesidades y requerimientos de los docentes de secundaria, a través del desarrollo de un modelo metodológico utilizando una herramienta basada en la programación.

2. EL PROBLEMA

2.1 PLANTEAMIENTO

Las IE buscan administrar eficientemente el recurso humano hacia la satisfacción de las necesidades y requerimientos institucionales. Las IE a partir del 2002 (MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, Ley 715, 2001) surgieron de la fusión de dos o más escuelas educativas, generando que docentes de secundaria sean compartidos en las diferentes sedes y jornadas que la conforman. Para lo cual se deben realizar planes de horarios óptimos que permitan el flujo de docentes y la ejecución del plan de aula en su totalidad, evitando exponer a los docentes a peligros ajenos a la IE, por ejemplo, en el tiempo de trasladarse de una sede a otra o garantizándoles tiempo cuando sea imperiosa la necesidad de movilizarse.

Concebir una configuración como la distribución más efectiva de la carga horaria a la que debe ser sometido un grado cualquiera, nos da a entender que existe un conjunto de soluciones factibles dentro del sistema analizado, del cual se espera una configuración que optimice o agregue valor a los participantes del sistema. En la mayoría de los casos el valor agregado tiene relación directa con los docentes, quienes requieren que la estructura de sus tareas educativas siga el patrón deseado (Del Barco Gamarra, 2010).

Esta problemática es conocida en la bibliografía como School Course Timetabling, que es un caso especial de Programación (Scheduling), que consiste en programar horarios académicos para cada uno de los docentes que imparten clases en las dos sedes de secundaria, jornada de la mañana, de tal forma que se minimice el traslado entre sedes de los docentes compartidos, lo cual es determinante en el desarrollo eficaz y eficiente del servicio educativo y satisfaga el PEI.

Estos programas deben tener en cuenta La Ley General de Educación, que es el soporte del PEI de cada una de las IE, donde se plasma el Plan de Estudio¹ (recuperado de

¹ Es el esquema estructurado de las áreas obligatorias y fundamentales y de áreas optativas con sus respectivas asignaturas que forman parte del currículo de los establecimientos educativos.

www.mineduacion.gov.co/1621/article-79419.html) que considera el entorno y las necesidades de la comunidad educativa.

Para la generación del horario escolar se ha distribuido los grupos de estudiantes en los distintos salones, es decir se conoce la demanda de grados y la capacidad de los salones satisface el volumen de los estudiantes matriculados de cada uno de los grados; además la carga académica e intensidad horaria de cada uno de los docentes y sus deseos y preferencias que les garantice tranquilidad psicológica y espacio en la realización de su labor formativa. El problema radica que la IE se enfrenta a cuatro clases de docentes en secundaria que son:

- Docentes ordinarios cuya carga académica es impartida de 6° a 9° grado dentro de la jornada normal (6:30 a.m. a 12:30 p.m.) en la misma sede, tengan o no horas extras y los docentes de 10 y 11 grado sin horas extras.
- Docentes en jornada extendida (6:30a.m. a 2:30 p.m.) que corresponde sólo a aquellos docentes que imparten en los grados 10 y 11 y tienen horas extras entre ambas sedes, las cuales se programan de 12:40 p.m. a 2:30 p.m..
- Docentes con horario especial; de igual manera imparten en jornada extendida pero sin tener horas extras, sólo con la intención de colaborar con la I.E, por lo cual se les debe generar un horario especial. Este escenario se origina porque el total de horas en dicha jornada, entre las dos sedes de los grados 10 y 11, es superior a la cantidad de horas de extras de los docentes que imparten en dichos grados.
- Docentes compartidos, lo que implica traslado entre sedes.

La generación del horario escolar concierne sólo al nivel secundario de las sedes jornada de la mañana debido a que entre ellas se comparten el 18,18% del total de docentes de la IE, mientras que en la sede 1 jornada de la tarde no imparte ningún docente de las otras sedes. A continuación la figura 1 muestra los profesores compartidos en las diferentes sedes y jornadas.

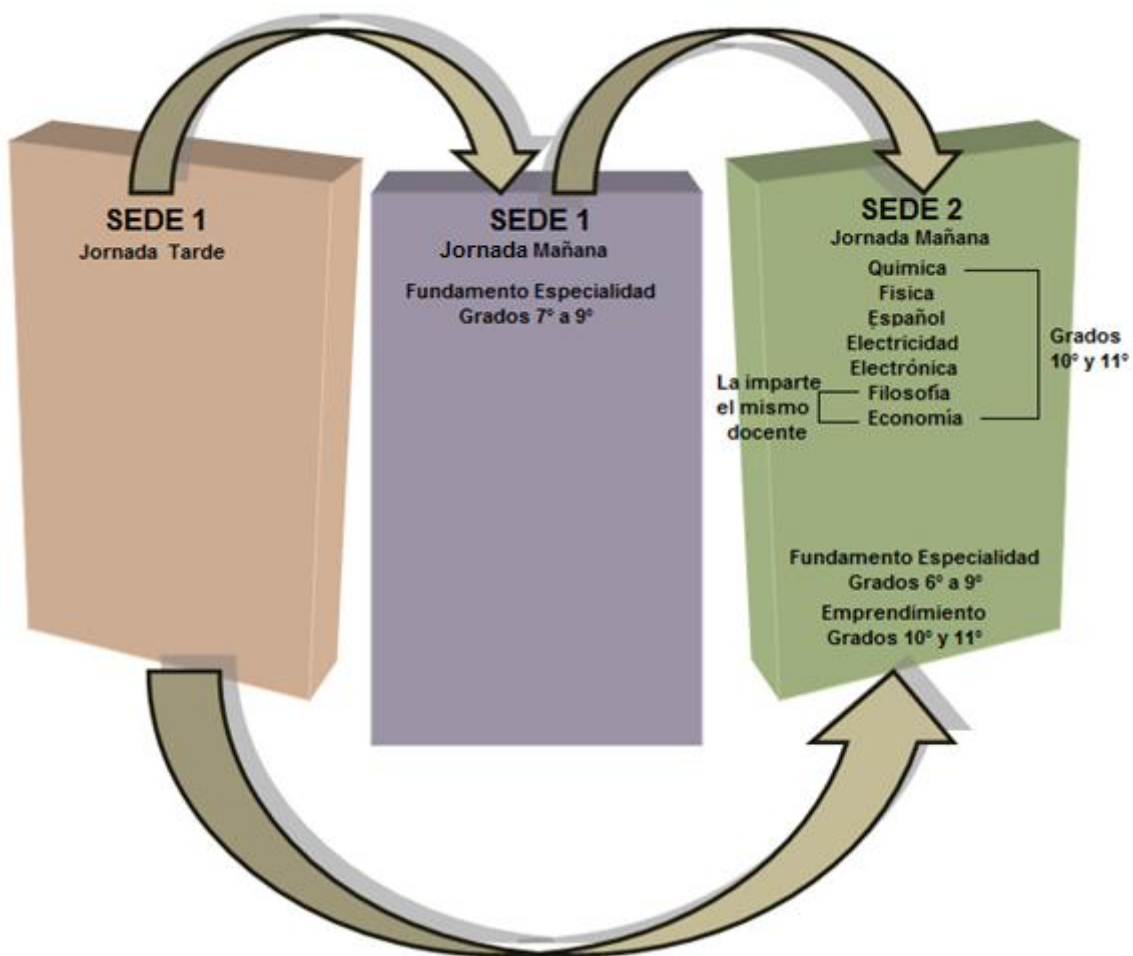


Figura 1. *Docentes compartidos entre las sedes de la IE en secundaria*

Fuente: La autora

Todo lo anterior determina factores que generan un gran volumen y variedad de restricciones y limitaciones. Es por esto que el problema va creciendo más, aumentando su complejidad, dificultando su resolución y propiciando horarios que no satisfacen los requerimientos del cuerpo de docentes que, aunque no son de obligatorio cumplimiento, sí originan desgaste emocional y físico.

El School Course Timetabling cuando hace referencia a la organización específicamente de horarios que es uno de los problemas más abarcados en la actualidad es situado dentro de uno de los problemas más difíciles de tratar dentro de la complejidad computacional de los problemas NP-Completo. Para dar solución a este tipo de problemas surgieron una serie de algoritmos conocidos como metaheurísticas, que son algoritmos

altamente eficientes y capaces de dar respuesta a problemas muy complejos a través de procedimientos simples, pero con una base matemática interna bastante compleja. Entre estos algoritmos se pueden destacar: Templado Simulado, Búsqueda Tabú, Grasp, Colonia de Hormigas, entre otros (Gómez Toro y otros, 2009).

2.2 JUSTIFICACIÓN

2.2.1 Justificación Teórica

El “Scheduling Problem” ha sido objeto de intensa investigación durante varios decenios, y es usado como un término general para cubrir determinados tipos de problemas, como por ejemplo la programación de actividades, asignación de personal, en transporte, clínica, entre otros. Debido a su gran extensión, se hace necesario clasificar “Scheduling Problems” hacia actividades especializadas, como el “Timetabling” (Programación de horarios), que en el campo de la educación pueden clasificarse en tres categorías, a saber: “Examination Timetabling”, “School Course Timetabling” y “University Course Timetabling”.

Esta investigación hace referencia al género de “School Course Timetabling” (Programación de horarios de cursos escolares), en la cual se han desarrollado diversos modelos, cada vez con mayor grado de complejidad.

Este problema ha sido estudiado en colegios de Australia, Holanda, Brasil y Bolivia, y está relacionado con el modelo de programación de las restricciones de la IE desde diversos enfoques y con la utilización de diversas técnicas, que en pocos casos han considerado las necesidades de los docentes en el momento de desarrollar la programación de horarios escolares.

Desde hace varios años la complejidad de estos problemas ha llamado la atención de ingenieros y científicos, interesados en encontrar métodos que ofrezcan en un tiempo razonable buenas soluciones; de ahí la importancia de utilizar modelos matemáticos y técnicas de programación para la resolución de este tipo de problemas, permitiendo la administración eficiente del cuerpo de docentes, por ser un factor de gran importancia en empresas de servicio.

2.2.2 Justificación Práctica

La programación de horarios escolares es un tema importante en las IE debido a que refleja la administración del recurso humano, aspecto determinante en los índices de eficiencia interna y calidad educativa, e influye en el clima institucional, el éxito de las actividades que en su interior se realiza; brinda mayor satisfacción a los docentes que solicitan un horario de acuerdo a restricciones, que aunque no son obligatorias en algunas ocasiones, sí proporcionan tranquilidad, garantizando que el personal goce de los beneficios que le brinda una carga académica balanceada sin descuidar los intereses de la IE, en el aspecto de la calidad del servicio educativo.

La realización de un horario a mano significa analizar sólo un conjunto de probabilidades, no se exploran diferentes soluciones, por lo tanto queda limitado a ser una simple adecuación de una solución anterior en detrimento de las necesidades de los docentes.

Los problemas a que se enfrenta la IE en la generación del horario escolar son primero, existen docentes compartidos que imparten en más de una sede, por lo que se debe tener en cuenta el tiempo de traslado en el horario y otros permanecen toda la jornada en dicha sede, y segundo docentes que laboran en jornada extendida, los cuales en muchos casos varían cada año, ya que no les interesa trabajar horas extras, obligando a la persona encargada de la programación a modificar todo el horario nuevamente.

Una política de Bienestar Social laboral debe responder tanto a la satisfacción de los requerimientos del PEI como a los individuales del docente, dentro del contexto laboral, asumiendo los nuevos retos institucionales y haciendo partícipes a los docentes en la implementación de los planes, programas y proyectos, de tal manera que se combinen los fines de la educación y los del Estado, con sus fines de desarrollo como persona (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2002).

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo matemático para la programación de horarios escolares de secundaria, que satisfaga las restricciones, la multi-localización y las necesidades del cuerpo de docentes.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer los factores relevantes para la construcción del horario escolar de la IE.
- Caracterizar el problema para identificar los principales factores de la IE y del cuerpo de docentes.
- Establecer el conjunto de restricciones sobre el régimen educativo, el PEI y los condicionantes de los docentes a considerar dentro de la propuesta metodológica.
- Formular el modelo matemático que satisfaga el planteamiento de las restricciones.
- Evaluar el modelo desarrollado por medio de la aplicación a un caso de estudio para analizar su efectividad en los resultados obtenidos.

2.4 ESTADO DEL ARTE

La asignación de recursos es un problema muy común al cual nos enfrentamos día a día, desde la asignación en un centro comercial del número de cajas por turno, hasta la calendarización de vuelos comerciales. En el ámbito académico, uno de los problemas más interesantes es el de la generación de horarios escolares, precisamente porque lo enfrentan cada ciclo algunas instituciones educativas (Chávez y otros, 2006).

Dentro de la literatura existe una escasa cantidad de formulaciones matemáticas para el abordaje del problema de asignación de horarios escolares. Los modelos de programación matemática existentes resuelven versiones del problema en una adaptación muy simplificada del caso real, dificultando la generalización de estos como herramientas de generación de horarios (Mejía y Partenina, 2010).

de Werra (1985) describe el modelo class-teacher básico sin incluir todas las restricciones que suelen estar presentes en casos reales. El problema consiste en asignar sesiones a períodos de tal manera que ningún profesor o materia se involucre en más de una sesión a la vez. También contempla la no-disponibilidad de profesores y grupos. Su formulación es la siguiente:

Conjuntos

c_i = materia i , $i=1..m$,

t_j = profesor j , $j=1..n$,

p_k = período de tiempo k , $k=1..p$,

$R_{m \times n} = r_{ij}$ = número de sesiones dada por el profesor t_j de la materia c_i (matriz de requerimientos)

Variable

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{si la clase } c_i \text{ y el profesor } t_j \text{ se encuentran en el período } k \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases}$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^p x_{ijk} = r_{ij} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq 1 (i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, p)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq 1 (j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, p)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq t_{ik} (i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, p)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq c_{jk} (j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, p)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, p)$$

Por no tener el modelo una función objetivo, compuesto solo por restricciones, el problema básico es de búsqueda y no de optimización, y su solución es cualquier horario válido.

Nakasuwan y otros (1999) proponen un modelo que busca la programación de cursos a salones de clases, como resultado del creciente número de estudiantes que cada año enfrenta la Universidad, donde el parámetro más importante es el número y la capacidad de los salones. El modelo equilibra el número de estudiantes en cada curso y también el número de salones de clase utilizados diariamente con fines de mantenimiento.

Este modelo parte del número de estudiantes matriculados y la capacidad de los salones. Con respecto a los docentes, del número de asignaturas que impartirá y su distribución en bloques de tiempo; adicionalmente sus preferencias sobre la disponibilidad de períodos de tiempo. La función objetivo minimiza los costos penalizando cuando el número de estudiantes es menor a la capacidad del salón, incurriendo en costos por cada silla vacía, así como cuando se asigna un curso a un salón. Para excluir el conflicto de que un grupo de estudiantes asistan a más de una asignatura al mismo tiempo, los autores plantean agrupación de operación como una herramienta para aumentar la eficacia del modelo y la exactitud del resultado, la cual consiste, en un primer paso, en la selección de la materia a la que asisten sólo un grupo de estudiantes, el segundo paso es elegir la asignatura a la que dos grupos de estudiantes asisten, posteriormente los atendidos clasificados por tres grupos y así sucesivamente hasta que se completen las asignaturas en consideración. El resultado fue aceptable ya que satisfizo todas las restricciones.

Pacheco (2000) recurrió al uso de una técnica heurística llamada Algoritmos Genéticos para optimizar los recursos tanto materiales como humanos con que cuenta una Universidad. La elaboración de horarios consiste en asignar óptimamente tiempos y lugares a los diferentes cursos que son impartidos en una Institución Educativa, con el objetivo de satisfacer algunas restricciones importantes que se presenten, como son el número limitado de aulas, de laboratorios, de salas de cómputo, de espacios entre un curso y otro, etc. La principal restricción (central en toda asignación de horarios), es que no existan choques, es decir que dos o más cursos que esperan recibir los estudiantes o impartir los profesores no sean asignados simultáneamente.

Después de describir el algoritmo, la investigadora procede a aplicarlo asumiendo que el número de cursos puede tomarse como una función que da cuenta de cada curso en referencia a la disponibilidad de espacios. Tras las otras funciones creadas a partir de la calendarización de los cursos, se pudo constatar en la interfaz adecuada que el modelo cumplió con el objetivo propuesto, pero quedó una tarea pendiente en torno a la número de materias impartidas en referencia a los espacios disponibles, por lo que este asunto debió resolverse de otra manera, en la coordinación de programa y mediante la asignación manual de horarios.

Dowsland y Díaz (2003) exponen la definición, aplicación y alcances del concepto de Recocido Simulado, como técnica y estrategia para la optimización de recursos disponibles. En formato de tutorial, los autores plantean que todo problema susceptible de ser abordado por esta estrategia, debe observarse desde dos perspectivas: genérica y específica y que, de acuerdo con eso, se evidencian los componentes esenciales desde los que se intervendrá en el problema. Luego de eso, proceden a enunciar algunos casos en los que esta técnica ha sido útil y eficiente, proyectando sus beneficios hacia un amplio espectro de posibilidades, dado que es un modo de controlar paulatinamente los cambios que se pueden producir al introducir movimientos en los algoritmos tradicionales de búsqueda local.

Los autores enuncian los antecedentes técnicos y prácticos del Recocido Simulado, proponiendo que esta técnica es la consecución refinada de las anteriores, sin demeritar su utilidad. Para esto, ejemplifican con el problema del viajante o el de coloración de un grafo, argumentando que el principal aporte del Recocido Simulado es la valoración de los

verdaderos costes respecto a las decisiones genéricas y específicas en referencia a los impactos sufridos en los varios entornos del problema. Finalmente, los investigadores exponen toda una serie de aplicaciones prácticas del Recocido Simulado (RS), concluyendo que una de las atracciones del Recocido Simulado es que resulta muy fácil trabajar con él en cualquier problema que presente una estructura de entorno natural, como ocurre en muchos problemas de combinación operatoria. Sin embargo, reconocen que todavía falta avanzar en la consolidación de esta estrategia, ya que siempre habrán imponderables que se escapen a cualquier previsión.

Mirhassani (2006) plantea un modelo que permite el mejoramiento en la distribución de la programación de exámenes de una Universidad, que es una medida de la cantidad de tiempo que cada estudiante tiene entre exámenes, aplicando programación entera. El autor parte de un horario de exámenes predefinido que se debe modificar, debido a que algunos estudiantes no podrán graduarse porque tienen cursos pendientes de semestres anteriores. El estudiante debe inscribirse en el o los cursos y puede omitir una clase debido a una superposición en el programa, pero no puede omitir un examen. Así, el modelo provee horarios de exámenes adecuados distribuyéndolos lo máximo posible, ofreciéndoles a los estudiantes un mejor espacio para estudiar entre exámenes.

El artículo considera tres tipos de exámenes en enfrentamiento que le puede suceder a un estudiante:

- Dos exámenes en el mismo período de tiempo (restricción dura)
- Dos exámenes el mismo día (restricción blanda)
- Dos exámenes en dos días consecutivos (restricción blanda)

La función objetivo consiste en reducir al mínimo el número de los diferentes tipos de exámenes en choque.

El modelo generó una función objetivo igual a cero, lo cual significó que el horario de exámenes libre de conflicto generado proporciona mejor tiempo de estudio para los estudiantes.

Saldaña y otros (2007), plantean dos modelos de Programación Lineal Entera para un problema de Programación de horarios para universidades, cuyo objetivo es minimizar el número total de asignaciones en períodos de tiempo no deseados; la penaliza mediante la implementación de parámetros que restringen la asignación de clase-profesor en determinados períodos de tiempo no deseados y balancean la carga de trabajo diaria para cada grupo de alumnos. A partir de unas restricciones fuertes y débiles los autores plantean:

- Timetabling (TT) Modelo inicial. Se formula el problema como Class-Teacher Timetabling con Asignación de Aulas.
- Timetabling con Tipos de Aulas (TTA). Al modelo formulado TT se le realizan modificaciones consistentes en definir conjuntos de Tipos de Salas, con características similares y generalmente de igual capacidad.

Tanto para el Modelo inicial como para el Modelo con tipo de aulas, los autores le aplican el método de Relajación de Restricciones en dos fases. La primera es relajar un conjunto de restricciones, resultando menos variables y restricciones, y a partir de la obtención de un resultado del problema relajado se resuelve para cada día. Para determinar la calidad de cada uno de los modelos, se generaron 10 instancias a partir de datos reales, donde las 9 primeras instancias son subconjunto del problema completo. Todos los problemas resueltos obtienen soluciones que respetan el máximo número de asignaciones por día para cada grupo, cumpliéndose la Medida de Calidad. Finalmente los autores comparan los 4 modelos con respecto a dos variables que son la función objetivo y el tiempo computacional, que demuestra que los tiempos computacionales son más altos en los métodos que no incluyen Relajación de Restricciones, y no existe un enfoque que obtenga la mejor función objetivo en todas las instancias. Para las instancias pequeñas tienen una solución de calidad mejor que para instancias mayores.

Hernández y otros (2008), abordan un problema de programación de horarios y asignación de salas de una Universidad utilizando programación entera. En la Institución educativa existen dos tipos de docentes: catedrático y auxiliar; este último no posee restricción en la asignación debido a que la imparten estudiantes de la universidad, pero se desea que sea el día miércoles. El modelo asigna simultáneamente todas las clases de

un curso a algún patrón horario-sala. Además, cada curso debe seguir alguno de los cuatro patrones impuestos para la realización de sus clases:

- Patrón 1: combinación entre un día de la semana y un bloque horario.
- Patrón 2: combinación entre un día de la semana y dos bloques horarios consecutivos.
- Patrón 3: debe contener dos días de la semana distintos y un bloque horario igual para ambos.
- Patrón 4: combinación de tres días de la semana y bloque horario diferentes.

La función objetivo representa la minimización de clases auxiliares asignadas a bloques horarios que no pertenecen al día miércoles, más la cantidad de clases asignadas al Auditorio de la Facultad, debido a que es un recurso escaso.

El objeto central es mostrar las ventajas de la utilización del modelo matemático, comparando los resultados obtenidos entre el modelo propuesto y el sistema manual que utiliza la Universidad, a través de distintos indicadores de desempeño, los cuales miden el cumplimiento de las condiciones deseables y los objetivos de la Facultad. El modelo propuesto proporciona siempre un horario factible que satisface todos los requerimientos obligatorios y mejora en forma significativa el cumplimiento de las condiciones deseables, además de obtener la solución óptima en un corto tiempo, la flexibilidad ante cambios en los requerimientos y condiciones deseables y la posibilidad de explorar múltiples escenarios.

Franco y otros (2008) se proponen, en un artículo, basarse en el modelo matemático del problema en una institución educativa, trabajado con una metodología conocida como *Búsqueda Tabú* para encontrar la mejor distribución entre la demanda estudiantil por acceso a la educación, las asignaturas ofertadas y los salones donde se dictarán. Los investigadores dan cuenta de una serie de intentos y aplicaciones por dar la respuesta más adecuada a este problema, encontrando que se han catalogado como “métodos” que, a su vez, se dividen en varias connotaciones: secuenciales, de clusterización, basados en restricciones y metahurísticos. A esta última categoría pertenece la Búsqueda Tabú, y ha servido –en este contexto- para distribuir y asignar convenientemente salones tanto en el colegio como en la universidad, guardando las proporciones debidas, pero

siempre manejando una serie de variables como: programación, disponibilidad del profesor, salas, número de estudiantes y criterio de optimización.

Los autores exponen las características principales de la Búsqueda Tabú, sus generalidades, su función objetivo y su configuración integral y los problemas que más susceptibles son de ser intervenidos por sus paradigmas. A continuación exponen la codificación de las categorías usadas como vectores y matrices. Comprueban que la aplicación matemática del modelo es factible y, a través de diagramas, describen el algoritmo constructivo. A través de una serie de pasos que tienen que ver con la memoria y la asociación, de afinidades y la observación de frecuencias, los autores trabajan cuatro instancias que dan como resultado unos niveles óptimos de distribución, acotando que este tema, por su complejidad, suscita mayor interés por parte de la comunidad educativa, pues uno de los temas más complejos siempre será la gran movilidad en la programación de los horarios de los profesores.

Sánchez y otros (2009) abordan un problema de calendarización de horarios de un colegio, como un caso de optimización, aplicando la técnica de programación lineal entera, donde el objetivo es maximizar la asignación de materias evitando que se traslapen para los grupo de estudiantes. Con respecto a las restricciones institucionales, el modelo plantea una programación de calidad con relación a que la carga de trabajo diaria de los alumnos sea balanceada, pues existe un número máximo de asignaturas por día y que se pueden impartir en cada período.

Se implementó el modelo en el software de optimización LINGO 10 y se realizaron diferentes pruebas en las cuales se incrementaron gradualmente en el número de grupos, asignaturas y profesores a los horarios de tal forma que se llegó a un punto donde la restricción de capacidad del software limitó la solución total del problema, por lo que decidieron restringir el número de todas las variables. Sin embargo, se encontró una solución óptima.

Durante el desarrollo de la aplicación y puesta a prueba del programa computacional, los autores observaron que resultaba más conveniente asignar las materias a los bloques de tiempo, ya que fue crítica la asignación de aquellas materias que son requeridas en períodos consecutivos o llamados también multiperíodos.

Bustamante y Peña (2009) hacen referencia a la problemática “Labor Scheduling Problem” el cual consiste en programar el horario de trabajo o los turnos de los distintos empleados de forma que se minimicen los gastos de personal y los costos de oportunidad esperados.

Se aplicó a una organización de servicios, específicamente a una clínica, donde el factor preponderante es la variabilidad de la demanda según la hora, además se tuvo en cuenta el bienestar del recurso humano, las necesidades de los clientes, la capacidad organizacional, el nivel de servicio esperado y la normatividad vigente.

Los autores propusieron resolver el problema a través de la programación de turnos mediante una técnica de solución exacta, específicamente un modelo de programación lineal. El modelo de programación propuesto logró alcanzar los objetivos planteados equilibrando los intereses de la empresa y de los empleados enmarcados en un entorno de cumplimiento de la legislación laboral vigente.

Del Barco Gamarra (2010) plantea un modelo de programación lineal mixta a un problema de asignación de horario escolar de una institución educativa boliviana, conformada por niveles de preescolar, primaria y secundaria. La institución labora en dos turnos con un total de 7 períodos de clase. Existen dos tipos de docentes titulares y contratados. Los titulares tienen la prioridad en la conformación de la agenda y los contratados, en términos de las horas disponibles y horarios deseados, pueden ser susceptibles de alterar y no deben acumular un determinado número de horas semanales. Por condiciones pedagógicas existen clases simultáneas de vocación (botánica, geometría, y comunicación). Adicionalmente la asignatura de educación física se imparte al mismo tiempo debido a que se divide en categorías.

La función objetivo trata de optimizar la relación de intereses entre los actores del sistema, es decir, determina una estructura donde los intereses del educando y los educadores se entrelazan y permiten configurar un horario que cumpla en mayor medida los requerimientos de la situación real.

El autor evaluó también el modelo aplicando un enfoque basado en búsqueda local para disminuir el costo computacional. Los resultados fueron comparados con los del enfoque

exacto. Con respecto a la eficiencia operacional, el enfoque heurístico presenta ventajas con relación al enfoque exacto, pero este último nos asegura la optimización a un determinado nivel de costo operacional, mientras los resultados de la heurística con respecto a las agendas de los profesores con mayor prioridad dentro de la institución, presenta mayor número de baches que la correspondiente a la del enfoque exacto.

Ribic y Konjicija (2010) proponen un modelo para la generación de un horario escolar de secundaria utilizando programación lineal entera de dos fases. El propósito es reducir la complejidad del problema mediante la restricción inicial de cinco períodos de tiempo que corresponde a los días de la semana, en la primera fase, las clases se asignan a los días, y durante la segunda fase, cada clase en un día se asigna a intervalos de tiempo. Los resultados experimentales demostraron la eficacia numérica del enfoque.

Mejía y Partenina (2010) usaron la estrategia conocida como *Timetabling* para resolver el problema de distribución horaria en una universidad colombiana. La profusión de salones, disponibilidades, estudiantes y profesiones ofrecidas hace que la asignación de horarios sea un asunto complejo, más aún, como lo reconocen los propios investigadores, hay escasez de recursos. Para esto, se inicia conociendo la disponibilidad horaria de cada profesor y se indagan los protocolos sobre asignación horaria en las facultades respectivas, reconociendo las estrategias que desde la planeación apoyan la mejor distribución de esos horarios. Los autores hacen una revisión del estado del arte en este apartado, encontrado varias maneras sistemáticas para resolverlo, finalmente planteando y argumentando que el modelo particular es el que más conviene por el uso adecuado de los parámetros de trabajo.

Cuando se pasa a representar el problema, los investigadores dan cuenta que empleando la técnica del algoritmo se decanta de una forma consecuente la resolución a esta dificultad, logrando establecer la secuencia establecida desde el timetabling, a grandes rasgos: Inicio, evaluación, ejecución, selección de individuo y entorno y fin. De esta manera comprobaron su utilidad y eficacia, aportando un método ágil para mejor asignación de los horarios en esa institución de educación superior.

Miranda y Rey (2012) presentan un modelo de programación entera para resolver un problema de asignación de salas de clase a cursos de una Facultad de Medicina. Para

esta asignación se consideran predefinidos y conocidos los horarios de clases y los requerimientos de salas de clase (tipo y cantidad) para cada sesión de los cursos, además de la capacidad de las salas y las cantidades de alumnos inscritos en cada curso.

Debido a que los requerimientos de salas de clases no se repiten periódicamente todas las semanas, los autores plantean un modelo que encuentra una asignación de salas de clase para todas las clases de un período completo, considerando distintas combinaciones de salas de clase.

El modelo se aplica para un caso de prueba con datos reales obteniéndose buenos resultados, logrando utilizar la menor cantidad de salas posibles, permitiendo liberar recursos de salas de clase de manera permanente para otras actividades.

Cifuentes (2012) plantea un modelo de programación lineal binaria para la solución de un problema Student Scheduling Problem-SSP, aplicado a la Facultad de Ingeniería Industrial de una Universidad, donde el 75% de los estudiantes se matriculan en la jornada nocturna. La metodología que se plantea tiene el propósito de apoyar al estudiante en la construcción de su horario de manera particular, debido a la complejidad a que se enfrenta semestre a semestre, como por ejemplo el no estar nivelado en su ciclo académico, cambio de carrera en el interior de la institución, retiro temporal, entre otros y a cumplir con restricciones como:

- El número determinado de créditos a cursar por semestre.
- El mínimo de horas que debe ver a la semana.
- Las ventanas de tiempo para los cursos.
- Los prerrequisitos existentes entre materias.

El autor desarrolla un modelo matemático teniendo en cuenta las restricciones reales que tienen los estudiantes al programar sus clases. Adicionalmente para la realización del modelo se tuvo en cuenta las materias críticas o prioritarias que los estudiantes deben ver para su formación académica, y que son prerrequisitos para un mayor número de materias posteriores, y así definir las materias que hacen parte de la ruta crítica. La función objetivo es maximizar para cada estudiante, el número de materias vista al semestre y la prioridad de las mismas.

Se realizaron 10 instancias en las cuales se varía el número de estudiantes y cursos. Se plantea los resultados obtenidos para cada instancia en términos de valores de la función objetivo y tiempos computacionales, además se evalúa el porcentaje de ocupación que presenta la sección respecto al total de estudiantes que la pueden cursar y el porcentaje de estudiantes que lograron de acuerdo a su programación de materias, tomar todos los cursos que tenían permitidos. Los mejores resultados en términos a los índices se dieron para aquellas instancias en las cuales el número de estudiantes y de materias programadas para ser dictadas por semestre fue mayor.

Para medir que tan sensible es el modelo al cambio de prioridades en las materias de la ruta crítica, se realizaron un conjunto de pruebas haciendo variaciones en el parámetro, concluyendo que no se generan variaciones altamente medibles en los resultados del modelo.

Sarmiento y otros (2012) presentan un modelo de programación lineal entera aplicado al diseño de horarios de clases para un programa de pregrado de una Universidad nacional. El modelo tiene en cuenta la disponibilidad de salones, los horarios de los profesores, los requisitos de recursos audiovisuales, entre otros, de tal manera que se optimice la capacidad instalada y mejore los tiempos de respuesta para el proceso de programación de aulas de clase. Para reducir el tiempo computacional del modelo se crean parámetros auxiliares que reducen el número de variables.

El modelo logró realizar una asignación que cumple con todas las restricciones y tiene en cuenta algunas condiciones deseables. En la evaluación del modelo se hizo necesario el desarrollo de dos fases. La primera fase entrega la asignación de materias a cada una de las franjas horarias, mientras en la segunda logra la asignación de salones de tal manera que no haya cambios de salón en las materias que se dictan el mismo día en bloque. El proceso se realiza tantas veces como sea necesario, hasta que cada materia que se dicte en bloque se dicte en el mismo salón.

En la tabla 1 se resumen las técnicas de optimización implementadas al abordar problemas de programación, por ejemplo de aulas, docentes y exámenes, entre otros.

		MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN							
		AGENTES EN LA F.O.			EXACTOS	METAHEURÍSTICAS			
AUTORES	AÑO	PROF.	ESTU.	INST.	PLE	BÚSQUEDA DE TABÚ	RECOCIDO SIMULADO	ALGORITMOS GENÉTICOS	COLONIA DE HORMIGAS
Nakhaswan, Srithip, y Komolavanij	1999			X	X				
Pacheco Aguero	2000							X	
Dowsland y Díaz	2001						X		
Mirhassani	2006		X		X				
Saldaña y otros	2007		X		X				
Téllez Enríquez Emanuel	2007								X
Hernández, Miranda y Rey	2008			X	X				
Franco Baquero y otros	2008		X	X		X			
Sánchez, Cano y Reyes	2009		X		X				
Bustamante de la Cruz y Peña Calderón	2009	trabajador	cliente	clínica	X				
Del Barco Gamarra	2010	X	X		X				
Ribic y Konjicija	2010			X	X				
Mejía Caballero y Partenina Arboleda	2010			X				X	
Miranda y Rey	2012			X	X				
Cifuentes Taborda	2012		X		X				
Sarmiento-Lepesqueur y otros	2012			X	X				

Tabla 1. Tipos de Modelos presentados en la literatura

Fuente: La autora

La mayor parte de la literatura consultada hace referencia a la PLE, pero en universidades, es decir, a instituciones de educación superior. Muy pocas se orientan a colegios y escuelas; además ninguna presenta restricción(es) referente a traslado de profesores entre sedes propias de una institución nuclear, como tampoco docentes con horario especial, de las características puntuales de este proyecto. Lo que sí se presenta en los modelos es la programación de las asignaturas en períodos consecutivos.

Por otra parte, con respecto a la función objetivo, la mayor parte de ellos se orientan al manejo y la disponibilidad de los recursos universitarios (audiovisuales, salones, auditorios entre otros). Así mismo, se tienen en cuenta las necesidades de los estudiantes, por ejemplo, que haya espacios para estudiar entre examen y examen, que

no haya exceso de períodos diarios de clase o programar determinadas asignatura en períodos de tiempo del día por ejemplo a las primeras horas.

En las pocas ocasiones que se tienen en cuenta las preferencias de los docentes, prevalece la restricción blanda que hace referencia a la disponibilidad de períodos de tiempo en determinados días de la semana para aquellos docentes de tiempo completo.

2.5 MARCO CONCEPTUAL

Tratándose de un modelo que reviste grados de complejidad, la estrategia ha sido recurrir a diversas técnicas de solución estricta. La referencia es a la heurística y a la metaheurística, pues proporcionan variables efectivas, adecuadas y, sobre todo, completamente satisfactorias en relación al tiempo requerido. De los antecedentes expuestos, se extractaron algunas técnicas o métodos de optimización:

- **Algoritmos Genéticos**

Se diferencia de los métodos tradicionales de optimización porque trabaja con parámetros codificados, es decir, susceptible de limitarse a un código en secuencias de longitud de carácter limitado sobre un alfabeto infinito. Los algoritmos genéticos sirven para conseguir sistemas con rasgos esenciales semejantes. Esto ha suscitado el interés de la comunidad académica por esta técnica, pues abre el espectro de posibilidades de solución y está orientada en la misma línea de los procesos de selección natural que, en líneas generales, describen la manera en que los organismos que están mejor preparados para adaptarse a un entorno lo hacen, dejando rezagados a aquellos que no lo están en relación con los cambios que se puedan presentar, drástica o paulatinamente, en un entorno.

Debido a esto, a que los criterios de búsqueda en un entorno natural pueden ser mayores que en otros de mayores reservas, los Algoritmos Genéticos permiten explorar en más posibilidades de solución que aquellos que pueden presentar, como ya se mencionó, los mecanismos tradicionales. Ya que en términos de la selección de varios conjuntos de datos hay que decantar las mejores soluciones que se muestran, los Algoritmos Genéticos permiten varias combinaciones entre las posibilidades de solución, propiciando de esta manera una respuesta mucho más exacta. Por el método de descarte y de elección de las combinaciones más adecuadas, se genera una especie de reproducción de esas selecciones, originando una cada cierto tiempo una modificación al azar (Pacheco, 2000).

- **Coloreo de Grafos**

Se trata básicamente de un método por el cual se puede identificar si un par de objetos de similar apariencia o no pertenecen a la misma clase, y esto se hace segmentando el conjunto de objetos en categorías de acuerdo con unos paradigmas definidos. El conjunto general y sus elementos se presentan en forma de grafo, y los vértices del subgrafo correspondiente son los que componen el conjunto de objetos. Si existen vértices pareados unidos directamente por una arista en el grafo principal, no es posible que pertenezcan a la misma clase. Para reconocerlo de manera más factible, se procede a colorear las clases identificadas de manera particular. A partir de ahí, los métodos de solución se pueden movilizar de diferentes maneras, entre ellos, la estrategia de enumeración implícita o de “vuelta atrás” que significa que dos vértices clasificados de cualquier manera y vueltos a clasificar, quedan sistemáticamente en una secuencia en la que se pueden ejecutar dos pasos: hacia adelante y hacia atrás, alternativamente, hasta encontrar la respectiva solución.

En su manejo, esta técnica también permite aplicar el método del algoritmo genético, aduciendo que es el usuario finalmente quien decide el número de indagaciones locales y generales que debe hacer antes de considerar su terminación (Pecina, 2002).

- **Recocido Simulado**

Dirigida a abordar los asuntos de optimización combinatoria, la técnica del Recocido Simulado es una de las más usadas por su facilidad de adaptación a diversas situaciones. Permite usarse como variante de una búsqueda local para el manejo de movimientos ascendentes, con lo cual se espera impedir quedar enganchado tempranamente en un óptimo local. No es propiamente un algoritmo, sino una habilidad heurística dependiente de un número dinámico de decisiones para que su diseño y utilización se consideren factibles, por eso su uso, aunque generalizado, debe hacerse con sumo detalle para que funcione bien. Y esas decisiones se dividen fundamentalmente en dos variantes: las genéricas y las específicas.

El Recocido Simulado “engaña” en la presentación de soluciones parciales, de modo que el usuario las reconozca a través de las posibles inconsistencias que pueda presentar y, de esa manera, proceder a controlarlas en sus movimientos de escape aplicándoles una

función de probabilidad; controlando el decrecimiento de una constante señalada, la solución tiende a optimizarse, no obstante requerir, dicha constante, de tiempos de cálculo prohibitivos, dependiendo de las mejores decisiones específicas y genéricas que se puedan tomar el encuentro de las soluciones finales. En otras palabras, para problemas matemáticos “el congelamiento” equivale reducir la proporción del entorno a cero para controlar los cambios presentados, tomando como base de esa reducción la función de coste incidiendo con eso en el número de restricciones no satisfechas representadas en ella (Dowsland y Díaz, 2003).

- **El Ant System (AS)**

Originalmente diseñado para la biología, específicamente para la entomología y basado en la dinámica del forrajeo de las hormigas, es decir, del cálculo y determinación de los caminos más cortos entre el nido de la colonia y los lugares donde se encuentran los alimentos, es también un modelo usable para calcular los desempeños de un algoritmo base para la programación de horarios. El AS es un algoritmo correspondiente al llamado Ant Colony Optimization (ACO), metaheurística de optimización que es utilizada, entre otras, para lo ya señalado, y se puede describir con más propiedad recurriendo al problema del agente viajero, que se trata de encontrar, en el menor tiempo posible la distancia más corta entre ciudades que debe recorrer un viajante, pasando sólo una vez por cada ciudad o lugar comprendido entre los dos puntos.

El AS tiene también algunas variantes, como el Elitist Ant System (EAS), una refinación del AS original que, en términos de la entomología, consiste en reforzar el mejor camino hallado depositando mayores niveles de feromona, optimizando su uso: cada hormiga deposita una porción de feromona que, a su vez, es manipulada en decrecimiento y en proporción a un nivel correspondiente para ella. En líneas generales, el AS es adaptable a otro tipo de problemas con diferentes componentes, pero con similares objetivos: tratar de encontrar las mejores distribuciones en el menor tiempo con que se cuenta. Los resultados se calculan con base en 20 ejecuciones del algoritmo por problema planteado, lo cual, comparado con otros algoritmos disponibles, plantea algunas limitaciones que son, en líneas generales, normales por la presentación y emergencia de hechos fortuitos en la realidad (Tellez, 2007).

- **Algoritmos Evolutivos**

Basados también en la Teoría de la Evolución de Charles Darwin, que comprende, por ejemplo, al Algoritmo Genético, y que contempla también la producción y selección de nuevas poblaciones en referencia a sus procesos de recombinación. La primera aplicación de esta técnica, fue para la adecuada asignación de unos horarios de clases en una escuela italiana; también los algoritmos que se inscriben en el conjunto general de los evolutivos pueden combinarse de tal manera que se los pueda usar, por ejemplo, para ejecutar cálculos para obtener los horarios en referencia a profesores, clases e infraestructuras físicas.

Los algoritmos evolutivos pueden trabajar hasta con 20 soluciones, por lo tanto no son reducibles a un modelo general explicativo de todas las realidades, aunque sí se pueden adaptar algunas particularidades que, guardando las proporciones y ajustándose a cambios, pueden intervenir en situaciones concretas. De todas maneras, los algoritmos evolutivos, al permitir series de combinaciones (hibridación) entre sus diversas expresiones, generan resultados óptimos, por ejemplo, en las pruebas porcentuales cuando se le asigna el número máximo de 20 en mutación y de 80 en recombinación, propiciando con esto que en la tercera instancia se vaya expresando la optimización. De esta manera, los horarios quedan correctamente asignados y se evidencia un menor impacto en los cruces de esos horarios (Mejía, 2008).

- **Búsqueda Tabú**

Se trata también de una técnica de optimización con base combinatorial, cuyos fundamentos se encuentran en la inteligencia artificial, y es utilizada para calcular, por ejemplo, la asignación de salones en instituciones educativas de enseñanza básica, media y superior. Este algoritmo usa técnicas avanzadas de exploración sensible y nemotecnia, por lo cual su estructura o configuración inicial puede ser conseguida de manera aleatoria. La obtención adecuada de esta configuración puede llevar al resultado más óptimo posible, por el contrario, una mala decisión puede ocasionar la dispersión en la búsqueda desde la máquina procesadora. Un aspecto básico del la Búsqueda Tabú es el de la Generación de Vecindario, que permite la selección del mejor objeto (la mejor función objetivo) en tanto que su paso a la configuración vecina no tenga limitaciones (por eso se le llama tabú), y tenga el aspecto de un algoritmo goloso.

Si el mejor vecino de la lista de candidatos está clasificado como tabú por el proceso de optimización, el criterio de aspiración permite que sea seleccionado a pesar de la prohibición, si la configuración analizada mejora la configuración incumbete. Si en el vecindario originado no existe ninguna configuración que mejore la función objetivo, entonces se selecciona la mejor de las peores, sólo si no ha sido catalogada como tabú durante el proceso de optimización, evitando así quedar atrapado en óptimos locales (Franco y otros, 2008).

Se puede concluir que la exploración de este marco conceptual fue útil en referencia a la comprobación del manejo del modelo propuesto en el presente trabajo, por su carácter de exactitud. Aunque este modelo requiere de una mayor capacidad en el sistema operativo y de más tiempo para la consecución de resultados (contrario a lo que sucede con los modelos aquí referenciados), éstos se generan con más precisión y exactitud, al punto de requerir menos estrategias de búsqueda que los modelos que se acabaron de exponer.

A continuación, y con detalle, se expondrán los factores que sirven como fundamento de la programación del horario escolar, correspondiente al marco legal, PEI y los beneficios de una eficiente gestión educativa en el manejo del recurso humano. Cabe aclarar que el PEI y la normatividad que rige la educación a nivel nacional corresponden a restricciones de obligatorio cumplimiento (duras) y los deseos del cuerpo docente no son de exigencia de obediencia (blandas), por lo tanto es importante tener claro dichos factores pues serán planteados en el modelo como restricciones duras y en la función objetivo las blandas.

3. FACTORES DE LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS ESCOLARES

Los problemas de programación de horarios escolares (School Course Timetabling) consisten en generar horarios para tareas definidas, buscando cumplir de la mejor manera con condiciones o requerimientos específicos. En el área educativa, se requiere la creación y planeación de horarios de la forma más eficiente posible en cuanto a la designación y organización del personal docente, horarios, salones y equipos para conseguir un mejor aprovechamiento de los recursos y tendiente a lograr un mejor desempeño de los estudiantes y docentes (Téllez, 2007).

La construcción del horario se soporta del PEI; donde la organización de cada una de las asignaturas² debe permitir el flujo de docentes, ofreciendo un nivel del servicio educativo que cumpla con los estándares³ (recuperado de: <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-87872.html>) implementados por el MEN, y así lograr estudiantes competitivos frente al mercado laboral o universitario, contribuyendo al desarrollo social del país y a mejorar la calidad de vida.

Para abordar el School Course Timetabling se deben considerar los intereses de la IE, los docentes y las leyes educativas que en el contexto colombiano se sistematizan desde el MEN soportado, a su vez, por la Ley Educativa Nacional.

3.1 INTERESES DE LA IE.

A partir de la Ley 715 del 2001, aparece una disciplina llamada gestión educativa, que se origina por la descentralización de la educación pública a entes territoriales o departamentales, y estos a su vez a las IE. La gestión educativa es un factor determinante

²Asignatura son las materias que forman un plan de estudios, y que se dictan en los centros educativos. La diferencia entre asignatura y materia, es que esta última suele tener asignada un aula donde se dicten las clases, sus propios profesores, ciertos horarios, etc. <http://definicion.de/asignaturas/>

³Un estándar en educación especifica lo mínimo que el estudiante debe saber y ser capaz de hacer para el ejercicio de la ciudadanía, el trabajo y la realización personal. El estándar es una meta y una medida; es una descripción de lo que el estudiante debe lograr en una determinada área, grado o nivel; expresa lo que debe hacerse y lo bien que debe hacerse. <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-87872.html>

para la consolidación de la autonomía escolar, donde el papel protagónico lo tienen los rectores en las I.E (Recuperado de <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-87221.html>).

La gestión educativa, se define como el “proceso mediante el cual se organizan las interacciones afectivas, sociales y académicas de los individuos que son actores de los complejos procesos educativos y que construyen la IE para lograr la formación de los individuos y de los colectivos” (Correa, Álvarez y Correa, 2009).

Una inadecuada programación de horarios se refleja en los siguientes factores:

- Eficiencia: uno de los ítems que aparece en el plan de reorganización liderado por el gobierno nacional en el 2001, es que, con los mismos recursos se debe optimizar su uso y aumentar la eficiencia del servicio educativo; lo anterior implica que las IE deben utilizar eficientemente todos aquellos recursos inherentes a él, específicamente el humano y lograr alcanzar su misión institucional.
- Servicio educativo: debido a que la IE es la fusión de dos o más instituciones, es necesario un modelo organizativo basado en el trabajo en equipo, uso apropiado y articulado de los recursos para la enseñanza y el aprendizaje. Debido a que los docentes en secundaria son compartidos, es necesaria la programación de horario, teniendo en cuenta sus limitaciones y deseos, y puedan desarrollar sus clases en forma eficiente y eficaz, canalizado hacia el alcance de los objetivos institucionales.
- Clima organizacional: el cuerpo de docentes es el activo más importante que posee una IE, y su buen manejo contribuye al logro de los objetivos y a la creación de un buen clima organizacional. De ahí la importancia de una programación de horario óptimo, enfocado a la satisfacción de los requerimientos de los servidores docentes, de tal forma que beneficie sus necesidades y desempeño laboral; caso contrario origina estrés, inconformidad, entre otras, viéndose reflejadas en inseguridad personal, el no cumplimiento de la hora cátedra, por el tiempo que necesita para trasladarse de una sede a otra.

3.2 INTERESES DE LOS DOCENTES

Uno de los principios básicos de la gestión es el reconocimiento del valor de las personas en la organización. Por esta razón, el tema central de la gestión “es la comprensión e interpretación de los procesos de la acción humana en una organización” (Correa y otros, 2009)

Para el MEN la gestión educativa resalta la importancia de una buena gestión para el éxito de las IE, toda vez que ésta incide en el clima organizacional, en las formas de liderazgo y conducción institucional, en el aprovechamiento óptimo de los recursos humanos y del tiempo, en la planificación de tareas, la distribución del trabajo y su productividad (Recuperado de <http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-87221.html>).

Dependiendo de la institución educativa, las preferencias de los educadores varían. En el caso de las Universidades donde existen docentes hora cátedra y tiempo completo, las necesidades para el primer caso, se convierten en obligatoriedad cumplimiento (lo que se pudo concluir en la literatura referenciada) y hace referencia a la disponibilidad de días y franjas horarias que pueden impartir, y el resultado de dichos horarios son la base para la programación de los docentes tiempo completo. En los colegios no se presenta esta situación ya que el cuerpo de docentes en la gran mayoría de los casos es tiempo completo.

De ahí la importancia a partir de las necesidades individuales, deseos y preferencias del cuerpo de docentes para poder cumplir con su labor de forma eficiente, comprender e interpretar la acción docente, sus motivaciones, lo que los impulsa a mejorar su desempeño y a potenciar las IE, caso contrario origina inseguridad, discordia y malestar entre los docentes. Se contemplan las siguientes:

- Preferencias de espacios de tiempo.
- El horario debe ser lo más compacto posible, con un mínimo de espacios vacíos, distribuido proporcionalmente en la semana.
- Asignaturas de intensidad de 2 o más horas en la semana programarlas en bloques.
- Minimizar el traslado de los profesores compartidos entre sedes.

- Programación de horarios especiales.

Es importante reconocer el gran valor que representa para el cuerpo de docentes que tengan en cuenta sus preferencias, deseos y necesidades lo que redundará en una gran satisfacción y motivación, logrando que el potencial humano se encamine a una mejor calidad educativa.

3.3 LEGISLACION DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL

El ente regulador de la educación en Colombia es el Ministerio de Educación Nacional (MEN). A continuación se presentan los pasos que se siguieron hasta llegar a la educación que en la actualidad se ofrece:

- Constitución Política de Colombia 1991 (Art. 67 y 68). El derecho, la responsabilidad y la gratuidad por parte del estado hacia la educación.
- MEN. Ley General de la Educación. Ley 115 de febrero 8 de 1994 (Art. 73). Obligatoriedad de la elaboración y puesta en marcha del PEI.
- El Congreso de Colombia. Ley 715 de diciembre 21 de 2001 (Capítulo II, Art. 6, 7 y 8). Competencias de las entidades territoriales departamentales, municipales y distritales. (Capítulo III, Art. 9 y 10) Creación y competencias de las IE y funciones del rector respectivamente.
- MEN. Decreto 1860 de agosto 3 de 1994 (Capítulo III, Art. 14, 15 y 16). Contenido, adopción y obligatoriedad del PEI.
- Diario Oficial No. 44.901 jueves 15 de agosto de 2002. Decreto Número 1850 de agosto 13 de 2002, por el cual se reglamenta:

Jornada Escolar (Capítulo I, Art. 1): Es el tiempo diario que dedica el establecimiento educativo a sus estudiantes en la prestación directa del servicio público educativo, de conformidad con las normas vigentes sobre calendario académico y con el plan de estudios.

Horario de la jornada escolar (Capítulo I, Art. 2): Será definido por el rector o director, al comienzo de cada año lectivo, de conformidad con las normas vigentes, el PEI y el plan de estudios.

Período de clase (Capítulo I, Art. 3): Son las unidades de tiempo en que se divide la jornada escolar para realizar las actividades pedagógicas propias del desarrollo de las áreas obligatorias y fundamentales y de las asignaturas optativas contempladas en el plan de estudio. Definido por el rector o director del establecimiento educativo al comienzo del año lectivo.

Establecimientos educativos con varias jornadas escolares (Capítulo I, Art. 4): Los rectores de los establecimientos educativos, que por necesidades del servicio vienen atendiendo más de una jornada escolar, definirán y desarrollarán, con el apoyo de las entidades territoriales certificadas, estrategias o actividades para cumplir con las treinta (30) horas semanales y las mil doscientos (1.200) horas anuales definidas para la educación básica secundaria y media en el artículo 2 del presente decreto, las cuales distribuirá el rector a los docentes de la institución, al comienzo de cada año lectivo en forma diaria o semanal, dentro o fuera de los mismos establecimientos educativos.

Asignación académica (Capítulo II, Art. 5): Es el tiempo que, distribuido en períodos de clase, dedica el profesor a la atención directa de sus estudiantes en actividades pedagógicas de conformidad con el plan de estudios.

El tiempo total de la asignación académica semanal de cada docente de educación básica secundaria y educación media, será de veintidós (22) horas efectivas, las cuales serán distribuidas por el rector o director en períodos de clase de acuerdo al plan de estudios.

Distribución de actividades de los docentes (Capítulo II, Art. 7): Para el desarrollo de las cuarenta (40) semanas lectivas de trabajo académico con estudiantes, definidas en el calendario académico. El rector o director del establecimiento educativo, fijará el horario de cada docente, distribuido para cada día de la semana, discriminando el tiempo dedicado al cumplimiento de la asignación académica y a las actividades curriculares complementarias.

Jornada laboral de los docentes (Capítulo III, Art. 9): es el tiempo que dedican los docentes al cumplimiento de la asignación académica; a la ejecución de actividades curriculares complementarias, entre otras.

Cumplimiento de la jornada laboral (Capítulo III, Art. 11): Los docentes de los establecimientos educativos estatales deberán dedicar todo el tiempo de su jornada laboral al desarrollo de las funciones propias de sus cargos con una dedicación mínima de ocho (8) horas diarias.

El tiempo que dedicarán los docentes al cumplimiento de su asignación académica y a la ejecución de actividades curriculares complementarias en el establecimiento educativo será como mínimo de seis (6) horas diarias, las cuales serán distribuidas por el rector o director de acuerdo con lo establecido en el artículo 7 del presente decreto.

DECRETO 3621 de diciembre 16 del 2003 (Art. 3) reglamenta: El servicio por hora extra es aquel que asigna el rector o director del respectivo establecimiento educativo, a un docente de tiempo completo por encima de la jornada ordinaria que le corresponda según las normas vigentes, cuando estas no pueden ser asumidas por otro docente de tiempo completo dentro de su asignación académica reglamentaria.

Para ello, el rector deberá solicitar y obtener la autorización y la disponibilidad presupuestal expedidas por la Secretaría de Educación o quien haga sus veces, de la correspondiente entidad territorial nominadora. Sin el cumplimiento de este requisito, el rector no puede asignar las horas extras.

Parágrafo. A un docente de tiempo completo se le podrán asignar hasta cinco (5) horas extras semanales en la misma jornada o hasta diez en jornada contraria, y deben ser horas efectivas de sesenta (60) minutos cada una.

La consideración de todos los factores mencionados se convierten en restricciones duras y blandas para dar solución al *School Course Timetabling*, dando como resultado un programa de la asignación académica de cada uno de los docentes y grados.

En la siguiente figura se presenta una visión global de los factores que se encuentran involucrados dentro del problema de la programación de horarios escolares.

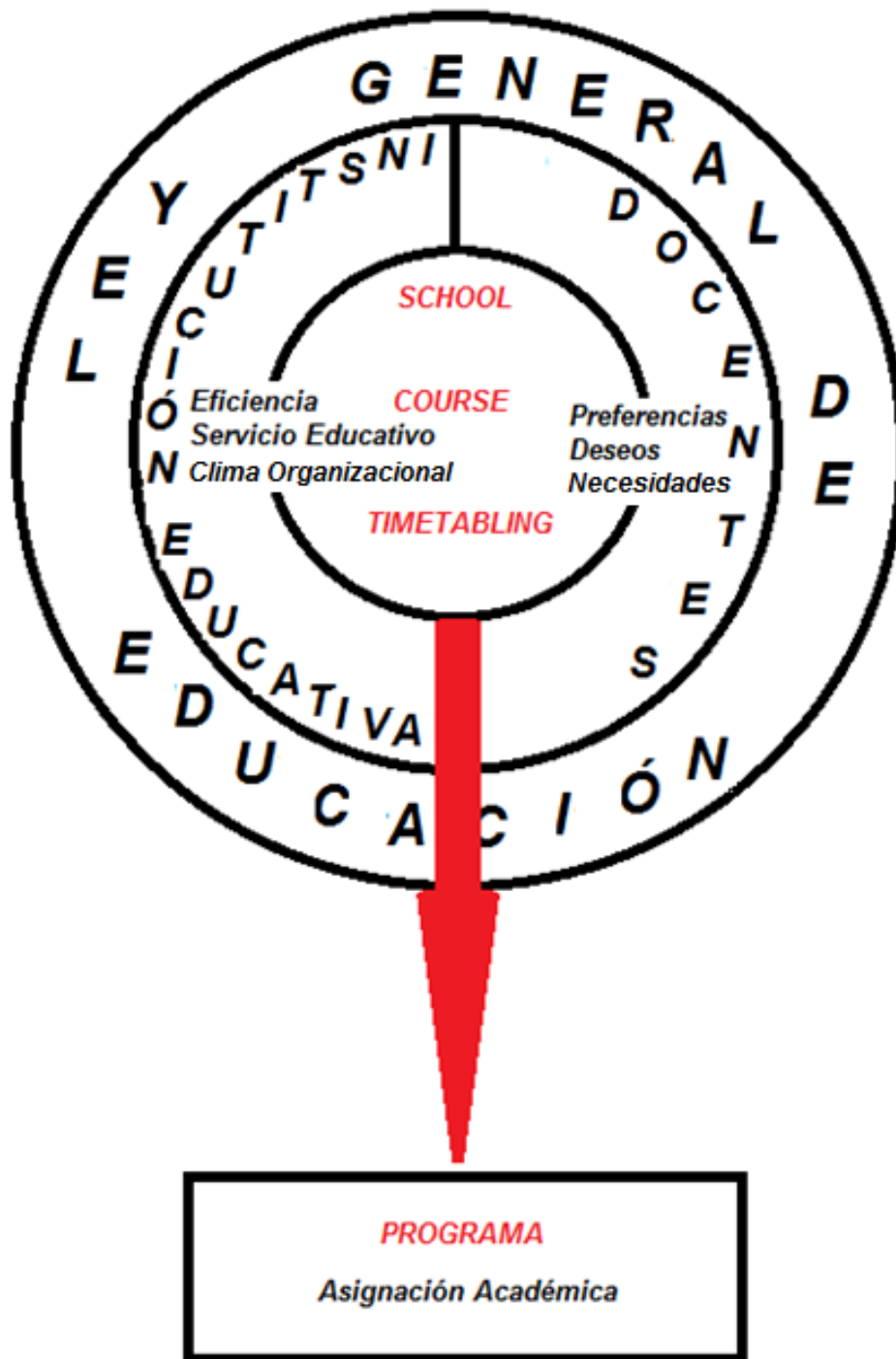


Figura 2. Factores de la programación de horarios escolares

Fuente: La autora

4. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo con la búsqueda hecha en el Estado del Arte, orientada a la afirmación del modelo de programación lineal para la multi-localización de docentes en una IE, se evidenció que la estrategia metodológica se puede construir de manera sistemática, constituyéndose en común denominador de todos los hallazgos, pues en ellos se reconoce una guía de trabajo adaptable a los propósitos de esta investigación (marco legal, elementos constitutivos de las instituciones educativas y los rasgos particulares de la I.E objeto de estudio).

Para abordar el problema de generación de un horario escolar, la propuesta metodológica consta de cuatro fases, tal como se muestra a continuación:

4.1 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA Y RECOLECCIÓN DE DATOS

El propósito de esta fase es analizar el estado inicial del sistema, del cual se buscará realizar la programación de un horario escolar. Para esto, se debe recolectar los datos necesarios, a partir de las diferentes fuentes primarias y secundarias.

Para resolver el problema es necesario identificar los factores involucrados como se mencionó anteriormente, su interrelación y el grado de complejidad que aporta cada uno de ellos.

En cuanto al factor de la IE, antes de la realización del proceso de matrículas, se debe planear el número de estudiantes por grado que se pueden matricular, teniendo en cuenta la capacidad institucional y el número de estudiantes que actualmente se les está impartiendo, para así precisar el total de grupos, el volumen de cada uno y la cantidad de docentes. En caso de que el número de docentes requeridos sea menor, estos serán entregados a la Secretaría de Educación Municipal para que sean reubicados, caso contrario, se solicita a este ente la autorización para la contratación de nuevos docentes o, de lo contrario, la distribución de las horas en extras al cuerpo de docentes, de acuerdo con lo establecido por el MEN.

Una vez finalizada la gestión de matrículas, los coordinadores de cada una de las sedes, con esta información y teniendo en cuenta la normatividad vigente, realizan la distribución de la carga académica y determinan aspectos relevantes para la construcción del horario escolar.

Adicionalmente se debe tener claridad sobre el conjunto de restricciones que impone el PEI (restricciones duras) que corresponde a los requerimientos institucionales, y los deseos y requerimiento del cuerpo de docentes (restricciones blandas) de tal manera que se puedan optimizar los recursos relacionados con la organización y distribución de horarios de clases y satisfaciendo en gran medida los requerimientos blandos.

Por el lado de la legislación, se debe conocer primero cuál es la entidad reguladora de la educación a nivel nacional y territorial de la política educativa.

4.2 DEFINICIÓN DE PROFESORES

Profesor Compartido (PROCOM): es quien se traslada a impartir clases en varias sedes.

Profesor Titular de una Sede: Es considerado un docente que cumple con alguna de las siguientes características:

- Profesor que imparte sólo en una sede.
- Profesor compartido que tiene la mayor carga académica en dicha sede.

Profesor en Jornada Extendida (PROJEX): Grupo de docentes que imparten, en jornada extendida, en grados 10 y 11. Son aquellos períodos adicionales a la jornada normal y corresponde a 2 períodos diarios. Dentro de este conjunto aparecen los profesores con o sin horario especial.

Profesor con Horario Especial (PROHES): Profesores $\in$ PROJEX que cumplen con alguna de las siguientes características:

- Su intensidad horaria semanal es de 22 horas (legales) y labora en jornada extendida, es decir sin tener horas extras.
- El número de períodos de tiempo que labora en jornada extendida es superior al total de horas extras.

La característica especial del horario para este grupo de docente es que su labor empieza más tarde, como una forma de compensar por parte de la IE.

En forma de diagrama, se puede presentar de la siguiente manera:



Figura 3. Tipos de Profesores

Fuente: La autora

4.2.1 Requerimientos del MEN

Debido a que la IE de estudio es de carácter oficial, los docentes son amparados por el régimen especial. Al contar con esta información es pertinente indagar acerca de:

- Mínimo de intensidad horaria semanal.
- Máximo de horas que pueden impartir diariamente.
- Máximo de horas extras en la misma jornada.
- Máximo de horas extras en jornada contraria (extendida).

4.2.2 Requerimientos de la IE

Los aspectos relevantes a tener en cuenta por parte de los coordinadores en la programación del horario escolar son:

- Para cada uno de los profesores se establece la carga académica, que consiste en fijar las asignaturas, los grados que impartirá y la intensidad horaria semanal. Con lo anterior se establece las horas extras del cuerpo de docentes, el cual debe satisfacer los requerimientos del MEN.
- Precisar los docentes que deben impartir en jornada extendida y la cantidad de períodos de tiempo (horas extras) semanal por sede.
- Establecer los docentes con horario especial. Lo anterior se presenta en el escenario cuando el total de períodos de tiempo necesarios de los grados 10 y 11 en jornada extendida es mayor al total de horas extras, el coordinador conciliará con los profesores que imparten en dichos grados, si están interesados en laborar en dicha jornada y en compensación la IE les programará horarios especiales.
- Determinar el número de períodos de tiempo semanal en jornada extendida y sede que impartirán cada uno de los docentes con horario especial, especificando si es una cantidad par o impar.
- Especificar los docentes compartidos y cuál es la sede y jornada donde son considerados profesores titulares.
- Fijar las asignaturas que se deben impartir en un solo bloque a la semana.

4.2.3 Requerimientos de los profesores

Con respecto al factor de los docentes, la información debe estar enfocada hacia el conocimiento de las necesidades y las preferencias personales, tales como:

- Garantizar a los docentes que laboran en jornada extendida y no tienen horas extras, o es superior las horas que imparten en dicha jornada al total de sus horas extras (especiales) su permanencia de sólo 6 horas diarias en la IE, lo que implica que su labor empiece más tarde, como una forma de compensación por parte de la IE.
- Para instituciones en núcleo que comparten docentes, programar sus horarios de tal manera que minimice los traslados entre las diferentes sedes, siempre buscando que las condiciones laborales no vayan en contra de su seguridad, fatiga y estrés.
- Con respecto a lo pedagógico:

- El día que impartan en más de una sede, debe existir períodos de tiempo que no se les programe sino que son requeridos para desplazarse, y así ejecute de una manera eficiente y eficaz su labor, cumpliendo con el Plan de área y el PEI.
- Se maximiza el componente pedagógico cuando las asignaturas son programadas en períodos consecutivos, ya que existen acciones que deben realizarse cada vez que ingrese el docente al aula de clase, llamado curriculum oculto que implica un tiempo, disminuyendo el tiempo real para ejecutar el Plan de área, afectando de esta forma el proceso enseñanza-aprendizaje.

4.3 SUPUESTOS Y RESTRICCIONES DEL MODELO

Supuestos del modelo

Hace referencia a la programación de horarios de los profesores especiales (PROHES)

1. Las horas cátedra semanal que imparte el profesor especial en jornada extendida es una cantidad par. Lo anterior significa que en uno o varios días tendrán un horario especial, los cuales se distribuirá por cada 2 horas un día con dicho horario, por lo tanto comienza su labor a la tercera hora y finaliza a la octava.
2. Las horas cátedra semanal que imparte el profesor especial en jornada extendida es una cantidad impar, distribuyéndose del total de días que tendrá dicho horario, en un día su labor empiece a la segunda hora y termine a la séptima, y el resto de días desde la tercera hora hasta la octava.

Los anteriores supuestos garantizan que el docente que pertenece a PROHES tenga una permanencia en la IE de 6 períodos de tiempo, el día que se le programe el horario especial.

Restricciones del modelo

La serie de restricciones se orienta hacia la construcción del horario, en el entorno del sistema educativo público, teniendo en cuenta el PEI, los requerimientos y los diferentes traslados a la sede de algunos docentes:

Restricciones blandas:

Con respecto a los requerimientos del cuerpo de docentes:

1. Minimizar el traslado de los docentes compartidos entre las sedes.
2. Aquellas asignaturas de intensidad de 2 o más horas semanales, programarla en bloques de 2 horas.

Restricciones duras:

Con respecto a los requerimientos del cuerpo de docentes:

1. Programación de cada una de las asignaturas por grupo, en períodos consecutivos.
2. Limite de períodos de tiempo por día a programar de las asignaturas de intensidad horaria semanal de dos o más.
3. Programación de las asignaturas en bloque de dos períodos.
4. Períodos de traslado entre las sedes de los profesores compartidos.
5. Programación de los profesores compartidos en la sede no titular en períodos consecutivos.
6. Programación de los profesores con horario especial.

Con respecto a los requerimientos de la IE:

7. Programación en jornada normal.
8. Programación en jornada extendida.
9. Programación en jornada extendida en períodos consecutivos.
10. Programación del cuerpo de profesores.

11. Programación de las asignaturas que se imparten en un solo bloque a la semana.
12. Ocupación del cuerpo de profesores.

Con respecto a los requerimientos Legislativos:

13. Limite de períodos de tiempo diarios que imparte el profesor.
14. Número de períodos de tiempo a programar en jornada extendida por profesor y sede.

Restricciones adicionales:

15. Limite de profesores compartidos a programar en la sede no titular.
16. Obvias.

4.4 FORMULACIÓN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA LA GENERACIÓN DE UN HORARIO ESCOLAR

Se propone resolver el problema de la programación de un horario escolar mediante una técnica de solución exacta, más específicamente un modelo de programación lineal entera, el cual tiene como objetivo satisfacer las restricciones del PEI y algunos requerimientos de los docentes, debido a que aumenta la complejidad del modelo si se pretende incluir todos sus preferencias, y minimizar el traslado de los docentes compartidos de la IE.

4.4.1 Notación y definición

- **Índices**

d = Día	$d \in DÍA$
t = Período de tiempo	$t \in TIE$
p = Profesor	$p \in PRO$
a = Asignatura	$a \in ASI$
g = Grupo	$g \in GRU$
s = Sede	$s \in SED$

- **Conjuntos e índices**

PRO = Conjunto de profesores, p

ASI = Conjunto de asignaturas a impartir, a^4

GRU = Conjunto de grupos, g

SED = Conjunto de sedes, s

DIA = Conjunto de días, d

TIE = Conjunto de períodos de tiempo, t

- **Subconjuntos**

PROCOM = Conjunto de profesores $p \in PRO$ compartidos.

PROJEX = Conjunto de profesores $p \in PRO$ que imparten en jornada extendida.

TIEJEX = Conjunto de períodos de tiempo $t \in TIE$ que corresponden a la jornada extendida. $t = \{7, 8\}$

TIEJNO = Conjunto de períodos de tiempo $t \in TIE$ que corresponden a la jornada normal. $t = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

PROHES = Conjunto de profesores $p \in PROJEX$ con horario especial.

PROIJ = Conjunto de profesores $p \in PRO$ que imparten todas sus clases en una misma jornada.

PROJC = Conjunto de profesores $p \in PROCOM$ que imparten clases en jornada contraria a su sede titular.

ASIGRU [g] = Conjunto de asignaturas que se imparten en el grupo g .

ASIDUPGRU [g] = Conjunto de asignaturas de intensidad horaria semanal igual o mayor a 2 que imparte el profesor, en su sede titular, en el grupo g (excepto aquellas asignaturas programadas, por bloque, una vez a la semana)

ESPGRU [g] = Conjunto de asignaturas que corresponden a las programadas, por bloque, una vez a la semana, e impartidas en el grupo g .

GRUJEXSED[s] = Conjunto de grupos que a los que se imparte en jornada extendida en la sede s .

⁴ La intensidad horaria de las asignaturas oscila entre 1 y 4 horas semanales.

GRUSED[s] = Conjunto de grupos a los que se imparte en la sede s .

PROCOMSED[s] = Conjunto de profesores compartidos en la sede s que no es la sede titular.

PROHESPSED[s] = Conjunto de profesores con horario especial cuya cantidad de horas cátedra semanal en jornada extendida que imparten, todas o una parte no son extras y es una cantidad par, en la sede s .

PROHESISED[s] = Conjunto de profesores con horario especial cuya cantidad de horas cátedra semanal en jornada extendida que imparten, todas o una parte no son extras y es una cantidad impar, en la sede s .

PROJEXSED[s] = Conjunto de profesores con o sin horario especial que imparten en jornada extendida en la sede s .

PROSED[s] = Conjunto de profesores que imparten en la sede s .

BASE [p,a,g,s] = Conjunto inducido que representa cada uno de los profesores con la asignatura a que imparte en el grupo g y en la sede s .

- **Parámetros**

i_{ag} = Intensidad horaria semanal de la asignatura a que se imparte en el grupo g .

npc = Número máximo de profesores compartidos que se pueden programar por día en la sede no titular.

ntd = Número máximo de períodos de tiempo diarios que pueden impartir los profesores.

ntiphes_{ps} = Número de períodos de tiempo impar semanal que no corresponde a horas extras, que imparte el profesor p en jornada extendida, por lo tanto se le programa uno o varios días en horario especial en la sede s .

ntjexches_{ps} = Número de períodos de tiempo semanal que imparte el profesor p con o sin horario especial en jornada extendida en la sede s .

$ntpphes_{ps}$ = Número de períodos de tiempo par semanal que no corresponde a horas extras que imparte el profesor p en jornada extendida, por lo tanto se le programa uno o varios días horario especial en la sede s .

penalización1 = Penalización por el número de días a la semana que necesita el profesor compartido para impartir las diferentes asignaturas en la sede no titular.

penalización2 = Penalización a aquellas asignaturas de intensidad horaria igual o mayor a dos que la imparte el profesor en su sede titular y se programa solo un período de tiempo en el día.

Los parámetros penalización1 y penalización2, serán introducidas en la función objetivo del modelo propuesto en este proyecto. La penalización1 hace referencia al costo que se incurre cada vez que un profesor compartido imparte en la sede no titular, y la penalización2 se refiere al costo de programar un solo período a las asignaturas de intensidad igual o mayor a 2 períodos de tiempo semanales impartidas por profesores en su sede titular. De acuerdo con los factores del cuerpo de docentes tienen mayor prioridad el parámetro penalización1, por lo tanto el valor de dicho parámetro será superior a la de la penalización2. El problema de la programación de un horario escolar del caso de estudio será de mayor calidad mientras los valores de las variables de decisión de la función objetivo minimicen las penalizaciones.

- Variables

$$\mathbf{BX}_{\text{pagsdt}} = \begin{cases} 1, \text{ si el profesor } p \in PRO \text{ imparte la asignatura } a \in ASI \text{ al grupo } g \in GRU \text{ en la sede } s \in SED \text{ el día } d \in DÍA \text{ en el período de tiempo } t \in TIE. \\ 0, \text{ de lo contrario.} \end{cases}$$

$$\mathbf{BHE}_{\text{psd}} = \begin{cases} 1, \text{ si el profesor } p \in PROHES \text{ que imparte en la sede } s \in SED \text{ el día } d \in DIA \text{ tiene horario especial.} \\ 0, \text{ de lo contrario.} \end{cases}$$

$$\mathbf{BY}_{\text{psdt}} = \begin{cases} 1, \text{ si el profesor } p \in PROCOM \text{ imparte en la sede diferente a la titular } s \in SED \text{ el día } d \in DIA \text{ y arranca en el período de tiempo } t \in TIE. \\ 0, \text{ de lo contrario.} \end{cases}$$

$$\mathbf{BXA}_{\text{agdt}} = \begin{cases} 1, \text{ si la asignatura } a \in ASI \text{ que se imparte en el grupo } g \in GRU \text{ es programada el día } d \in DIA \text{ y arranca en el período de tiempo } t \in TIE. \\ 0, \text{ de lo contrario.} \end{cases}$$

$$\mathbf{BZ}_{\text{agd}} = \begin{cases} 1, \text{ si la asignatura } a \in ASI \text{ de intensidad horaria semanal igual o mayor a dos y la imparte el profesor en su sede titular en el grupo } g \in GRU \text{ es programada el día } d \in DIA \text{ solo un período de tiempo.} \\ 0, \text{ de lo contrario.} \end{cases}$$

EHE_{psd} = Variable entera que representa el número de períodos de tiempo que el profesor $p \in PROHES$ en la sede $s \in SED$ el día $d \in DIA$ no se le programa clase.

4.4.2 Formulación Verbal y Matemática

Función Objetivo:

I PARTE: Minimizar el total de traslados semanal de los profesores compartidos entre las sedes.

MINIMIZAR=

$$\sum_{s \in SED} \sum_{p \in PROCOMSED[s]} \sum_{d \in DIA} \sum_{t \in TIE} BY_{psdt} * penalizacion1$$

II PARTE: Penalizar las asignaturas con intensidad horaria semanal de 2 o más horas, que la imparten los profesores en su sede titular y se programan un período de tiempo en el día.

MINIMIZAR=

$$\sum_{g \in GRU} \sum_{a \in ASIDUPGRU[g]} \sum_{d \in DIA} BZ_{agd} * penalizacion2$$

FUNCIÓN OBJETIVO: MIN=

$$\sum_{s \in SED} \sum_{p \in PROCOMSED[s]} \sum_{d \in DIA} \sum_{t \in TIE} BY_{psdt} * penalizacion1$$

+

$$\sum_{g \in GRU} \sum_{a \in ASIDUPGRU[g]} \sum_{d \in DIA} BZ_{agd} * penalizacion2$$

Restricciones:

1. El día que se programe una asignatura más de un período de tiempo, se debe disponer en períodos consecutivos.

- 1.1 La sumatoria de los períodos de tiempo programados en la semana de una asignatura que se imparte en el grupo g es igual a su intensidad horaria.

$$\sum_{d \in DIA} \sum_{t \in TIE} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} = i_{ag}$$

$$\forall g \in GRU, a \in ASIGRU[g]$$

- 1.2 Cualquier asignatura como máximo solo puede iniciar una única vez en un día.

$$\sum_{t \in TIE} BXA_{agdt} \leq 1$$

$$\forall g \in GRU, a \in ASIGRU[g], d \in DIA$$

- 1.3 Garantiza que sólo se puede programar una asignatura en un período de tiempo del día, si esta asignatura ha arrancado en ese período de tiempo o en períodos anteriores.

$$\sum_1^{t^l} BXA_{agdt} \geq \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt^l}$$

$$\forall g \in GRU, a \in ASIGRU[g], d \in DIA, t \in TIE \text{ donde } t^l \leq t$$

- 1.4 Asegura que en el período de tiempo que arranca la asignatura sea programada.

$$BXA_{agdt} \leq \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt}$$

$$\forall g \in GRU, a \in ASIGRU[g], d \in DIA, t \in TIE$$

- 1.5 Garantiza que en el día que se programe una asignatura, es decir, que tenga arranque dicha asignatura, sus horas cátedra se dispongan de seguido.

$$\sum_{[p,a,g,s] \in BASE} (BX_{pagsdt} - BX_{pagsd(t-1)}) \leq BXA_{agdt}$$

$$\forall g \in GRU, a \in ASIGRU[g], d \in DIA, t \in TIE \text{ donde } t \geq 2$$

2. El máximo de períodos de tiempo que se puede programar en el día las asignaturas de intensidad igual o mayor a 2 horas semanales que son impartidas por los profesores en su sede titular una vez arranque su programación no debe ser superior a 2 periodos.

$$2 * \sum_{t \in TIE} BXA_{agdt} \geq \sum_{t \in TIE} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt}$$

$$\forall g \in GRU, a \in ASIDUPGRU[g], d \in DIA$$

3. Garantiza que las asignaturas de intensidad horaria semanal igual o mayor a dos que la imparte el profesor en su sede titular, una vez arranque su programación, se active la variable del lado derecho si se programa solo un período de tiempo durante el día.

$$2 * \sum_{t \in TIE} BXA_{agdt} - \sum_{t \in TIE} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \leq BZ_{agd}$$

$$\forall g \in GRU, a \in ASIDUPGRU[g], d \in DIA$$

4. Período de tiempo en el día que permite el traslado de los profesores compartidos entre su sede titular y la otra sede y viceversa.

- 4.1 Período de tiempo que permite el traslado de la sede 1 a la 2.

$$\sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pag1dt} + \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pag2d(t+1)} \leq 1$$

$$\forall p \in PROCOM, d \in DIA, t \in TIE \text{ donde } t \leq 7$$

- 4.2 Período de tiempo que permite el traslado de la sede 2 a la 1.

$$\sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pag2dt} + \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pag1d(t+1)} \leq 1$$

$$\forall p \in PROCOM, d \in DIA, t \in TIE \text{ donde } t \leq 7$$

5. El profesor compartido el día que se le programe en la sede no titular se debe disponer en períodos consecutivos.

- 5.1 El profesor compartido solo puede iniciar una única vez en el día en la sede no titular

$$\sum_{t \in TIE} BY_{psdt} \leq 1$$

$$\forall s \in SED, p \in PROCOMSED[s], d \in DIA$$

- 5.2 Garantiza que sólo se puede programar el profesor en un período de tiempo del día, si él ha arrancado en ese período de tiempo o en períodos anteriores.

$$\sum_1^{t^l} BY_{psdt} \geq \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt^l}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROCOMSED[s], d \in DIA, t \in TIE \text{ donde } t^l \leq t$$

- 5.3 Asegura que en el período de tiempo que arranca el profesor sea programado.

$$BY_{psdt} \leq \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROCOMSED[s], d \in DIA, t \in TIE$$

- 5.4 Garantiza que al profesor compartido se le programe en períodos consecutivos en la sede no titular una vez tenga arranque dicho profesor.

$$\sum_{[p,a,g,s] \in BASE} (BX_{pagsdt} - BX_{pagsd(t-1)}) \leq BY_{psdt}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROCOMSED[s], d \in DIA, t \in TIE \text{ donde } t \geq 2$$

6. Profesores que laboran en jornada extendida con horario especial.

- Para $p \in PROHES$, $ntpphes_{ps}$

- 6.1 Corresponde al número de días que el profesor tendrá un horario especial que se genera al multiplicar por $\frac{1}{2}$ la cantidad de horas en jornada extendida que no son extras y es un cantidad par por lo tanto dará como resultado un número entero (sucesión aritmética).

$$\sum_{d \in DIA} BHE_{psd} = \frac{1}{2} * ntpphes_{ps}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESPSSED[s]$$

- 6.2 Garantiza que el día que imparte el profesor con horario especial en jornada extendida, a la primera y segunda hora no se le programa clase.

$$\sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \leq 1 - BHE_{psd}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESPSSED[s], d \in DIA, t \in TIE \{1, 2\}$$

- 6.3 Garantiza que el día que imparte el profesor con horario especial en jornada extendida, a la séptima y octava hora (correspondiente a la jornada extendida) se le programa clase.

$$\sum_{\substack{g \in \\ GRUJEXSED[s]}} \sum_{\substack{[p,a,g,s] \in \\ BASE}} BX_{pagsdt} \geq BHE_{psd}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESPSSED[s], d \in DIA, t \in TIE \{7, 8\}$$

- Para $p \in PROHES$, $ntiphes_{p,s}$

- 6.4 Corresponde al número de días que el profesor tendrá un horario especial que se genera al multiplicar por $\frac{1}{2}$ la cantidad de horas en jornada extendida que no son extras y es un cantidad impar, dará como resultado un número dividido por dos que al sumarle $\frac{1}{2}$ se obtiene un número entero (sucesión aritmética).

$$\sum_{d \in DIA} BHE_{psd} = \frac{1}{2} * ntiphes_{ps} + \frac{1}{2}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESISED[s]$$

- 6.5 El total de períodos de tiempo impar semanal que imparte el profesor con horario especial en jornada extendida es igual a la suma de los períodos que no se le programará clase diario al inicio de la jornada escolar y puede ser igual a 1 o 2 períodos.

$$\sum_{d \in DIA} EHE_{psd} = ntiphes_{ps}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESISED[s]$$

- 6.6 Garantiza que el día que el profesor tenga horario especial, dicho día al comienzo de la jornada normal no se le programará clase.

$$BHE_{psd} \leq EHE_{psd}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESISED[s], d \in DIA$$

- 6.7 El día que al profesor no se le programe clase significa que dicho día tiene horario especial.

$$EHE_{psd} \leq 2 * BHE_{psd}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESISED[s], d \in DIA$$

- 6.8 Garantiza que el día que imparte en jornada extendida el profesor con horario especial, a la primera hora no se le programa clase.

$$2 * \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsd1} \leq 2 - EHE_{psd}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESISED[s], d \in DIA$$

- 6.9 Esta restricción permite que el día que tenga horario especial, la segunda hora es libre de impartir o no. Si la variable de la derecha es igual a 1 es libre de impartir y si es igual a 2 entonces en dicho período no se le debe programar clase.

$$\sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsd2} \leq 2 - EHE_{psd}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESISED[s], d \in DIA$$

- 6.10 Garantiza que el día que imparte el profesor en jornada extendida, a la séptima se le programa clase.

$$2 * \sum_{\substack{g \in \\ GRUJEXSED[s]}} \sum_{\substack{[p,a,g,s] \in \\ BASE}} BX_{pagsd7} \geq EHE_{psd}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESISED[s], d \in DIA$$

- 6.11 Esta restricción permite que cualquier día que tenga un horario especial, la octava hora es libre de impartir o no. Si la variable de la derecha es igual a uno es libre de impartir, ya que se puede programar horas que realmente son extras, y si es igual a 2 es obligación programar clase en dicho período.

$$1 - \sum_{\substack{g \in \\ GRUJEXSED[s]}} \sum_{\substack{[p,a,g,s] \in \\ BASE}} BX_{pagsd8} \leq 2 - EHE_{psd}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROHESISED[s], d \in DIA$$

7. Ningún grupo puede estar sin un profesor en cada período de tiempo de la jornada normal (horario compacto), además sólo se puede programar una única asignatura

$$\sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} = 1$$

$$\forall s \in SED, d \in DÍA, t \in TIEJNO, g \in GRUSED[s]$$

8. A los grupos que se les imparte en jornada extendida máximo pueden estar con un profesor en cada uno de los períodos de dicha jornada. No se iguala a uno ya que el número de períodos en esta jornada es superior a las requeridas.

Solo los profesores de jornada extendida pueden impartir en dicha jornada y sólo los grupos de jornada extendida pueden recibir en esta jornada máxima una sola asignatura en cada período y día.

$$\sum_{p \in PROJEXSED[s]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \leq 1$$

$$\forall s \in SED, d \in DIA, t \in TIEJEX, g \in GRUJEXSED[s]$$

9. No existen baches cada día en el horario de cada uno de los grupos que se imparte en jornada extendida. Garantiza que se programe en períodos consecutivos los días que se programe en jornada extendida.

$$\begin{aligned} \sum_{p \in PROJEXSED[s]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsd(t+1)} \\ \leq \sum_{p \in PROJEXSED[s]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \end{aligned}$$

$$\forall s \in SED, d \in DIA, t=7, g \in GRUJEXSED[s]$$

10. Un profesor solo puede impartir en un período de tiempo a lo más una asignatura.

$$\sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \leq 1$$

$$\forall p \in PRO, d \in DIA, t \in TIE$$

11. Programación de las asignaturas que se imparten en un solo bloque a la semana independiente si es con profesor compartido o no.

$$i_{ag} * \sum_{t \in TIE} BXA_{agdt} \leq \sum_{t \in TIE} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \leq i_{ag} * \sum_{t \in TIE} BXA_{agdt}$$

$$\forall g \in GRU, a \in ESPGRU[g], d \in DIA$$

12. Ningún profesor puede tener un día totalmente libre.

12.1 Asegura que aquellos profesores titulares, y compartidos con jornada igual tanto en su sede titular y en las que sedes que imparte, no tengan ningún día totalmente libre.

$$\sum_{t \in TIE} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \geq 1$$

$$\forall p \in PROJ, d \in DIA$$

12.2 Asegura que aquellos profesores compartidos con jornada en su sede titular contraria a las que sedes que imparte, puede tener un día o varios totalmente libres en las sedes donde son compartidos.

$$\sum_{t \in TIE} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \geq 0$$

$$\forall p \in PROJ, d \in DIA$$

13. Máximo de horas cátedra diarias que puede impartir un profesor.

$$\sum_{t \in TIE} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \leq ntd$$

$$\forall p \in PRO, d \in DÍA$$

14. Número de horas que imparte el profesor en jornada extendida en cada una de las sedes semanal. Las asignaturas que imparten los profesores en jornada extendida

se puede programar toda su intensidad en jornada extendida o distribuir una parte en jornada normal y el resto en jornada extendida.

$$\sum_{\substack{d \in \\ DIA}} \sum_{\substack{t \in \\ TIEJEX}} \sum_{\substack{g \in \\ GRUJEXSED[s]}} \sum_{\substack{[p,a,g,s] \in \\ BASE}} BX_{pagsdt} = ntjexches_{ps}$$

$$\forall s \in SED, p \in PROJEXSED[s]$$

15. El máximo número de profesores compartidos que se pueden programar en la sede no titular diario.

$$\sum_{p \in PROCOMSED[s]} \sum_{t \in TIE} BY_{psdt} \leq npc$$

$$\forall s \in SED, d \in DIA$$

16. Obvias

$$BX_{pagsdt}, BY_{psdt}, BZ_{agd}, BXA_{agdt}, BHE_{psd} \in \text{Binarias } \{0,1\}$$

$$EHE_{psd} \in \text{Entera}$$

Aseguran la no negatividad de la solución del modelo.

5. CASO DE ESTUDIO

A partir de un caso de estudio se pretende abordar el problema de la programación de un horario escolar, que permita aplicar la propuesta metodológica mencionada y el modelo de programación lineal propuesto, y así determinar la carga académica semanal de cada uno de los docentes que laboran en secundaria, jornada de la mañana de la IE, cubriendo el total de las asignaturas de cada uno de los grados, así como las necesidades y requerimientos del cuerpo de docentes, las restricciones del PEI y la legislación del MEN.

En el presente proyecto se tomará como un caso de estudio una IE de la ciudad de Cali, del sector público, cuya especialidad es la electricidad y la electrónica. Constituida por 4 escuelas con doble jornada, de las cuales en dos de ellas se imparte secundaria, representada en la figura 4.

Para resolver School Course Timetabling se aplicarán los conceptos y metodologías pertinentes en la generación de un horario escolar.

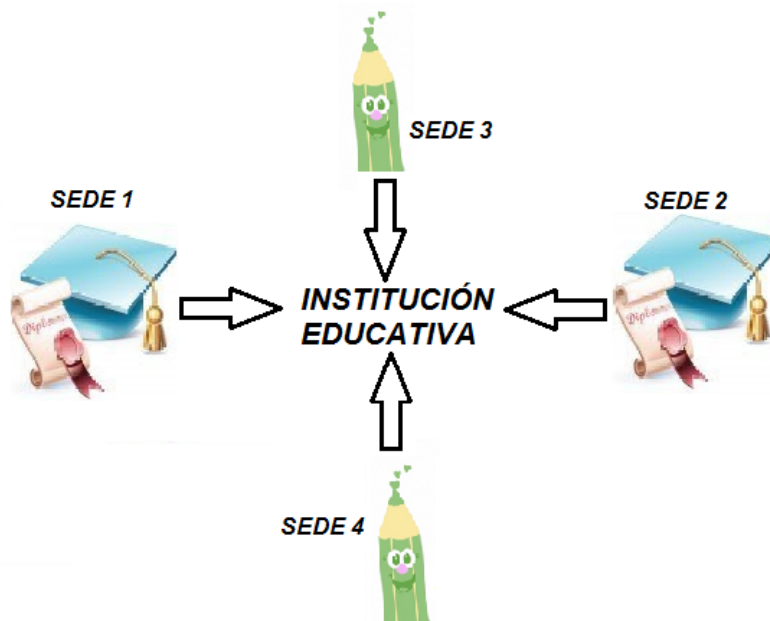


Figura 4. Representación del caso de estudio

Fuente: La autora

5.1 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Se inició con un análisis del estado del sistema, a partir de la recolección de datos de fuentes primarias, donde se entrevistó a los coordinadores, quienes brindaron información sobre las restricciones con que se enfrentan ante la generación del horario en cada uno de sus sedes, para tener un acercamiento al sistema. Debido a que la IE realizó cambios en su Plan de Estudio, con el propósito de mejorar las especialidades, las pruebas del Estado y el bilingüismo (MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, Programa Nacional de Bilingüismo, 2004-2019), se posibilitó la inclusión de nuevas variables, ocasionando cambios significativos al tradicional horario, el cual se generó, pero con errores y en detrimento de los requerimientos y necesidades del cuerpo de docentes.

5.1.1 Variables que cambiaron con el nuevo Plan de Estudio

- Número de docentes. Desde los grados sextos a novenos, se creó una nueva asignatura llamada Fundamento de Especialidad. La creación de la nueva asignatura (DECRETO 3020, Artículo 7. 2002) originó la necesidad de un nuevo docente para la I.E, debido a que los docentes de las especialidades no podrían cubrir la nueva asignatura en toda la institución Según lo establecido por el MEN (DECRETO 3621, Artículo3. 2003), son 22 horas obligatorias más 5 horas extras para un total de 27 horas en la semana.
- Ajuste en el Plan de Estudio de grados décimo y undécimo. La jornada escolar tanto para los grados décimos y undécimos aumentó de 30 horas/semana (jornada normal) a 37 (DECRETO 1850, 2002). Las 7 horas adicionales se impartirán en jornada contraria, y para cada uno de los grupos se divide en tres días en bloques de 2 horas cada una (12:40 p.m. a 2:30 p.m.) y un día con 1 hora (12:40 p.m. a 1:35 p.m.) a la semana, que corresponde a los grupos y períodos de jornada extendida.
- Docentes compartidos entre las sedes. Anteriormente los docentes compartidos en la IE eran 6 para un total del 13,95% del total de la planta de maestros. Con el

nuevo Plan de Estudio aumentó a 8, un 18,18% lo que significa un incremento de 30,32% de docentes compartidos entre las sedes de secundaria (figura 1) El docente compartido pertenece a la sede donde tiene mayor intensidad horaria. A continuación la tabla 2 relaciona el número de docentes que imparten todas sus asignaturas en su sede titular y aquellos que son compartidos, por sedes.

	SEDE 1	SEDE 2
TIEMPO COMPLETO	13	11
TIEMPO PARCIAL O COMPARTIDO	7	8
TOTAL	20	19

Tabla 2. Número de docentes secundaria jornada mañana

Fuente: La autora

- Asignación de docentes en jornada extendida. Debido al ajuste del plan de estudios de los grados 10 y 11 citado anteriormente, se aumentó la carga académica de los profesores que imparten a estos grupos. Estas horas son consideradas extras, que es igual a la diferencia entre la intensidad horaria y las 22 horas obligatorias semanales. El MEN (DECRETO 3621, Artículo 3. 2003) permite hasta 10 horas extras en jornada contraria. En el caso de que el docente no pueda laborar en esta jornada entonces se le reduce al mínimo su intensidad horaria y se le ofrece estas horas a un docente de la IE que posea las competencias necesarias para impartir dicha asignatura.
- Docentes con horario especial. Si la suma de las horas de cada uno de los docentes que laborarán en la jornada extendida es menor a las requeridas, que equivale al producto del número de grados 10 y 11, por las 7 horas semanales, el coordinador de la sede solicita la colaboración a los docentes que imparten en dichos grados para trabajar jornada extendida a pesar de no tener horas extras, pero con el beneficio de programarle un horario que les permita empezar su labor más tarde. Solo se programan profesores con horario especial en la sede1, ya que de la totalidad de los grupos de media básica el 75% pertenece a esta sede.

Debido a que no se tiene en cuenta dentro de la planeación de gestión académica el tiempo para la programación del horario escolar, los coordinadores generan horarios, que aunque satisfacen las restricciones del PEI, no tienen en cuenta en muchas ocasiones los requerimientos y necesidades de los docentes, presentando problemas tales como:

- Un docente ingresa dos veces el mismo día a un grupo.
- No siempre se beneficia a los docentes que colaboran trabajando en horario extendido a pesar de no tener horas extras, ingresando más tarde a su jornada de trabajo.
- Agotamiento físico y mental de algunos docentes compartidos por no tener tiempo suficiente para desplazarse de una sede a otra.
- Las asignaturas de 2 o más horas de intensidad en muchos casos no se programan en bloques.

En general, las deficiencias presentadas en los horarios influyen en el ambiente laboral, debido a que no proporcionan tranquilidad al cuerpo de docentes sino estrés, además va en detrimento de la ejecución de los planes de aula en su totalidad, necesarios para garantizar la calidad en el servicio educativo.

Adicionalmente se consultó al rector de la IE, quien proporcionó información sobre la forma de planear la gestión de matrículas y poder determinar el número de estudiantes que se pueden matricular de acuerdo al volumen de docentes y a la capacidad de los salones. También se entrevistó a algunos docentes -compartidos o no-, quienes manifestaron sus preferencias con respecto a sus horarios académicos. Posteriormente, se hicieron consultas a fuentes secundarias, a través de páginas de internet y de la literatura existente sobre el tema.

5.1.2 Aplicación del modelo de programación lineal a la unidad de estudio

A continuación se relacionan los datos necesarios para la aplicación del modelo de Programación lineal propuesto al caso de estudio:

- Número de sedes SED= 2

- Número de grupos GRU= 23 (Ver tabla 3)

	TOTAL GRUPOS	No.DE GRUPOS POR GRADO						JORNADA	GRUPOS
		6º	7º	8º	9º	10º	11º		
Sede 1 (grado 7-11)	13	0	2	2	3	4	2	Mañana	7-1, 7-2, 8-1, 8-2, 9-1, 9-2, 9-3, 10-1, 10-2, 10-3, 10-4, 11-1 y 11-2
Sede 1 (grado 6-8)	11	6	3	2	0	0	0	Tarde	6-1, 6-2, 6-3, 6-4, 6-5, 6-6, 7-3, 7-4, 7-5, 8-3 y 8-4
Sede 2 (grado 6-11)	10	2	2	2	2	1	1	Mañana	6-7, 6-8, 7-6, 7-7, 8-5, 8-6, 9-4, 9-5, 10-5 y 11-3

Tabla 3. Grupos por sede de secundaria en la IE.

Fuente: La autora

- Número de profesores PRO= 32
- Número de asignaturas ASI= 16
- Número de períodos de tiempo jornada normal semanal 30 (6 /día)
- Número de períodos de tiempo jornada extendida semanal 10, sólo se programan 7
- Número de días DIA= 5
- Asignaturas que se imparten en un solo bloque a la semana corresponde a las especialidades.
- Total de profesores compartidos= 8 (figura 1)

Parámetros a tener en cuenta en el modelo son:

- Los profesores con horario especial, la tabla 4 los muestra en la columna de horas no extras, cuya cantidad de períodos de tiempo puede ser un valor impar o par. Adicionalmente se presenta los docentes por sede que imparten en jornada extendida obligatoriamente por tener horas extras.

PROFESOR	SEDE	HORAS EXTRAS	HORAS NO EXTRAS
P1	2	6	
P2	2	2	
P3	2	4	
P4	2	2	
P5	1	6	
P6	1	6	
P7	1	2	3
P8	1		3
P9	1	2	
P10	1	2	
P11	1	4	
P12	1	4	
P13	1	2	4
P14	1	2	2
TOTAL HORAS EXTRAS SEDE 1		30	
TOTAL HORAS NO EXTRAS SEDE 1			12
TOTAL HORAS SEDE 1	42		
TOTAL HORAS EXTRAS SEDE 2		14	
TOTAL HORAS NO EXTRAS SEDE 2			0
TOTAL HORAS SEDE 2	14		

Tabla 4. Profesores que imparten en jext por sede y los períodos de tiempo

Fuente: La autora

- Los Anexo 1 y 2 representan la intensidad horaria de cada asignatura por grado (celdas), las filas corresponden a la intensidad horaria del docente por sede y las columnas el conjunto de asignaturas que se imparten por grado.
- ntd=6, corresponde al número máximo de períodos/día que puede impartir un docente en la IE.
- npc=2, hace referencia al número máximo de profesores compartidos que pueden programarse en un día en la sede no titular.
- Penalizacion1=2, penalización en la función objetivo por cada día que inicia a impartir el profesor compartido en la sede no titular.
- Penalización2=1, penalización por programar solo un período de tiempo en el día, aquellas asignaturas de intensidad horaria semanal de 2 o más períodos de tiempo y que la imparte el profesor en su sede titular (excepto las especialidades).

En la implementación del modelo y con base a los requerimientos del cuerpo de docente de la IE, del caso de estudio, se priorizó el costo a la penalización¹ con un valor de 2 mientras el costo de la penalización² igual a 1.

5.1.3 Herramienta computacional

Desde la perspectiva del software, el problema de programación lineal entera propuesto fue modelado en el lenguaje de programación LINGO 14.0. El código se encuentra en el Anexo 3.

5.2 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En aras de estructurar una propuesta de modelación que sirva para optimizar de forma eficiente y eficaz el recurso humano de la IE, teniendo en cuenta el modelo metodológico propuesto en este documento, se elaboraron seis instancias (ver tabla 5), las cuales se diferencian por el aumento del número de datos que crece paulatinamente, y la última corresponde al caso de estudio.

No. INSTANCIA	No. GRUPOS(GRU)
1	<i>2 grupos de 10, 2 grupos de 11</i>
2	<i>El total de los grupos de 10 y 11 del caso de estudio</i>
3	<i>El total de los grupos de 9, 10 y 11 del caso de estudio</i>
4	<i>El total de los grupos de 8, 9, 10 y 11 del caso de estudio</i>
5	<i>El total de los grupos de 7, 8, 9, 10 y 11 del caso de estudio</i>
6	<i>El total de los grupos de secundaria jornada mañana (6-11) de la IE.</i>

Tabla 5. Tamaño de los grupos por instancia

Fuente: La autora

Lo anterior permite identificar qué restricciones blandas del modelo, no permiten al software de optimización la determinación del óptimo global y la satisfacción de los requerimientos planteados en el modelo.

Los resultados presentados están estructurados de la siguiente manera: primero, se presenta el tiempo de ejecución del software en obtener el óptimo, si es que se encuentra alguna solución factible para el problema, y segundo el valor de la función objetivo para la instancia en particular. A continuación se presentan los resultados de las diferentes instancias:

No. INS	No. PRO	No. ASI	No. GRU	No. SED	Total períodos de tiempo a programar	No. PROCOM	No. Variables	No. Restricciones	Tiempo Computacional (segundos)	Valor F.O.
1	12	16	4	2	148	7	7.441	66.064	408,16	34
2	20	16	8	2	296	7	7.221	42.509	47,14	18
3	29	16	13	2	446	8	10.521	53.269	114,68	22
4	31	16	17	2	566	8	12.641	63.537	180,50	22
5	32	16	21	2	686	8	14.661	73.825	265,09	24
6	32	16	23	2	746	8	15.621	77.259	373,15	22

Tabla 6. Resultados de las instancias de profesores con horario especial

La instancia 1 fue la única que obtuvo el óptimo global con el modelo planteado en este proyecto. Se verificó si las asignaturas de intensidad igual o mayor a 2 períodos semanales se programaron en bloque. La función objetivo penalizó 4 bloques que corresponden a un valor de 8; el excedente corresponde a las asignaturas de intensidad horaria impar (3), las cuales se deben programar en un día un período; se presentan 3 asignaturas en dos grupos sumando 6, para un total de 14. El resto se relaciona al número de arranque que necesitaron los docentes compartidos para impartir en la sede no titular; y se observó que los grupos a los que imparten en dicha sede se programaron en un solo bloque toda la intensidad horaria, excepto un docente que se le programo dos días para impartir en la sede no titular, y a otro profesor 3 días por estar sujeto a que sus horas cátedras son en jornada extendida.

En La instancia 2 el software no encontró la solución óptima, por lo tanto se debió relajar las siguientes restricciones:

- Las asignaturas se deben programar en períodos consecutivos
- Máximo se programen 2 períodos en el día, es decir, aquellas asignaturas de intensidad igual o mayor a 2 períodos en la semana y la imparte el profesor en su sede titular.
- Asignaturas que se programan en bloque (las especialidades)

Lo anterior influyó para que la función objetivo sólo plantee la minimización del traslado de los profesores compartidos.

Para evitar que se programen aquellas asignaturas de intensidad igual o mayor a 2 períodos semanales -en un día varios períodos y no en forma consecutiva-, se planteó en esta instancia la restricción que permite máximo un período de tiempo al día que se programe.

$$1 \geq \sum_{t \in TIE} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt}$$

$$\forall g \in GRU, a \in ASIDUPGRU[g], d \in DIA$$

En el resultado obtenido por el software se observó que el día que imparte el profesor compartido a cualquier grupo no siempre lo realiza en períodos consecutivos, sino que puede ingresar más de una vez en ese día, aunque su labor la programa en períodos consecutivos.

En las instancias 3 a 6, se retomó el modelo planteado de la instancia 2, pero relajando la restricción planteada en dicha instancia. Por lo anterior se observó que algunos profesores ingresaban a un grupo en un día hasta 3 veces, pero no en forma consecutiva.

En la instancia 6 que corresponde a nuestro caso de estudio, para determinar el óptimo lineal se debió asignar al único profesor compartido en ambas sedes, como compartido sólo en la sede 1. Esto se debe al planteamiento de la restricción en el modelo que hace referencia al número máximo de profesores compartidos que pueden programarse en la sede no titular, restricción que ayuda al modelo a delimitar la zona de factibilidad. Hasta la instancia 5 corresponde exactamente a 2 profesores, pero en la instancia final se debía aumentar a 3, por el aumento de carga académica de dicho profesor. De esta forma el modelo no terminó satisfactoriamente el proceso de solución, ya que la región de factibilidad es más extensa y por lo tanto aumenta el número de combinaciones de profesores compartidos. Como el 100% de los profesores son compartidos en la sede 2,

se decidió en esta petición asignarlo a la sede 1, y así dejar el parámetro igual a 2 en todas las instancias y permitir arrojar el óptimo global. Por lo tanto el valor de la función objetivo disminuyó.

En todas las instancias se respetó la programación de los horarios especiales. Referente a la función objetivo sólo en la instancia 1, se necesitó un día más de traslado (de 9 a 10); el resto de las instancias arrojaron el valor mínimo posible de traslados.

El aumento en el valor de la función objetivo de la instancia 3 a 6 se debe al ingreso en el modelo de un profesor compartido en ambas sedes, y en cada una de estas instancias su carga académica semanal aumentaba.

5.3 ANÁLISIS DEL MODELO

Para conocer el comportamiento del modelo de programación lineal propuesto, se realizaron análisis en términos de su estructura y variando los parámetros que más afectan los resultados del modelo.

5.3.1 Análisis de la estructura

De forma simultánea a la generación del horario escolar planteado de la IE, se realizó un análisis sin tener en cuenta a los profesores con horario especial: el modelo determinará cuáles profesores que instruyen a los grados que se educan en jornada extendida deben impartir. Con el uso de este análisis se pretende consolidar el proceso de la toma adecuada de decisiones en la ejecución del modelo, determinando mejor la optimización de una solución a lo largo de dicho proceso, reconociendo con más exactitud los cambios que se puedan presentar.

En la operatividad, se debió generar los siguientes conjuntos:

PROGRU[g] = Conjunto de profesores que imparten en el grupo *g*.

PROJEXSEDSHES[s] = Conjunto de profesores sin horario especial que imparten en jornada extendida en la sede s.

Y el parámetro:

ntjexshes_{ps} = Número de períodos de tiempo que imparte el profesor *p* sin horario especial en jornada extendida en la sede s.

Con respecto al modelo, cambiaron las siguientes restricciones:

CON HORARIO ESPECIAL	SIN HORARIO ESPECIAL
RESTRICCIÓN 8	
$\sum_{p \in PROJEXSED[s]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \leq 1$ $\forall s \in SED, d \in DIA, t \in TIEJEX, g \in GRUJEXSED[s]$	$\sum_{p \in PROGRU[g]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} \leq 1$ $\forall s \in SED, d \in DIA, t \in TIEJEX, g \in GRUJEXSED[s]$
RESTRICCIÓN 9	
$\sum_{p \in PROJEXSED[s]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsd(t+1)} \leq \sum_{p \in PROJEXSED[s]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt}$ $\forall s \in SED, d \in DIA, t = 7, g \in GRUJEXSED[s]$	$\sum_{p \in PROGRU[g]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsd(t+1)} \leq \sum_{p \in PROGRU[g]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt}$ $\forall s \in SED, d \in DIA, t = 7, g \in GRUJEXSED[s]$
RESTRICCIÓN 14	
$\sum_{d \in DIA} \sum_{t \in TIEJEX} \sum_{g \in GRUJEXSED[s]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} = ntjexches_{sp}$ $\forall s \in SED, p \in PROJEXSED[s]$	$\sum_{d \in DIA} \sum_{t \in TIEJEX} \sum_{g \in GRUJEXSED[s]} \sum_{[p,a,g,s] \in BASE} BX_{pagsdt} = ntjexshes_{sp}$ $\forall s \in SED, p \in PROJEXSEDSHES[s]$

Tabla 7. Diferencia de algunas restricciones del modelo con y sin horario especial.

Fuente: La autora

La codificación en Lingo se presenta en el Anexo 4, cuyos resultados obtenidos por el software se presentan en la siguiente tabla:

No. INSTANCIA	Tiempo Computacional (segundos)	Valor Función Objetivo
1	847,77	42
2	56,33	18
3	94,37	22
4	183,64	22
5	189,59	24
6	213,33	22

Tabla 8. Resultados de las instancias de profesores sin horario especial

En la instancia 1 el número de traslados no varió, pero el número de asignaturas en bloque que se penalizaron aumentó en 4 (sin incluir las asignaturas de intensidad horaria impar). El resto de las instancias no varió con respecto al valor de la función objetivo. Acerca del tiempo de ejecución de los modelos con o sin horario especial para las seis instancias, se muestran en la figura 5.

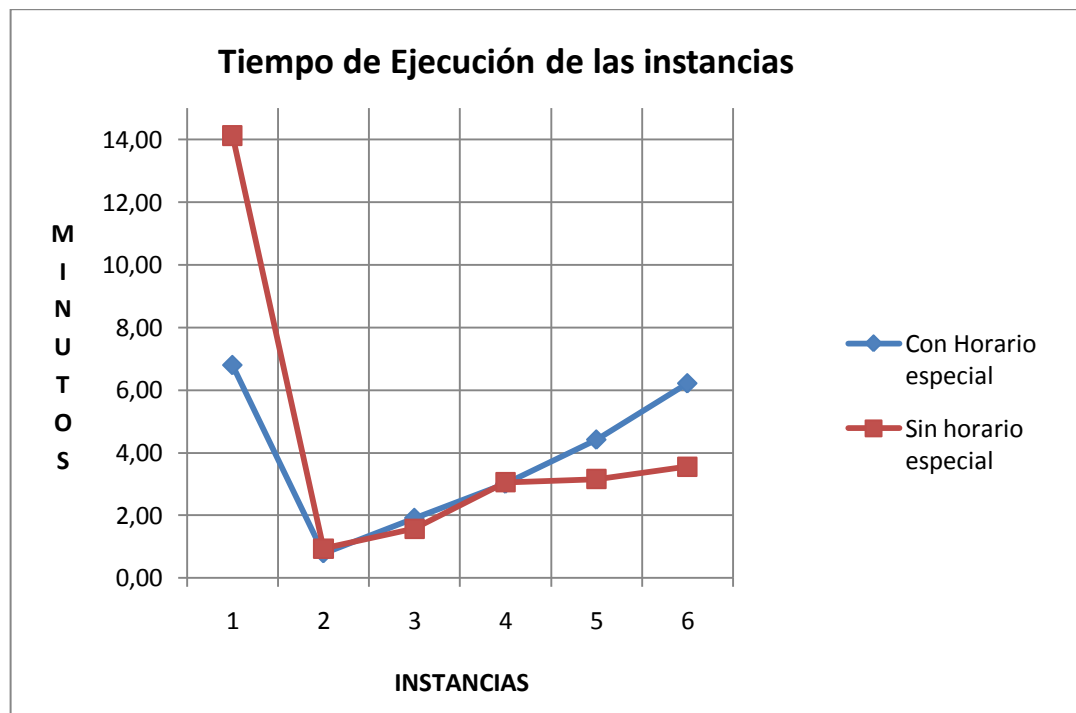


Figura 5. Tiempo de ejecución de las instancias con y sin horario especial

Fuente: La autora

El segundo análisis de sensibilidad es determinar el tiempo de ejecución cuando las instancias se encuentran en las mismas condiciones con respecto a no tener profesores con horario especial y dejar libre al modelo para programar la cantidad de horas diarias de las asignaturas, es decir la función objetivo sólo hace referencia al traslado de los profesores compartidos. En la tabla 9 se muestra los resultados de este análisis.

No. INSTANCIA	Tiempo Computacional (segundos)	Valor Función Objetivo
1	3,84	18
2	31,40	18
3	94,37	22
4	183,64	22
5	189,59	24
6	213,33	22

Tabla 9. Resultados de las instancias en igual condiciones

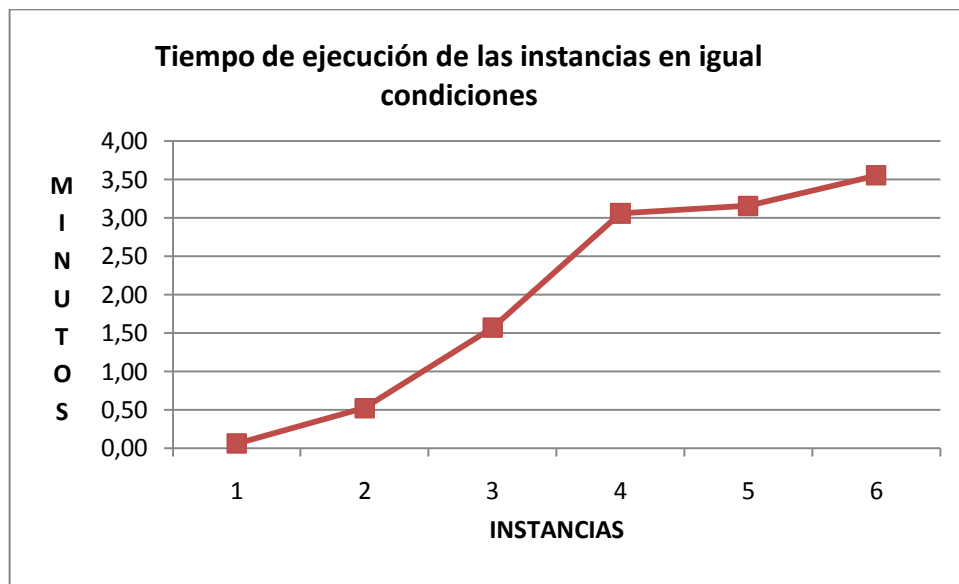


Figura 6. Tiempo de ejecución de instancias en igual condiciones.

Fuente: La autora

5.3.2 Análisis de sensibilidad

Por último se realizó análisis de sensibilidad con respecto al parámetro npc- cantidad máximo de profesores compartidos que pueden ser programados en la sede no titular-, inhabilitándolo, en los tres escenarios: modelo con PROHES, sin PROHES y en igual condiciones.

Sólo la instancia 1 arrojó el óptimo lineal en el tercer escenario, cuando todas las instancias se encuentran en las mismas condiciones (sin PROHES y restricciones respecto al número de períodos de tiempo a programar diario, para las asignaturas de intensidad semanal igual o mayor a 2), en el resto de las instancias el software corrió aproximadamente 30 minutos y fue interrumpido. El valor de la función objetivo fue igual a la obtenida y registrada en la tabla 9, pero el tiempo de ejecución fue superior, 30,62 segundos. Lo anterior significa que esta restricción es determinante para el modelo ya que delimita la región de factibilidad; en caso de no plantearse la cantidad de combinaciones de profesores compartidos aumenta.

Lo anterior reafirma lo evidenciado en el análisis de resultados que se presentó del modelo, cuando en la última instancia se debía aumentar de 2 a 3 el parámetro npc, debido al aumento de la carga académica de uno de los profesores compartidos, pero el software de optimización no funcionó, debiéndose fijar dicho profesor como titular a una de las sedes, por lo tanto el valor npc no se alteró, y el software pudo de esta manera determinar el óptimo global en dicha instancia.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a la revisión de la literatura realizada se puede afirmar que los factores principales para la construcción de un horario escolar, están soportados por las leyes y decretos que rigen la educación de un país, de las cuales se construye el PEI. A partir de lo anterior se tiene en cuenta los requerimientos del cuerpo de docentes que aunque no son de obligatorio cumplimiento, son factores importantes para el desarrollo del horario escolar en un clima organizacional que propende por el beneficio tanto de los agentes internos como externos, encaminados hacia una educación con calidad.

Adicionalmente, en los factores que inciden en la programación de horarios, se encontró que cada uno de ellos retroalimenta al anterior, y se plantean como restricciones de obligatorio cumplimiento las que corresponden a las legislativas y las institucionales (PEI), en tanto que las blandas se relacionan en la función objetivo y corresponden a los deseos del cuerpo de docentes.

El desarrollo de este trabajo de investigación aporta una propuesta metodológica, que consistió en elaborar seis instancias, las cuales se diferencian por el aumento del número de datos que crece paulatinamente, y la última corresponde al caso de estudio; en cada una de esta instancias se plantean algunos requerimientos del cuerpo de docentes como el de minimizar el traslado de sedes, para aquellos compartidos, generar horarios especiales para los docentes que imparten en jornada extendida, a pesar de no tener horas extras como una forma de compensación de la IE para con ellos y finalmente programar asignaturas en bloques, planteándolos mediante un modelo de programación lineal.

El condicionante del cuerpo de docentes con respecto a los traslados de los docentes entre sedes, cumplió con la minimización en todas las instancias, como se evidenció en el cálculo de la función objetivo, cuyo valor correspondió al mínimo de días que necesitaban los docentes para impartir sus asignaturas en la sede no titular. De igual

manera los horarios especiales correspondieron totalmente a los requerimientos planteados en el modelo.

De la ejecución del modelo propuesto la complejidad de éste radica en que no se pudo programar asignaturas en períodos consecutivos, en 5 de las 6 instancias, sólo la primera cumplió con dicho requerimiento (16,67%), debiéndose relajar el modelo, para que el software de optimización utilizado pudiera arrojar el óptimo global. Por lo anterior se concluye que el modelo cumplió con los objetivos planteados pero con ciertas limitaciones, y reconociendo que hay aspectos por desarrollar que se pueden complementar con el recurso tecnológico y el humano. Este resultado muestra el grado de complejidad del problema abordado, y el esperado de acuerdo con la literatura consultada.

Adicionalmente es importante resaltar que en implementación del modelo se observó que el parámetro npc-cantidad máxima a programar en la sede no titular de los profesores compartidos debe ser un valor exacto, no debe plantearse de forma que oscile en un intervalo, ya que el número de combinaciones de profesores compartidos aumenta, ocasionando que el software de optimización no termine y no permitiendo encontrar el óptimo. Además se evidenció su obligatoriedad en el planteamiento (restricción dura); si el modelo carece de esta restricción no sólo queda incompleto, sino que se estanca y no arroja ningún resultado.

Con relación a la metodología de solución y a la herramienta computacional empleada, el tiempo de solución del modelo varía dependiendo del tamaño de la instancia y del volumen de las restricciones, pues entre mayor volumen más complejo la búsqueda de la solución óptima y por ende el tiempo de solución aumenta. Lo anterior se evidenció en el análisis de estructura que hizo referencia a las dos categorías de profesores con horario especial y sin horario especial, se observó que no es significativa la diferencia del tiempo de ejecución en la instancia dos; después de ésta, se concluye que el modelo arroja el óptimo más rápido cuando no hay restricciones de profesores con horario especial.

En otras palabras, la relación entre el tiempo de ejecución de las instancias de las dos categorías se evidencia en los menores tiempos cuando no se tienen en cuenta las

restricciones de los docentes sin horario especial. Lo anterior se reafirma con el segundo escenario, donde las instancias estando en igualdad condiciones de planteamiento del modelo, se observa que el tiempo computacional crece en forma exponencial debido al aumento del número de datos de una instancia a otra. Con esto se pudo comprobar lo descrito en la literatura acerca de la factibilidad de emplear el enfoque exacto para problemas de menor tamaño obteniéndose resultados en tiempos aceptables, a medida que el problema crece los tiempos de resolución aumentan y se pierde en eficiencia.

6.2 RECOMENDACIONES

Una línea interesante para profundizar en el trabajo de investigación, es la adaptación del modelo propuesto para la resolución, mediante la aplicación de un procedimiento Meta-heurístico que permita la programación de asignaturas en multiperíodos.

El modelo planteado satisface los requerimientos en el caso de que los eventos a programar tengan igual intensidad semanal y se programen en un solo bloque, debiéndose agrupar los períodos de tiempo en dichos bloques y asignar cada evento a dicho multiperíodo.

Obligar al modelo que la sumatoria de la variable de arranque en la semana para las asignaturas impares (3 horas) sea menor o igual a dos, para que programe dos y uno. Esto implica que no se plantearía en la F.O. la penalización por programar una hora, por ser una restricción dura.

Como se ha confirmado en otros trabajos en el estado del arte, las instituciones educativas o cualquier organización no sólo de carácter educativo sino laboral, por definición y responsabilidad social, deben evolucionar hasta satisfacer los requerimientos de la sociedad en todos los aspectos, respaldado en este tipo de herramientas científicas y tecnológicas.

Temáticas que se pueden considerar como posibles extensiones de este proyecto:

- Por razones de volumen de salones se debe tener en cuenta el máximo número de profesores que se pueden programar diariamente en jornada extendida debido al empalme que presenta con la jornada de la tarde.
- No programar simultáneamente las asignaturas de las especialidades en la sede donde son compartidos, debido a que sólo se cuenta con un aula técnica.
- Los profesores que imparten en jornada extendida se encuentren una sola vez a la semana con los grupos de esa misma categoría.
- Programar todos los días en jornada extendida alguna de las especialidades, debido a que poseen su propia aula, la cual no se utiliza en la jornada de la tarde, y por la escasez de salones.

Estas posibles extensiones pueden mejorar la programación del horario escolar, de las cuales algunas son restricciones de obligatoriedad cumplimiento y otras blandas, haciendo cada vez más posible un análisis del comportamiento real.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bustamante de la Cruz, N., & Peña Calderón, D. A. (2009). Modelación del problema de la programación de turnos de trabajo en una clínica. Universidad del Valle, Cali.
- Chávez Bosquez, O. A., Torres, G. d., & Gómez Ramos, J. L. (2006). Búsqueda tabú aplicada a un problema NP- Completo: Generación de horarios en la DAIS. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco.
- Cifuentes Taborda, J. C. (2012). Programación de estudiantes un caso de estudio. Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa. CLAIO .
- Constitución Política de Colombia. (1991).
- Correa de Urrea, A., Álvarez Atehortúa, A., & Correa Valderrama, S. (2009). La gestión educativa un nuevo paradigma. Recuperado el 23 de octubre de 2012, de Fundación Universitaria Luis Amigó. Medellín, Colombia: www.funlam.edu.co
- de Werra, D. (1985). An introduction to timetabling. European Journal of Operational Research , Vol. 19, 151-162.
- Del Barco Gamarra, R. (2010). Formulación de un modelo de programación matemática para la asignación de horarios escolares. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Departamento Administrativo de la Función Público. (2002). Bienestar social laboral., (pág. 13). Santa fé de Bogotá.
- Dowsland, K. A., & Díaz, B. A. (2003). Heuristic design and fundamentals of the Simulated Annealing. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial , No.19, 93-102.
- Franco Baquero, J. F., Toro Ocampo, E. M., & Gallego Rendón, R. A. (2008). Problema de asignación óptima de salones resuelto con búsqueda Tabú. Ingeniería & Desarrollo , No. 24, 149-175.
- Gómez Toro, J. A., Vanegas Castellanos, J. D., & Zuluaga Gómez, N. (2009). Diseño e implementación de un algoritmo para dar solución al problema de asignación de salones (timetabling) usando el método de colonia de hormigas. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Risaralda, Colombia.

- Hernández, R., Miranda P., J., & Rey, P. A. (2008). Programación de horarios de clases y asignación de salas para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Diego Portales mediante un enfoque de programación entera. *Revista Ingeniería de Sistemas* , Vol.22, 121-141.
- Mejía Caballero, J. M. (2008). Asignación de horarios de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos. Universidad del Norte, Barranquilla, Atlántico, Colombia.
- Mejía Caballero, J. M., & Partenina Arboleda, C. (2010). Asignación de horarios de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos. *Revista Educación en Ingeniería* , No.9, 140-149.
- Ministerio de Educación Nacional. (2002). Decreto 3020 de 2002. Artículo 7 . Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (2004-2019). Programa Nacional de Bilinguismo. Colombia .
- Ministerio de Educación Nacional. (2002). Decreto 1850 de 2002. Colombia .
- Ministerio de Educación Nacional. (2003). Decreto 3621 de 2003. Artículo 3 . Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (16 de Julio de 2002). El rector, líder la Institución Educativa. Recuperado el Octubre de 2012, de Altablero: <http://www.mineduacion.gov.co/1621/article-87221.html>
- Ministerio de Educación Nacional. (21 de Diciembre de 2001). Ley 715 de 2001. Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (8 de Febrero de 1994). Ley General de Educación. Ley 115 de 1994 . Colombia .
- Miranda, J., & Rey, P. A. (2012). Un modelo de programación entera basado en patrones para la asignación de salas de clases para una facultad de medicina. Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa .
- Mirhassani, S. A. (2006). Improving paper spreas in examination timetables using integer programming. *Applied Mathematics and Computation* 179(2) , 702-706.
- Nakasuwan, J., Srithip, P., & Komolavanij, S. (1999). Class scheduling optimization. *Thammasat International Journal of Science and Technology* , Vol.4 No.2, 88-98.

- Pacheco Agüero, C. L. (2000). Distribución óptima de horarios de clases utilizando la técnica de Algoritmos genéticos. Universidad Tecnológica de la Mixteca., Acatlilma.
- Pecina , F. A. (Diciembre de 2002). Programación de horarios con coloreo de grafos. Instituto Tecnológico de Ciudad Madero . Madero.
- Ribic, S., & Konjicija, S. (2010). A two phase integer linear programming approach to solving the school timetable problem. International Conference on Information Technology Interfaces , 651-656.
- Saldaña Crovo, A., Oliva San Martín, C., & Pradenas Rojas, L. (2007). Modelos de programación entera para un problema de programación de horarios para universidades. Revista Chilena de Ingeniería , Vol.15 No.3, 245-259.
- Sánchez, D., Cano, P., & Reyes, M. (2009). Caso de un Modelo de Optimización para un problema de Calendarización de Horarios. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla.
- Sarmiento Lepesqueur, A., Torres Ovalle, C., Quintero Araújo, C., & Montoya Torres, J. (2012). Programación y asignación de horarios de clases universitarias: un enfoque de programación entera (Programming and allocation of university class schedules: an integer programming approach). 10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, (págs. 1-10). Panamá.
- Tellez, E. (2007). Uso de una colonia de hormigas para resolver problemas de programación de horarios. Laboratorio Nacional de Informática Avanzada .

ANEXOS

ANEXO 1. Asignación e intensidad horaria de asignatura por grupo y profesor en la Sede1

71	72	81	82	91	92	93	101	102	103	104	111	112	TOTAL	TOTAL INTENSIDAD HORARIA POR DOCENTE	ASIGNATURAS
	4	4	4	4	4	4							24	24	MATEMÀTICAS
4							4	4	4	4	4	4	28	28	MATEMÀTICAS
3	3	3	3	3	3								18	23	TECNOLOGIA e INFORMATICA
1	1		1	1	1								5		EMPREDIMIENTO
						3	2	2	2	2	2	2	15	22	TECNOLOGIA e INFORMATICA
						1	1	1	1	1	1	1	7		EMPREDIMIENTO
	4						3	3	3	3	3	3	22	22	HUMANIDADES/CASTELLANO
4		4	4	4	4	4							24	24	HUMANIDADES/CASTELLANO
4							4	4	4	4	4	4	28	28	HUMANIDADES/INGLÉS
	4	4	4	4	4	4							24	24	HUMANIDADES/INGLÉS
							2	2	2	2	2	2	12	18	FILOSOFIA
							1	1	1	1	1	1	6		ECONOMIA
4	4	4	4										16	22	SOCIALES
1	1	1											3		RELIGIÓN
1	1	1											3		ÈTICA
				4	4	4	2	2	2	2	2		22	22	SOCIALES
												2	2	22	SOCIALES
			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10		ÈTICA
			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10		RELIGIÓN
3	3	3	3	3	3	3							21	22	CIENCIAS NATURALES
		1											1		EMPREDIMIENTO
							3	3	3	3	3	3	18	18	QUÍMICA
							3	3	3	3	3	3	18	18	FÍSICA
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	26	26	ARTÍSTICA
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	26	26	EDUCACIÒN FÍSICA
							3	3	3	3	3	3	18	18	ELECTRICIDAD
							3	3	3	3	3	3	18	18	ELECTRÒNICA
1	1	1	1	1	1	1							7	7	FUNDAMENTO ESPECIALIDAD
30	30	30	30	30	30	30	37	37	37	37	37	37	432	432	TOTAL

ANEXO 2. Asignación e intensidad horaria de asignatura por grupo y profesor en la Sede2

67	68	76	77	85	86	94	95	105	113	TOTAL	TOTAL INTENSIDAD HORARIA POR DOCENTE	ASIGNATURAS
4	4	4	4							16	22	MATEMÀTICAS
1	1	1	1	1	1					6		ÉTICA
				4	4	4	4	4	4	24	24	MATEMÀTICAS
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	28	EDUCACIÒN FÍSICA
1	1	1	1	1	1	1	1			8		EMPRENDIMIENTO
4	4	4	4							16	24	INGLÉS
4	4									8		HUMANIDADES/CASTELLANO
				4	4	4	4	2	2	20	24	SOCIALES
						1	1	1	1	4		ÈTICA
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	22	ARTÍSTICA
								1	1	2		RELIGIÓN
4	4	4	4							16	24	SOCIALES
1	1	1	1	1	1	1	1			8		RELIGIÓN
		4	4	4	4	4	4			24	24	HUMANIDADES/CASTELLANO
3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	28	28	TECNOLOGIA e INFORMATICA
3	3	3	3	3	3	3	3			24	24	CIENCIAS NATURALES
								3	3	6	6	QUÌMICA
								3	3	6	6	FÍSICA
				4	4	4	4	4	4	24	24	INGLÉS
								2	2	4	6	FILOSOFIA
								1	1	2		ECONOMIA
								3	3	6	6	ELECTRICIDAD
								3	3	6	6	ELECTRÒNICA
1	1	1	1	1	1	1	1			8	8	FUNDAMENTO ESPECIALIDAD
								3	3	6	6	HUMANIDADES/CASTELLANO
								1	1	2	2	EMPRENDIMIENTO
30	30	30	30	30	30	30	30	37	37	314	314	TOTAL

ANEXO 3. Programación en Lingo del modelo propuesto con horario especial

MODEL:

```
@FOR(VARIABLE_DECISION:@BIN(BX));
@FOR(VARIABLE_PER_ASI_GRU_DIA_TIE_ARRANQUE:@BIN(BXA));
@FOR(VARIABLE_ASIIGRU_ACTIVA:@BIN(BZ));
@FOR(VARIABLE_HORARIO_ESPECIAL:@BIN(BHE));
@FOR(VARIABLE_HOR_HORARIO_ESPECIAL:@GIN(EHE));
@FOR(VARIABLE_ARRANQUE_PROCOM:@BIN(BY));
```

FUNCIÓN OBJETIVO

```
MIN=@SUM(GRU(g):@SUM(ASIDUPGRU(g,a):@SUM(DIA(d):BZ(a,g,d))*penalizacion2)
)+
@SUM(SED(s):@SUM(PROCOMSED(s,p):@SUM(DIA(d):@SUM(TIE(t):BY(p,s,d,t)))*pen
alizacion1));
```

RESTRICCIONES

```
@FOR(SED(s):@FOR(TIEJNODIA(d,t):@FOR(GRUSED(s,g):[RUNO]
@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t))=1));
```

```
@FOR(SED(s):@FOR(TIEJEXDIA(d,t):@FOR(GRUJEXSED(s,g):[RDOS]
@SUM(PROJEXSED(s,p):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t))<=1));
```

```
@FOR(SED(s):@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t)|t#EQ#7:@FOR(GRUJEXSED(s,g):[RTRES]
@SUM(PROJEXSED(s,p):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t+1))<=@SUM(PROJEXSE
D(s,p):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t))))));
```

```
@FOR(PRO(p):@FOR(TIEDIA(d,t):[RCUATRO]
@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t))<=1));
```

```
@FOR(PRO(p):@FOR(DIA(d):[RCINCO]
@SUM(TIE(t):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t))<=ntd));
```

```
@FOR(GRU(g):@FOR(ASIGRU(g,a):[RSEISUNO]
@SUM(DIA(d):@SUM(TIE(t):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t)))=iag(g,a));
```

```
@FOR(GRU(g):@FOR(ASIGRU(g,a):@FOR(DIA(d):[RSEISDOS]
@SUM(TIE(t):BXA(a,g,d,t))<=1));
```

```
@FOR(GRU(g):@FOR(ASIGRU(g,a):@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t):[RSEISTRES]
@SUM(TIE(t2)|t2#LE#t:BXA(a,g,d,t2))>=@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t))
));
```

```
@FOR(GRU(g):@FOR(ASIGRU(g,a):@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t):[RSEISCUATRO]
BXA(a,g,d,t)<=@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t)))));
```

```
@FOR(GRU(g):@FOR(ASIGRU(g,a):@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t)|t#GE#2:[RSEISCINCO]
@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t)-BX(p,a,g,s,d,t-1))<=BXA(a,g,d,t))));
```

```
@FOR(GRU(g):@FOR(ASIDUPGRU(g,a):@FOR(DIA(d):[RSIETEUNO]
```

```
@SUM(TIE(t):BXA(a,g,d,t))*2>=@SUM(TIE(t):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t)))));
```

```
@FOR(ESPGRU(g,a):@FOR(DIA(d):[RSIETEDOS]
@SUM(TIE(t):BXA(a,g,d,t))*iag(g,a)<=@SUM(TIE(t):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t)))));
```

```
@FOR(ESPGRU(g,a):@FOR(DIA(d):[RSIETETRES]
@SUM(TIE(t):BXA(a,g,d,t))*iag(g,a)>=@SUM(TIE(t):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t)))));
```

```
@FOR(GRU(g):@FOR(ASIDUPGRU(g,a):@FOR(DIA(d):[ROCHO]
@SUM(TIE(t):BXA(a,g,d,t))*2-
@SUM(TIE(t):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t)))<=BZ(a,g,d))));
```

```
@FOR(SED(s):@FOR(PROJEXSED(s,p):[RNUEVE]
@SUM(DIA(d):@SUM(TIEJEX(t):@SUM(GRUJEXSED(s,g):@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t))))=ntjexches(s,p))));
```

El número 16 que es la ubicación en el conjunto de profesores que aparece Frederman, el cual no debe incluirse en esta restricción ya que solamente imparte en una sede.

```
@FOR(PROCOM(p)|p#NE#16:@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t)|t#LE#7:[RDIEZUNO]
@SUM(BASE(p,a,g,s)|s#EQ#1:BX(p,a,g,s,d,t))+@SUM(BASE(p,a,g,s)|s#EQ#2:BX(p,a,g,s,d,t+1))<=1))));
```

```
@FOR(PROCOM(p)|p#NE#16:@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t)|t#LE#7:[RDIEZDOS]
@SUM(BASE(p,a,g,s)|s#EQ#2:BX(p,a,g,s,d,t))+@SUM(BASE(p,a,g,s)|s#EQ#1:BX(p,a,g,s,d,t+1))<=1))));
```

```
@FOR(SED(s):@FOR(PROCOMSED(s,p):@FOR(DIA(d):[RONCEUNO]
@SUM(TIE(t):BY(p,s,d,t))<=1))));
```

```
@FOR(SED(s):@FOR(PROCOMSED(s,p):@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t):[RONCEDOS]
@SUM(TIE(t2)|t2#LE#t:BY(p,s,d,t2))>=@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t)))));
```

```
@FOR(SED(s):@FOR(PROCOMSED(s,p):@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t):[RONCETRES]
BY(p,s,d,t)<=@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t))))));
```

```
@FOR(SED(s):@FOR(PROCOMSED(s,p):@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t)|t#GE#2:[RONCECUATRO]
@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t)-BX(p,a,g,s,d,t-1))<=BY(p,s,d,t))));
```

```
@FOR(SED(s)|s#EQ#2:@FOR(DIA(d):[RDOCE]
@SUM(PROCOMSED(s,p):@SUM(TIE(t):BY(p,s,d,t)))<=npc));
```

```
@FOR(SED(s):@FOR(PROHESPSSED(s,p):[RTRECEUNO]
@SUM(DIA(d):BHE(p,s,d))=1/2*ntpphes(s,p))));
```

```
@FOR(SED(s):@FOR(PROHESPSSED(s,p):@FOR(DIA(d):@FOR(TIE(t)|t#LE#2:[RTRECEDOS]
@SUM(BASE(p,a,g,s):BX(p,a,g,s,d,t))<=1-BHE(p,s,d))));
```

```

@FOR (SED (s) : @FOR (PROHESPOSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) | t#GE#7 : [RTRECESTR
ES]
@SUM (GRUJEXSED (s, g) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) >= BHE (p, s, d) ) ) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROHESPOSED (s, p) : [RTRECECUATRO]
@SUM (DIA (d) : BHE (p, s, d) ) = 1/2*ntiphes (s, p) + 1/2 ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROHESPOSED (s, p) : [RTRECECINCO]
@SUM (DIA (d) : EHE (p, s, d) ) = ntiphes (s, p) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROHESPOSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : [RTRECESEIS]
BHE (p, s, d) <= EHE (p, s, d) ) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROHESPOSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : [RTRECESIETE]
EHE (p, s, d) <= 2*BHE (p, s, d) ) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROHESPOSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : [RTRECEOCHO]
@SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, 1) ) *2 <= 2-EHE (p, s, d) ) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROHESPOSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : [RTRECENUEVE]
@SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, 2) ) <= 2-EHE (p, s, d) ) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROHESPOSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : [RTRECEDIEZ]
@SUM (GRUJEXSED (s, g) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, 7) ) ) *2 >= EHE (p, s, d) ) ) )
;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROHESPOSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : [RTRECEONCE]
1-@SUM (GRUJEXSED (s, g) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, 8) ) ) <= 2-
EHE (p, s, d) ) ) ) ;

PROIJ DEBE SER IGUAL A CERO, PERO COMO LA ITERACIÓN ES PEQUEÑA NO SE
COLOCA

@FOR (PROIJ (p) : @FOR (DIA (d) : [RCATORCEUNO]
@SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) >= 0));

@FOR (PROJC (p) : @FOR (DIA (d) : [RCATORCEDOS]
@SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) >= 0));

DATA:

ntd=6;
npc=2
iag=@OLE ();
ntjexches=@OLE ();
ntpphes=@OLE ();
ntiphes=@OLE ();
penalizacion1=2;
penalizacion2=1;

ENDDATA

```

ANEXO 4. Programación en Lingo del modelo propuesto sin horario especial

MODEL:

```
VARIABLE _DECISION (BASE, DIA, TIE) : BX;  
VARIABLE _PER_ASI_GRU_DIA_TIE_ARRANQUE (ASI, GRU, DIA, TIE) : BXA;  
VARIABLE _ASIIGRU_ACTIVA (ASI, GRU, DIA) : BZ;  
VARIABLE _ARRANQUE_PROCOM (PRO, SED, DIA, TIE) : BY;
```

ENDSETS

```
@FOR (VARIABLE _DECISION : @BIN (BX) );  
@FOR (VARIABLE _PER_ASI_GRU_DIA_TIE_ARRANQUE : @BIN (BXA) );  
@FOR (VARIABLE _ASIIGRU_ACTIVA : @BIN (BZ) );  
@FOR (VARIABLE _ARRANQUE_PROCOM : @BIN (BY) );
```

FUNCIÓN OBJETIVO;

```
MIN=@SUM (GRU (g) : @SUM (ASIDUPGRU (g, a) : @SUM (DIA (d) : BZ (a, g, d) ) *penalizacion2)  
)+  
@SUM (SED (s) : @SUM (PROCOMSED (s, p) : @SUM (DIA (d) : @SUM (TIE (t) : BY (p, s, d, t) ) ) *pen  
alizacion1) );
```

RESTRICCIONES;

```
@FOR (SED (s) : @FOR (TIEJNODIA (d, t) : @FOR (GRUSED (s, g) : [RUNO]  
@SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) = 1) ) );
```

```
@FOR (SED (s) | s#EQ#1 : @FOR (TIEJEXDIA (d, t) : @FOR (GRUJEXSED (s, g) : [RDOSUNO]  
@SUM (PROGRU (g, p) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) <= 1) ) );
```

```
@FOR (SED (s) | s#EQ#2 : @FOR (TIEJEXDIA (d, t) : @FOR (GRUJEXSED (s, g) : [RDOSDOS]  
@SUM (PROJEXSED (s, p) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) <= 1) ) );
```

```
@FOR (SED (s) | s#EQ#1 : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) | t#EQ#7 : @FOR (GRUJEXSED (s, g) : [RT  
RESUNO]  
@SUM (PROGRU (g, p) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t+1) ) ) <= @SUM (PROGRU (g, p)  
: @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ) );
```

```
@FOR (SED (s) | s#EQ#2 : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) | t#EQ#7 : @FOR (GRUJEXSED (s, g) : [RT  
RESDOS]  
@SUM (PROJEXSED (s, p) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t+1) ) ) <= @SUM (PROJEXSE  
D (s, p) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ) );
```

```
@FOR (PRO (p) : @FOR (TIEDIA (d, t) : [RCUATRO]  
@SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) <= 1) );
```

```
@FOR (PRO (p) : @FOR (DIA (d) : [RCINCO]  
@SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) <= ntd) );
```

```

@FOR (GRU (g) : @FOR (ASIGRU (g, a) : [RSEISUNO]
@SUM (DIA (d) : @SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) = iag (g, a) ) ) ;

@FOR (GRU (g) : @FOR (ASIGRU (g, a) : @FOR (DIA (d) : [RSEISDOS]
@SUM (TIE (t) : BXA (a, g, d, t) ) <= 1) ) ) ;

@FOR (GRU (g) : @FOR (ASIGRU (g, a) : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) : [RSEISTRES]
@SUM (TIE (t2) | t2 # LE # t : BXA (a, g, d, t2) ) >= @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ) ;

@FOR (GRU (g) : @FOR (ASIGRU (g, a) : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) : [RSEISCUATRO]
BXA (a, g, d, t) <= @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ) ;

@FOR (GRU (g) : @FOR (ASIGRU (g, a) : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) | t # GE # 2 : [RSEISCINCO]
@SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) - BX (p, a, g, s, d, t - 1) ) <= BXA (a, g, d, t) ) ) ) ;

@FOR (GRU (g) : @FOR (ASIDUPGRU (g, a) : @FOR (DIA (d) : [RSIETEUNO]
@SUM (TIE (t) : BXA (a, g, d, t) ) * 2 >= @SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ) ;

@FOR (ESPGRU (g, a) : @FOR (DIA (d) : [RSIETEDOS]
@SUM (TIE (t) : BXA (a, g, d, t) ) * iag (g, a) <= @SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ;

@FOR (ESPGRU (g, a) : @FOR (DIA (d) : [RSIETETRES]
@SUM (TIE (t) : BXA (a, g, d, t) ) * iag (g, a) >= @SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ;

@FOR (GRU (g) : @FOR (ASIDUPGRU (g, a) : @FOR (DIA (d) : [ROCHO]
@SUM (TIE (t) : BXA (a, g, d, t) ) * 2 -
@SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) <= BZ (a, g, d) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROJEXSEDSHES (s, p) : [RNUEVE]
@SUM (DIA (d) : @SUM (TIEJEX (t) : @SUM (GRUJEXSED (s, g) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ) = ntjexshes (s, p) ) ;

```

El número 16 que es la ubicación en el conjunto de profesores que aparece Frederman, el cual no debe incluirse en esta restricción ya que solamente imparte en una sede;

```

@FOR (PROCOM (p) | p # NE # 16 : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) | t # LE # 7 : [RDIEZUNO]
@SUM (BASE (p, a, g, s) | s # EQ # 1 : BX (p, a, g, s, d, t) ) + @SUM (BASE (p, a, g, s) | s # EQ # 2 : BX (p, a, g, s, d, t + 1) ) <= 1) ) ;

@FOR (PROCOM (p) | p # NE # 16 : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) | t # LE # 7 : [RDIEZDOS]
@SUM (BASE (p, a, g, s) | s # EQ # 2 : BX (p, a, g, s, d, t) ) + @SUM (BASE (p, a, g, s) | s # EQ # 1 : BX (p, a, g, s, d, t + 1) ) <= 1) ) ;

```

```

@FOR (SED (s) : @FOR (PROCOMSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : [RONCEUNO]
@SUM (TIE (t) : BY (p, s, d, t) ) <= 1) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROCOMSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) : [RONCEDOS]
@SUM (TIE (t2) | t2 # LE # t : BY (p, s, d, t2) ) ) >= @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROCOMSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) : [RONCETRES]
BY (p, s, d, t) <= @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) ) ) ) ;

@FOR (SED (s) : @FOR (PROCOMSED (s, p) : @FOR (DIA (d) : @FOR (TIE (t) | t # GE # 2 : [RONCECUAT
RO]
@SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) - BX (p, a, g, s, d, t-1) ) <= BY (p, s, d, t) ) ) ) ) ;

@FOR (SED (s) | s # EQ # 2 : @FOR (DIA (d) : [RDOCE]
@SUM (PROCOMSED (s, p) : @SUM (TIE (t) : BY (p, s, d, t) ) ) <= 2) ) ;

PROIJC DEBE SER IGUAL A CERO, PERO COMO LA ITERACIÓN ES PEQUEÑA NO SE
COLOCA;

@FOR (PROIJC (p) : @FOR (DIA (d) : [RTRECEUNO]
@SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) >= 0));

@FOR (PROIJC (p) : @FOR (DIA (d) : [RTRECEDOS]
@SUM (TIE (t) : @SUM (BASE (p, a, g, s) : BX (p, a, g, s, d, t) ) ) >= 0));

DATA:

ntd=6;
iag=@OLE();
ntjexshes=@OLE();
penalizacion1=2;
penalizacion2=1;

ENDDATA

```