

FORMULACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE
PROGRAMACIÓN ENTERA PARA LA ASIGNACIÓN DE
HORARIOS ACADÉMICOS DE UNA INSTITUCIÓN DE
EDUCACIÓN SUPERIOR

DIANA CAROLINA BENEDETTI ARGUELLO
RENULFO ANTONIO ORTEGA MURILLO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVAR
ESCUELA INGENIERIAS & ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
MONTERÍA

2022

FORMULACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO DE PROGRAMACIÓN ENTERA PARA
LA ASIGNACIÓN DE HORARIOS ACADÉMICOS DE UNA INSTITUCIÓN DE
EDUCACIÓN SUPERIOR

DIANA CAROLINA BENEDETTI ARGUELLO
RENULFO ANTONIO ORTEGA MURILLO

Trabajo de grado para optar al título de ingeniería
industrial

Asesor

CESAR LOPEZ MARTINEZ

Magister Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVAR
ESCUELA INGENIERIAS & ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
MONTERÍA

2022

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	5
RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPITULO 1.....	8
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	8
CAPITULO 2.....	9
MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE ARTE	9
-Programación Entera Mixta:	9
-Programación Entera Pura:	9
-Modelo de Asignación Básico:	9
-Métodos de Descomposición:.....	10
-Métodos de Descomposición:	10
-Métodos Inductivos:.....	11
-Métodos de Reducción:	11
-Métodos Constructivos:	11
-Programación De Tareas Con Recursos Restringidos:.....	11
-Técnicas De Solución De Problemas De Horarios	11
CAPITULO 3.....	17
OBJETIVOS	17
Objetivo General:.....	17
Objetivos específicos:	17
CAPITULO 4.....	18
METODOLOGÍA	18
-Fases	18
-Selección del caso de estudio	18
CAPITULO 5.....	21
PROPUESTA DE MODELO MATEMÁTICO	21
Conjuntos:	21
Parámetros:	21
Variables De Decisión:.....	22
Función Objetivo:.....	22
Restricciones:	22

CAPITULO 6.....	24
ORGANIZACIÓN Y PREPARACIÓN DE DATOS	24
CAPITULO 7.....	28
RESULTADOS	28
CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES	32
BIBLIOGRAFÍA.....	33
ANEXOS.....	35
Anexo 1: Pensum de Contaduría	35
Anexo 2: Pensum de Administración de Empresas.....	37
Anexo 3: Matrices de Datos	38
Anexo 4: Horarios	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Técnicas de solución de problemas de horarios - Técnicas no tradicionales.....	12
Figura 2 Recopilación de investigaciones	14
Figura 3 Asignatura dictada por profesor para cada carrera	19
Figura 4 Horario presentado para el docente.....	20
Figura 5 Tabla de restricciones del modelo programación de horarios	22
Figura 6 Tabla de restricciones del modelo programación de horarios - Continuación.....	23
Figura 7 Datos del modelo	24
Figura 8 Se muestra un segmento de la matriz madre, correspondiente a las materias dadas en el primer semestre de la carrera de Contaduría	24
Figura 9 Se muestra un segmento de la matriz madre, correspondiente a las materias dadas en el primer semestre de la carrera de Administración.....	25
Figura 10 Segmento de matriz del parámetro IH.....	25
Figura 11 Segmento de matriz del parámetro N.....	25
Figura 12 Datos de una instancia del modelo	26
Figura 13 Resultado de instancia para programación de horarios.....	26
Figura 14 Horario semestre 1 de contaduría arrojado por el modelo.....	28
Figura 15 Horario semestre 1 de Administración arrojado por el modelo	29
Figura 16 Cuadro de comparación descriptiva de tiempo utilizado para la realización de horarios con la programación tradicional de la IES y con la programación de horarios con el modelo implementado.....	29
Figura 17 Ejemplo de validación de resultados del modelo.....	30
Figura 18 Semestres 1, 2, 3, 4.....	35
Figura 19 Semestres 5, 6, 7.....	35
Figura 20 Semestre 8, 9, 10.....	36
Figura 21 Semestre 1, 2, 3.....	37
Figura 22 Semestres 4, 5, 6.....	37
Figura 23 Semestres 7, 8, 9.....	37

RESUMEN

El presente trabajo de grado propone una respuesta a la pregunta problema ¿Cómo realizar la programación de horarios de una institución educativa, superior que permita mejorar el tiempo de planeación de horarios y cumpla con los requerimientos de la institución? El cual es un problema en una institución educativa de educación superior (IES) de la ciudad de montería. Donde actualmente se presentan largos tiempos en la planificación y creación de los horarios correspondientes para los 10 semestres de dos de sus carreras universitarias.

Fue importante la solución de esta pregunta, ya que se propuso un modelo matemático, con el fin de cubrir todas las necesidades de la IES para su proceso de planificación, disminuyendo tiempos ociosos dentro la actividad. Esto se logró, por medio de una serie de pasos, inicialmente se procedió a consultar la problemática de la institución y conocer sus condiciones; seguido a esto, se realizó el respectivo análisis de los datos brindados por la IES y se procedió a realizar el modelo. Finalmente se realizó, en varias ocasiones, validaciones con instancias para el correcto funcionamiento de este, y así obtener resultados factibles dentro de la solución, brindando respuesta y una solución a las necesidades expuestas por la institución

PALABRAS CLAVE: Programación entera, programación de horarios, jornadas, modelo, problema, IES (Institución de Educación Superior), pensum, intensidad horaria.

INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo de grado se abordó la problemática de una institución de educación superior (IES), en donde la planeación de horarios de las diferentes carreras que oferta, es realizada de manera manual con apoyo de herramientas ofimáticas, demandando muchos días de trabajo enfocados a esa única tarea o actividad, tratando de cumplir en su mayoría con las restricciones que esta planeación supone; como lo son evitar el cruce de materias y docentes.

Para el caso de estudio se cuenta con 132 materias (69 de contaduría y 63 de administración de empresas), 19 docentes de planta en la jornada diurna y 15 salones; y su objetivo principal es maximizar el número de bloques (2 horas) teniendo en cuenta las condiciones expuestas por la IES.

Con ello, se busca dar solución a la pregunta de este trabajo ¿Cómo realizar la programación de horarios de una institución educativa superior que permita mejorar el tiempo de planeación de horarios y cumpla con los requerimientos de la institución? Ya que el modelo de programación propuesto está basado en el modelo de Alfaro haciendo la asignación del salón de clases. Además, los resultados de este proyecto serán compartidos con la institución por medio de la entrega de una copia de este documento con la persona encargada de la programación de horarios.

CAPITULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En una institución de educación superior de la ciudad de Montería – Córdoba, dentro de sus procesos de creación y planificación de horarios, no se ha implementado un método de programación entera ni software de horarios, por falta de presupuesto, que optimice el tiempo utilizado para la realización de esta tarea o actividad, todo este proceso es realizado manualmente por la encargada del área de planeación, con ayudas de herramientas ofimáticas para su respectiva documentación, donde en promedio se demora de 10 a 15 días para realizar sus labores de asignación. Implementar modelos matemáticos de programación entera para la creación de horarios pueden ser de gran ayuda en las instituciones, para disminuir los tiempos ociosos dentro de este tipo de actividades, con este proyecto se pretende acelerar estos procesos dentro de la institución y que brinde opciones de realizar la tarea con resultados más rápidos y factibles u óptimos.

La investigación realizada con el personal encargado de esta tarea evidencia la inconformidad que tienen para realizar este trabajo, ya que resulta ser bastante tedioso y demorado, por tantas condiciones y restricciones que se presentan en la creación de estos horarios. La persona encarga tiene ciertos aspectos para tener en cuenta al momento de realizar dichas asignaciones:

- Que un profesor no tenga cruce entre salones y materias en un mismo día.
- Que una materia, no sea dictada por dos profesores en mismo día y salón.
- Que en un salón no se cruce una clase dictada por dos carreras diferentes.
- Los docentes evaluados son de naturaleza de tiempo completo en la institución.
- Que se cumpla intensidad horaria de cada materia.

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores y la malla curricular de cada carrera, se propone un modelo de programación entera, que permita dar solución a los parámetros establecidos por la IES, teniendo en cuenta que será formulado para la carrera de administración y contaduría de 10 semestres cada una y son ofertados en la jornada diurna, con docentes de planta. Con la programación automatizada es más fácil respetar las restricciones de este tipo de problemas, por ende, con este trabajo se buscar dar respuesta a la pregunta problema, ¿Cómo realizar la programación de horarios de una institución educativa superior que permita mejorar el tiempo de planeación de horarios y cumpla con los requerimientos de la institución?

CAPITULO 2

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE ARTE

En la programación lineal se utiliza un modelo matemático para representar el problema bajo estudio. La palabra lineal en el nombre se refiere a la forma de las expresiones matemáticas en este modelo. Y programación no se refiere a programación por computadora, aquí se le utiliza esencialmente como sinónimo de planeación. De esta manera, programación lineal significa la planeación de actividades que se representa por un modelo matemático lineal. (Rojas, 2016)

Un modelo de programación entera es aquel cuya solución óptima tiene sentido solamente si una parte o todas las variables de decisión toman valores restringidos a números enteros, permitiendo incorporar en el modelamiento matemático algunos aspectos que quedan fuera del alcance de los modelos de Programación Lineal. Los modelos de programación entera los existe de dos tipos: Mixto y Pura.

-Programación Entera Mixta:

Aquí se encuentran los problemas de optimización cuyas variables son enteras o binarias, pero no son variables exclusivas, es por ello por lo que la programación entera mixta se considera híbridos entre distintos tipos de modelación. El ejemplo más típico de este tipo de programación es la combinación entre variables continuas y enteras como se ven en modelos de transporte, de corriente eléctrica, integración de costos fijos.

-Programación Entera Pura:

Son aquellos modelos que solamente consideran como variables de decisión valores enteros o binarios como lo son el problema de la mochila, problema de corte de rollos y los problemas de asignación.

-Modelo de Asignación Básico:

es aquel en el que se asignan los recursos requeridos para la realización de ciertas tareas, un claro ejemplo de este modelo es la asignación de personas a trabajos, sin embargo, no solo es aplicado en asignación de personas, sino también a maquinas, vehículos, plantas, periodos de tiempo y horarios.

Para que un modelo, encaje en la definición de un modelo de asignación, debe cumplir ciertos criterios bases como lo son:

- El número de asignados es igual al número de tareas. (Este número se denota por n .) (Proyecto Investigación de Operaciones, 2016)
- A cada asignado se le asigna sólo una tarea. (Proyecto Investigación de Operaciones, 2016)
- Cada tarea debe realizarla sólo un asignado. (Proyecto Investigación de Operaciones, 2016)
- Existe un costo c_{ij} asociado con el asignado i ($i = 1, 2, \dots, n$) que realiza la tarea j ($j = 1, 2, \dots, n$).
- El objetivo es determinar cómo deben hacerse las n asignaciones para minimizar los costos totales (Proyecto Investigación de Operaciones, 2016)

Los **modelos de asignación de horarios** se pueden dividir en dos tipos, según el tipo de institución (colegio o universidad). En el caso de las universidades debe existir cierta flexibilidad en los horarios y en la selección de los cursos que toma cada estudiante. La programación de clases y evaluaciones difieren, principalmente, en algunos aspectos (Hernandez, Miranda P., & Rey, 2008) los cuales están contemplados en las restricciones que se deben tener en cuenta al momento de realizar la modelación.

Las soluciones de este tipo de modelos de asignación de horarios suelen ser diversas pero estrictas en cuanto a cumplir los requerimientos o restricciones de los modelos. Para estos tipos de problemas se hace uso de la metaheurística, la cual es un método heurístico para resolver tipos de problemas computacionales generales, éstos proporcionan variables efectivas y adecuadas a los problemas de programación de horarios. Algunos otros métodos heurísticos de optimización de horarios comprenden algoritmos de exploración en los cuales se llega a la solución por medio de una evaluación del progreso logrado en la búsqueda de un resultado final. Dentro de los algoritmos heurísticos se puede encontrar diferentes categorías, dentro de las más conocidos se tienen:

-Métodos de Descomposición:

El problema original se descompone en subproblemas más sencillos de resolver, teniendo en cuenta, aunque sea de manera general, que ambos pertenecen al mismo problema. (Parra, 2013)

-Métodos de Descomposición:

El problema original se descompone en subproblemas más sencillos de resolver, teniendo en cuenta, aunque sea de manera general, que ambos pertenecen al mismo problema. (Parra, 2013)

-Métodos Inductivos:

La idea de estos métodos es generalizar de versiones pequeñas o más sencillas al caso completo. Propiedades o técnicas identificadas en estos casos más fáciles de analizar pueden ser aplicadas al problema completo. (Parra, 2013)

-Métodos de Reducción:

Consiste en identificar propiedades que se cumplen mayoritariamente por las buenas soluciones e introducirlas como restricciones del problema. El objeto es restringir el espacio de soluciones simplificando el problema. El riesgo obvio es dejar fuera las soluciones óptimas del problema original. (Parra, 2013)

-Métodos Constructivos:

Consisten en construir literalmente paso a paso una solución del problema. Usualmente son métodos deterministas y suelen estar basados en la mejor elección en cada iteración. (Parra, 2013)

-Programación De Tareas Con Recursos Restringidos:

Sea un proyecto compuesto por un conjunto de n actividades $X = (1; n)$, cada una de las cuales utiliza una cantidad de recursos r_{ik} para su realización, donde i es la actividad y k es el recurso. Además, b_k es la cantidad total disponible del recurso k y d_i representa la duración de la actividad i . Las actividades 1 y n son actividades ficticias que representan el inicio y la finalización del proyecto, con duración y consumo de recursos iguales a cero. La solución del RCPSP está dada por los tiempos de inicio de cada una de las actividades de tal manera que se minimice el tiempo total de terminación del proyecto o makespan. (Morillo, Moreno, & Díaz, 2014).

-Técnicas De Solución De Problemas De Horarios

Los problemas de programación de horarios o conocido como el problema de Timetabling, se enfocan según Zhipeng Lu y Jin-Kao Hao, asignar un número de eventos, cada uno con ciertas características, a un número limitado de recursos sujetos a restricciones. (Cubillos, 2013) Para la solución de estos problemas se utilizan las siguientes técnicas:

- **Técnicas tradicionales:** Son métodos que recorren todo el espacio de búsqueda, por tanto, se dice que encuentran todas las soluciones al problema, se les considera

como algoritmos completos. Sin embargo, estos métodos, dependen del número de variables que intervienen en el problema. En este grupo se encuentran programación lineal, entera, back tracking, entre otras. (Vera, 2018).

- **Técnicas no tradicionales:** las técnicas tradicionales se caracterizan por no encontrar todas las soluciones factibles de un problema, se reconocen como soluciones incompletas. Estos tipos de soluciones son conocidos como metaheurísticos. A continuación, una tabla en donde resumimos algunas de estas técnicas

Figura 1 Técnicas de solución de problemas de horarios - Técnicas no tradicionales

Meta -Heurística	Características
Grasp	• 1989
	• Adaptativa de acuerdo con las condiciones del problema
	• Metodología de las más reciente
	• Requiere alto tiempo para hallar la solución
	• búsqueda aleatoria
	• dificultad de adecuar los parámetros
Búsqueda Tabú	• 1989
	• Requiere solución inicial
	• Mas complejo de implementar
	• Buenos resultados en poco tiempo
	• No garantiza optimalidad
Recorrido simulado	• 1983
	• Facilidad de implementación
	• Complejo para problemas muy grandes
	• No garantiza optimalidad
	• Tiene facilidad para combinar con otras técnicas heurísticas, para obtener sistemas híbridos
	• Dependiendo de los parámetros elegidos, las soluciones que se van encontrando pueden ser un poco estables
Colonia de Hormigas	• 1996
	• La más novedosa
	• Tiempo para encontrar solución de calidad alto
	• Ofrece buenas soluciones
	• No garantiza optimalidad

Haciendo el barrido bibliográfico encontramos que en el artículo de 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 dice que “Las instituciones educacionales enfrentan cada semestre el problema de la programación de horarios y

asignación de salas de clase de los cursos que imparten. Desde la perspectiva de la Investigación de Operaciones, este tipo de problemas se enmarcan en el área conocida como Timetabling o programación horaria. Los problemas de esta área consisten en la asignación de ciertos eventos a distintos bloques horarios respetando una serie de requerimientos y condiciones. Dentro de estos problemas existe una rama específica, llamada Clase Scheduling, que estudia problemas relacionados con la programación horaria para entidades educativas.” (R. Hernandez, 2008), en este documento también hablan ciertos beneficios que obtiene la institución educativa después de implementar el modelo de asignación de horarios y también lo menciona en (Ovalle, 2013).

La programación horaria tiene una serie de condiciones a satisfacer, dentro de las cuales se pueden encontrar: No puede existir más de una asignación en un mismo periodo para una misma materia ni aula. La programación se debe realizar completa, es decir que todas las asignaturas con su respectiva intensidad horaria deben tener asignado un salón en un periodo de tiempo determinado. Es necesario respetar la disponibilidad horaria de cada profesor. Las materias del mismo semestre que tengan un solo grupo no pueden ser programadas en la misma franja horaria. Se debe respetar la capacidad de los salones. Una materia se puede dictar en bloques de 2 horas máximo cada día. Si una materia se dicta en bloque no debe cambiar de salón. (Sarmiento-Lepesqueur, Torres Ovalle, Quintero Araújo , & Montoya Torres , 2012); (Ovalle, 2013) (Castrillón, 2014).

Dentro de la formulación de los modelos de asignación de horarios con bases en los modelos heurísticos se requiere conocer los trabajos previos sobre el tema, en los cuales se pueden encontrar una gran similitud en los parámetros como los son cantidad de salones, cantidad de asignaturas, cantidad de profesores, cantidad total de periodos semanales, intervalo de asignaturas correspondientes a un semestre, intervalo de asignaturas correspondientes a un día de la semana, capacidad del salón en términos de alumnos. (Caballero & Paternina Arboleda, 2010) (AMÉZQUITA, 2016)

También podemos observar que en el artículo (Caballero & Paternina Arboleda, 2010) hace mucho énfasis en que la función objetivo debe representar los conflictos de salones y profesores en un mismo semestre a su vez que entre semestres, para así no tener cruces de salones con diferentes semestres. Pero desde otro punto vista se tiene que (Hernandez, Miranda P., & Rey, 2008) dice que La función objetivo representa la minimización de clases auxiliares asignadas a bloques horarios que no pertenecen a un día en específico.

En la programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias desarrollada por (Ovalle, 2013) se puede evidenciar las claras mejoras significativas en la comparación realizada entre la programación real con la programación propuesta, para esto se incluyeron indicadores que permitieron medir el porcentaje de ocupación de salones y el uso de las franjas horarias, además, de calcular con la misma metodología del modelo matemático un valor de la solución real. A su vez (HERNANDEZ Campos, 2008) los resultados muestran una programación de horarios que cumple con cada uno de los requerimientos solicitados por la institución, además que cumple con la capacidad de los cursos y salones; también tiene todas las características de la programación lineal entera que fueron usadas correctamente

para dar una solución óptima al problema planteado.

En los trabajos revisados se puede apreciar que, en su mayoría, la función objetivo buscar cumplir con los parámetros requeridos por las instituciones y los que surgen en el debido proceso, teniendo en cuenta las restricciones de capacidad, franja horaria, disponibilidad del docente entre otras, a su vez de la malla curricular de cada institución o carrera según el caso.

Figura 2 Recopilación de investigaciones

AÑO	ARTÍCULO	CITA
2008	<p>HERNANDEZ Campos, R. A. PROGRAMACIÓN DE HORARIOS DE CLASES Y ASIGNACIÓN DE SALAS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DIEGO PORTALES. Santiago - Chile</p>	<p>“Las instituciones educacionales enfrentan cada semestre el problema de la programación de horarios y asignación de salas de clase de los cursos que imparten. Desde la perspectiva de la Investigación de Operaciones, este tipo de problemas se enmarcan en el área conocida como Timetabling o programación horaria. Los problemas de esta área consisten en la asignación de ciertos eventos a distintos bloques horarios respetando una serie de requerimientos y condiciones. Dentro de estos problemas existe una rama específica, llamada Clase Scheduling, que estudia problemas relacionados con la programación horaria para entidades educativas.”</p> <p>A su vez (HERNANDEZ Campos, 2008) los resultados muestran una programación de horarios que cumple con cada uno de los requerimientos solicitados por la institución, además que cumple con la capacidad de los cursos y salones; también tiene todas las características de la programación lineal entera que fueron usadas correctamente para dar una solución óptima al problema planteado.</p>
2008	<p>Hernandez, R., Miranda P., J., & Rey, P. PROGRAMACIÓN DE HORARIOS DE CLASES Y ASIGNACION DE SALAS PARA LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DIEGO PORTALES MEDIANTE UN ENFOQUE DE PROGRAMACIÓN ENTERA. Revista Ingeniería de Sistemas, 121 - 137</p>	<p>En este artículo se dice que La función objetivo representa la minimización de clases auxiliares asignadas a bloques horarios que no pertenecen a un día en específico.</p>

2010	<p>Caballero, J. M., & Paternina Arboleda, C. ASIGNACIÓN DE HORARIOS DE CLASES UNIVERSITARIAS MEDIANTE ALGORITMOS EVOLUTIVOS. Revista Edicacion en Ingenieria, 140-149.</p>	<p>Dentro de la formulación de los modelos de asignación de horarios con bases en los modelos heurísticos se requiere conocer los trabajos previos sobre el tema, en los cuales se pueden encontrar una gran similitud en los parámetros como los son cantidad de salones, cantidad de asignaturas, cantidad de profesores, cantidad total de periodos semanales, intervalo de asignaturas correspondientes a un semestre, intervalo de asignaturas correspondientes a un día de la semana, capacidad del salón en términos de alumnos.</p> <p>También podemos observar que en el artículo hace mucho énfasis en que la función objetivo debe representar los conflictos de salones y profesores en un mismo semestre a su vez que entre semestres, para así no tener cruces de salones con diferentes semestres.</p>
2012	<p>Sarmiento-Lepesqueur, A., Torres Ovalle, C., Quintero Araujo, C., & Montoya Torres, J. PROGRAMACIÓN Y ASIGNACIÓN DE HORARIOS DE CLASES UNIVERSITARIAS.: Panamá, Panamá.</p>	<p>La programación horaria tiene una serie de condiciones a satisfacer, dentro de las cuales se pueden encontrar: No puede existir más de una asignación en un mismo periodo para una misma materia ni aula. La programación se debe realizar completa, es decir que todas las asignaturas con su respectiva intensidad horaria deben tener asignado un salón en un periodo de tiempo determinado. Es necesario respetar la disponibilidad horaria de cada profesor. Las materias del mismo semestre que tengan un solo grupo no pueden ser programadas en la misma franja horaria. Se debe respetar la capacidad de los salones. Una materia se puede dictar en bloques de 2 horas máximo cada día. Si una materia se dicta en bloque no debe cambiar de salón.</p>
2013	<p>Ovalle, C. T. PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS DE CLASES UNIVERSITARIAS. PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS DE CLASES UNIVERSITARIAS. Chía, Colombia.</p>	<p>En la programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias desarrollada por</p>
2014	<p>Castrillón, O. D COMBINACIÓN ENTRE ALGORITMOS GENÉTICOS Y ALEATORIOS PARA LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS DE CLASES BASADO EN RITMOS COGNITIVOS. Manizales, Colombia.</p>	<p>En la programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias desarrollada por</p>
2013	<p>Ovalle, C. T.</p>	<p>En la programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias desarrollada por</p>

	<p>PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS DE CLASES UNIVERSITARIAS.</p> <p>PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS DE CLASES UNIVERSITARIAS.</p> <p>Chía, Colombia.</p>	<p>(Ovalle, 2013) se puede evidenciar las claras mejoras significativas en la comparación realizada entre la programación real con la programación propuesta, para esto se incluyeron indicadores que permitieron medir el porcentaje de ocupación de salones y el uso de las franjas horarias, además, de calcular con la misma metodología del modelo matemático un valor de la solución real.</p>
2018	<p>Vera, C.A</p> <p>PROPUESTA DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA PARA EL DESARROLLO DE UN PROBLEMA DE TIMETABLING EN LA ASIGNACIÓN DE HORARIOS DE CLASE DE UN COLEGIO.</p>	<p>El modelo aplicado en este trabajo tiene en cuenta los conjuntos, parámetros, variables de decisión y función objetivo; propuesta por Alfaro (Vera, 2018). Siendo las aulas de clase un agregado a este.</p>
<p>En los trabajos revisados se puede apreciar que, en su mayoría, la función objetivo buscar cumplir con los parámetros requeridos por las instituciones y los que surgen en el debido proceso, teniendo en cuenta las restricciones de capacidad, franja horaria, disponibilidad del docente entre otras, a su vez de la malla curricular de cada institución o carrera según el caso.</p> <p>Teniendo en cuenta que el enfoque de este trabajo es realizado a una institución de educación superior, la investigación del estado de arte tuvo esa misma orientación, por lo que se puede concluir que el 100% de los casos estudiados fueron aplicado en instituciones del mismo nivel o más rango.</p>		

CAPITULO 3

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Realizar la programación de horarios académicos de una institución de educación superior por medio de la formulación y solución de un modelo matemático de programación entera que permita cumplir los requerimientos exigidos por la institución.

Objetivos específicos:

- Identificar los requerimientos necesarios que tiene la IES para la conformación de sus horarios académicos por medio de entrevista al personal encargado, con el fin de conocer a profundidad el caso de estudio.
- Extender un modelo matemático basado en la programación entera existente en la literatura que permita realizar la programación de horarios de IES.
- Solucionar el modelo matemático por medio de un software de optimización con el fin de encontrar una solución factible que cumpla con los requerimientos exigidos por la IES.
- Comparar la programación de horarios obtenida por medio del modelo de optimización con la programación actual, por medio de un análisis descriptivo con el fin de encontrar mejoras en la programación de horarios académica de la institución.

CAPITULO 4

METODOLOGÍA

Este proyecto implica la manipulación de diferentes variables, las cuales tienen una relación entre sí, y disponen de valores específicos como intensidad horaria de asignaturas, días, horas disponibles por día, total de aulas, profesores y asignaturas. Con el fin de llevar a cabo el desarrollo de este proyecto se establecieron una serie de pasos a seguir, para realizar una correcta investigación y facilitar el proceso de esta propuesta. Para ello se cuenta con cuatro fases con las que se busca facilitar el proceso y mantener un orden de este:

-Fases

- En esta primera fase se busca realizar la respectiva síntesis e investigación de parámetros, variables, posibles conjuntos para poder comprender el problema planteado, haciendo una separación y clasificación jerárquica de ideas que permitan empezar con la recolección de datos en su totalidad.
- Una vez realizada la primera, se procede con la recolección de datos a través de una entrevista a la persona encargada de la programación de horarios de la institución, una vez identificados todos los datos, se sigue con el inicio de formulación del modelo con los datos reales de estudio, como los conjuntos, parámetros y variables de decisión.
- Para esta penúltima fase, se inicia con la formulación de la función objetivo con sus respectivas restricciones con el fin de incluir en esta todos los requerimientos solicitados por la institución.
- Ejecutar el modelo propuesto haciendo uso del programa AMPL hasta encontrar una solución factible, para luego realizar una comparación descriptiva de los 2 tipos de programación (manual y sistemática) para los resultados.

-Selección del caso de estudio

El ente educativo escogido para el desarrollo de este trabajo es una institución de educación superior de la ciudad de Montería - Córdoba, que presta sus servicios a la comunidad monteriana desde el año 2014, brindando un apoyo constante e impulsando a sus alumnos a ser grandes profesionales y personas, esta institución oferta dos carreras, las cuales son contaduría y administración en la jornada diurna. El personal administrativo de la institución encargado de crear los horarios para los 10 semestres de estas dos carreras, demandan una cantidad de tiempo debido a la falta computacional para ello, es decir, su actividad era realizada de forma manual con ayuda de herramientas ofimáticas para la realización de los

20 horarios, algo que resulta algo tedioso y genera tiempos ociosos dentro la jornada laboral. En el anexo se encuentra los pensum de las respectivas carreras, a las cuales se les implementará el modelo de programación. Se recalca, que únicamente se trabajará en la jornada diurna.

En los anexos 1 y 2, se muestran el pensum de las carreras de Contaduría y Administración de empresas respectivamente, por las que se trabajaron para la asignación de horarios, además cabe aclarar que la información brindada corresponde únicamente a la jornada diurna, por lo que la formulación será centrada en esta jornada.

A continuación, se muestra el ejemplo de un horario realizado por la encargada de la universidad los cuales son realizados por profesor donde se incluyen las clases que este brinda en todas las jornadas. Cabe resaltar que este procedimiento era realizado por cada profesor, teniendo en cuenta que son 19 profesor y 132 materias entre administración y contadurías.

Figura 3 Asignatura dictada por profesor para cada carrera

DOCENCIA DIRECTA		
ASIGNATURA	GRUPO (Sinú)	CRÉDITOS
Tics	A5Cont	2
	B5Cont	2
Informática Básica	A1	3
	B1	3
	C1	3
Responsabilidad Social Empresarial	V 5 Cont.	2
Electiva de Profundización I - Informática Avanzada	A3 Adm	3
	B3 Adm	3

Figura 4 Horario presentado para el docente

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
06:00 - 7:00						
7:00 - 8:00						
8:00 - 9:00				Informática Básica Sala 1	Electiva de Profundización I - Informática Avanzada Sala 1	
9:00 - 10:00						
10:00 - 11:00		TICS Sala 1				
11:00 - 12:00						
12:00 - 13:00						
13:00 - 14:00						
14:00 - 15:00						
15:00 - 16:00						
16:00 - 17:00						Informática Básica Sala 1
17:00 - 18:00						
18:00 - 19:00	TICS Sala 1	Electiva de Profundización I - Informática Avanzada Sala 1				
19:00 - 20:00						
20:00 - 21:00	Informática Básica Sala 1	Informática Básica Sala 1				
21:00 - 22:00		Informática Básica sala 1				

CAPITULO 5

PROPUESTA DE MODELO MATEMÁTICO

Haciendo un análisis más específico del planteamiento del problema, teniendo en cuenta las condiciones de la IES, se cuenta con un grupo de conjuntos, parámetros y restricciones que buscan solucionar la problemática presentada teniendo como base el modelo propuesto por Alfaro en 2018 cuyo “principal objetivo y mejora a la situación actual la maximización de los bloques de cada asignatura (entendiendo como bloque, una asignatura que se realiza por más de un periodo de clases u hora pedagógica, de forma continua)” (Vera, 2018) y como propuesta de mejora para adaptarlo a nuestro modelo para las necesidades de la IES, se optó por agregar un conjunto de aulas disponibles para cada carrera.

También se puede señalar que los parámetros aplicados son fundamentales para la formulación del modelo, puesto que indexan la intensidad horaria de cada materia según el número de créditos y la disponibilidad horaria de cada materia para cada docente; ya que al ser jornada diurna son docentes de planta de la IES.

Conjuntos:

- P: Conjunto de profesores. $p \in P$ $P = \{1,2,3,4, \dots, 19\}$
- M: Conjunto de materias. $m \in M$ $M = \{1,2,3,4, \dots, 132\}$
- S: Conjunto de semestres. $s \in S$ $S = \{1,2,3, \dots, 10\}$
- C: Conjunto de carreras. $c \in C$ $C = \{1,2\}$
- D: Conjunto de días. $d \in D$ $D = \{1,2,3,4,5\}$
- H: Conjunto de horas. $h \in H$ $H = \{1,2,3, \dots, 8\}$
- A: Conjunto de aulas. $a \in A$ $A = \{1,2,3, \dots, 15\}$
- MPSC: Conjunto que indique la materia M dictada por el profesor P, en un semestre S, para una carrera C. $(m, p, s, c) \in \text{MPSC}$
- B: Conjunto de bloques $(h, d) \in \text{HD}$

Parámetros:

- IH_{mpsc} : Intensidad horaria que debe cumplir una materia $m \in M$, dictada por un profesor $p \in P$, en un semestre $s \in S$, para una carrera $c \in C$.
- N_{mpsc} : Número máximo de horas diarias a ser asignado a una materia $m \in M$, dictada por un profesor $p \in P$, en un semestre $s \in S$, para una carrera $c \in C$.

Variables De Decisión:

- $x_{hda}^{mpsc} \begin{cases} 1, \text{ Si la materia } m \in M, \text{ dictada por un profesor } p \in P, \text{ en un semestre } s \in S, \\ \text{ para una carrera } c \in C, \text{ en la hora } h \in H, \text{ el día } d \in D, \text{ en el aula } a \in A. \\ 0, \text{ de lo contrario.} \end{cases}$
- $y_{hda}^{mpsc} \begin{cases} 1, \text{ Si en la hora } h \text{ se inicia un bloque de la materia } m \text{ dictada por el profesor } p \\ 0, \text{ de lo contrario.} \end{cases}$

Función Objetivo:

$$Max Z = \sum_{(m,p,s,c) \in MPSC} \sum_{h \in H} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} y_{hda}^{mpsc} \quad (1)$$

Restricciones:

Figura 5 Tabla de restricciones del modelo programación de horarios

	Restricción	Descripción
(2)	$y_{hda}^{mpsc} \leq x_{hda}^{mpsc} ; \forall \begin{matrix} (m,p,s,c) \in MPSC \\ h \in H \\ d \in D \\ a \in A \end{matrix}$	Garantiza la apertura de un bloque
(3)	$y_{hda}^{mpsc} \leq x_{(h+1)da}^{mpsc} ; \forall \begin{matrix} (m,p,s,c) \in MPSC \\ (h,d) \in B \\ a \in A \end{matrix}$	Garantiza el cierre de un bloque
(4)	$x_{hd}^{mpsc} + x_{(h+1)d}^{mpsc} - y_{hd}^{mpsc} \leq 1 ; \forall \begin{matrix} (m,p,s,c) \in MPSC \\ (h,d) \in B \\ a \in A \end{matrix}$	Garantiza iniciar un bloque si dos horas tienen asignada la misma materia con el mismo profesor, en el mismo curso, en el mismo semestre, en una carrera.

	Restricción	Descripción
(5)	$\sum_{(m,p,s,c) \in MPSC} x_{hda}^{mpsc} \leq 1; \forall \begin{matrix} p \in P \\ h \in H \\ a \in A \\ d \in D \end{matrix}$	Garantiza que, en un mismo semestre y programa, se asigne en una hora, y día a un profesor en un aula.
(6)	$\sum_{(m,p,s,c) \in MPSC} x_{hda}^{mpsc} \leq 1; \forall \begin{matrix} p \in P \\ h \in H \\ a \in A \end{matrix}$	Garantiza que cada profesor, en un día, en una hora, en un semestre, puede impartir solo una materia de un programa en un aula a la vez.
(7)	$\sum_{h \in H} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} x_{hda}^{mpsc} \leq IH_{mpsc}; \forall (m,p,s,c) \in MPSC$	Garantiza el cumplimiento de la intensidad horaria por materia y curso cuando es asignada a un profesor.
(8)	$\sum_{h \in H} \sum_{a \in A} x_{hda}^{mpsc} \leq N_{mpsc}; \forall (m,p,s,c) \in MPSC, d \in D$	Garantiza los bloques que se deben dar por día de cada asignatura.

Al observar el comportamiento del modelo puro (sólo con las restricciones 1 hasta la restricción 8) dentro del aplicativo y con un GAP de 5%, se evidencia que la solución de la relajación lineal fue de 330 bloques, al dejar correr el modelo, el incumbente llegó a un tope de 218 bloques, mientras que la mejor solución actual no bajaba mucho.

Por eso por lo que se decide agregar la restricción 9, dando al modelo un máximo de bloques posibles por asignar, inicialmente se decide poner un máximo de 220 bloques manteniendo la restricción de GAP 5% dando una solución de 210 bloques, pero restringía mucho el modelo, conociendo que podían subir más la cantidad de bloques. Por eso se decidió poner un máximo de 230 bloques con un GAP 5% y así obtener la solución expuesta en los resultados.

Figura 6 Tabla de restricciones del modelo programación de horarios - Continuación

	Restricción	Descripción
(9)	$\sum_{(m,p,s,c) \in MPSC} \sum_{h \in H} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} y_{hda}^{mpsc} \leq 230$	Garantiza el que el número de bloques esté por debajo de 230, ayudando al algoritmo encontrar una solución factible más rápido.
(10)	$x_{hda}^{pmsc}, y_{hda}^{pmsc} \in \{0,1\}$	No negatividad

CAPITULO 6

ORGANIZACIÓN Y PREPARACIÓN DE DATOS

Con ayuda de herramientas ofimáticas como Excel, se organizó y distribuyó la información necesaria para el proceso de programación. En ellas se encuentran el total de materias por cada carrera, las materias dictadas por cada profesor y la intensidad horaria de cada una.

Figura 7 Datos del modelo

Datos para formulación	
Asignaturas	132
Profesores	19
Semestre	10
Horas	8
días	5
Salones	15
Programas	2

Se generó una matriz madre para poder identificar qué materia M, es dictada por el profesor P, en el semestre S, para la carrera C. Para la cual se hizo un listado del total de materias, donde de manera manual se identifica que de la materia 1 a la 69 pertenecen a la carrera de contaduría y de la materia 70 a la 132 pertenece a la carrera de administración de empresas. De esta surgen las matrices del conjunto MPSC.

Figura 8 Se muestra un segmento de la matriz madre, correspondiente a las materias dadas en el primer semestre de la carrera de Contaduría

	Docentes																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Materia 1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 2	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 3	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 4	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 5	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 6	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Materia 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-

Figura 9 Se muestra un segmento de la matriz madre, correspondiente a las materias dadas en el primer semestre de la carrera de Administración

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Materia 70	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 71	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 72	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 73	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 74	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materia 75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Materia 76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-

Para el conjunto MPSC se realizó una matriz por cada semestre, con la respectiva asignación de materias según el docente asignado, para un total de 20 matrices.

Con ayuda de la matriz madre también se realizó la asignación de créditos en el parámetro intensidad horaria IH a cada una de las materias por semestre.

Figura 10 Segmento de matriz del parámetro IH

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-

Además, para los fines prácticos del parámetro de formación de bloques N, se acordó que para las materias de 3 o más créditos se le realizaría una asignación de 2, con el fin de cumplir uno de los requisitos de la IES que los bloques no pueden ser mayores a 2 horas de clase.

Figura 11 Segmento de matriz del parámetro N

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-

Las matrices IH y N van de la materia 1 hasta la materia 132, haciendo asignación de créditos en cada semestre. En las tablas anteriores se evidencia que el semestre 1 de contaduría va de la materia 1 hasta la materia 8. Para un total de 20 matrices por cada

parámetro.

Para la primera validación del modelo se creó una instancia con los siguientes datos:

Figura 12 Datos de una instancia del modelo

Datos primera instancia	
Asignaturas	24
Profesores	5
Semestres	2
Horas	4
días	5
Salones	4
Programas	2

Teniendo como resultado optimo la siguiente distribución de horarios.

Figura 13 Resultado de instancia para programación de horarios

1 SEMESTRE - PROG.1					
	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes
1	Mat4,Prof3,Salon 3	Mat1,Prof2,Salon 2	Mat2,Prof1,Salon 1	Mat1,Prof2,Salon 2	Mat4,Prof3,Salon 3
2	Mat4,Prof3,Salon 3	Mat1,Prof2,Salon 2	Mat2,Prof1,Salon 1	Mat5,Prof3,Salon 4	Mat7,Prof5,Salon 4
3	Mat2,Prof1,Salon 1	Mat5,Prof3,Salon 1	Mat3,Prof1,Salon 2	Mat5,Prof3,Salon 4	Mat7,Prof5,Salon 4
4	Mat6,Prof4,Salon 2	Mat6,Prof4,Salon 3	Mat3,Prof1,Salon 2	Mat6,Prof4,Salon 3	

2 SEMESTRE - PROG.1					
	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes
1	Mat5,Prof5,Salon 4		Mat3,Prof4,Salon 2	Mat4,Prof4,Salon 3	
2	Mat4,Prof4,Salon 2		Mat3,Prof4,Salon 2	Mat4,Prof4,Salon 3	Mat6,Prof3,Salon 1
3		Mat2,Prof2,Salon 2	Mat1,Prof2,Salon 1		Mat6,Prof3,Salon 1
4	Mat1,Prof2,Salon 1	Mat2,Prof2,Salon 2	Mat1,Prof2,Salon 1		

1 SEMESTRE - PROG.2					
	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes
1	Mat1,Prof1,Salon 1	Mat5,Prof4,Salon 3		Mat1,Prof1,Salon 1	
2	Mat1,Prof1,Salon 1	Mat5,Prof4,Salon 3		Mat6,Prof5,Salon 2	
3	Mat4,Prof4,Salon 2	Mat2,Prof1,Salon 4		Mat6,Prof5,Salon 2	
4	Mat3,Prof1,Salon 3	Mat6,Prof5,Salon 1			

2 SEMESTRE - PROG.2					
	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes
1	Mat2,Prof2,Salon 2	Mat4,Prof3,Salon 1	Mat1,Prof2,Salon 3		
2	Mat1,Prof2,Salon 4	Mat4,Prof3,Salon 1	Mat1,Prof2,Salon 3		
3	Mat3,Prof2,Salon 3		Mat5,Prof4,Salon 4		
4	Mat4,Prof3,Salon 4		Mat5,Prof4,Salon 4		

En donde se evidencia el cumplimiento de las restricciones y parámetro, donde se le asigna a una materia M, un profesor P, en un semestre S, en una carrera C, en una hora H determinada, en un día D.

Después de esta última instancia, se tomaron decisiones estratégicas para mejores resultados al momento de tomar todos los datos reales del modelo, como lo fue crear el subconjunto MPSC, el cual reúne 4 de los conjuntos principales en una sola matriz.

CAPITULO 7

RESULTADOS

Una vez completada la formulación del modelo, en el cual se hace uso de un total de 11 restricciones, 2 parámetros, 8 conjuntos y 2 subconjuntos. Se procedió con ayuda del programa AMPL a correr el modelo, obteniendo los resultados, en un tiempo total aproximado de 6 horas. Los horarios presentados a continuación corresponden al primer semestre de cada carrera, en el anexo 4 se facilita el enlace del documento donde se visualizan los horarios de las dos carreras.

Figura 14 Horario semestre 1 de contaduría arrojado por el modelo

Contaduría - Semestre 1					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1					
2		Competencias Matemáticas (2) Salón 6 Prof. 2	Registro de operaciones contables I (6) Salón 4 Prof. 9	Fundamentos de administración (8) Salón 13 Prof. 16	Competencias comunicativas (5) Salón 9 Prof. 5
3	Registro de operaciones contables I (6) Salón 13 Prof. 9	Legislación comercial (4) Salón 1 Prof. 4			
4					
5				Constitución y democracia (3) Salón 6 Prof. 4	
6		Fundamentos de economía (7) Salón 6 Prof. 14			
7				Informática básica (1) Salón 1 Prof. 1	
8	Competencias Matemáticas (2) Salón 12 Prof. 2		Competencias comunicativas (5) Salón 8 Prof. 5		Informática básica (1) Salón 14 Prof. 1

Figura 15 Horario semestre 1 de Administración arrojado por el modelo

Administración - Semestre 1					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1		Microeconomía (75) Salón 3 Prof. 14		Contabilidad general (74) Salón 15 Prof. 9	
2					
3			Fundamentos de administración (76) Salón 2 Prof. 16		
4					
5					Competencias comunicativas (73) Salón 6 Prof. 5
6				Competencias matemáticas (71) Salón 3 Prof. 2	
7	Informática Básica (70) Salón 1 Prof. 1	Competencias matemáticas (71) Salón 5 Prof. 2	Constitución y democracia (72) Salón 1 Prof. 4		
8		Fundamentos de administración (76) Salón 14 Prof. 16		Competencias comunicativas (73) Salón 11 Prof. 5	Contabilidad general (74) Salón 8 Prof. 9

A continuación, se puede analizar, las actividades realizadas por la IES para la planificación de estos horarios vs las actividades que debe realizar para la asignación de horarios con el modelo de programación implementado:

Figura 16 Cuadro de comparación descriptiva de tiempo utilizado para la realización de horarios con la programación tradicional de la IES y con la programación de horarios con el modelo implementado

Comparación De Planificación De Horarios				
Nº	Programación tradicional	Días	Programación con el modelo	Días
1	Crear herramienta para obtención de información, docente - materia y enviar para recolección de datos	1	Recolectar información necesaria, ajustar datos del modelo y correrlo	1
2	Esperar recepción de datos	5	Organizar resultados del modelo y crear horarios para su respectiva presentación	1
3	realizar planificación de horarios de semestres para cada carrera	7		
4	verificación de horarios	1		
5	Presentación de horarios	1		
Total, Tiempo		15	Total, Tiempo	2

A continuación, se muestra un ejemplo de la validación realizada al docente 15, que dicta clases en ambas carreras de contaduría y administración, cumpliendo las condiciones de

la IES y las restricciones del modelo.

Figura 17 Ejemplo de validación de resultados del modelo

DOCENTE 15					
H	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1	S5-A a - 14 m - 104	S7-A a - 10 m - 116	S6-A a - 2 m - 110	S2-A a - 12 m - 82	S2-A a - 11 m - 82
2					
3	S9-A a - 5 m - 129	S9-A a - 9 m - 130		S8-A a - 14 m - 123	S8-A a - 9 m - 123
4		S9-A a - 5 m - 129			
5			S8-A a - 3 m - 122	S10-C a - 3 m - 68	S5-A a - 3 m - 104
6		S9-C a - 12 m - 62			S8-A a - 14 m - 122
7	S10-C a - 11 m - 68		S9-A a - 9 m - 130	S2-A a - 12 m - 83	
8		S6-A a - 2 m - 110			S9-C a - 2 m - 62

- Se puede observar que se cumple las restricciones de cierre y apertura de un nuevo bloque.
- Se garantiza que, en un semestre y un programa, se asigne a una hora y día un profesor en un aula.
- Se garantiza que un profesor, en un día en una hora, en un semestre puede impartir solo una materia de un programa en un aula a la vez.
- Se puede garantizar el bloque máximo por día que se puede dar por asignatura.

Dentro de la investigación realizada en la IES, se contempló un total de 120 bloques, este dato se obtuvo, por una revisión manual de los horarios planificados por la encargada del área, cabe resaltar que algunos de esos bloques eran de 3 horas o mayor, ya que no tenían en cuenta la intensidad horaria diaria de una asignatura.

Con la resolución del modelo, podemos notar una maximización a 218 bloques, permitiendo cumplir parámetros como el de la intensidad horario de una asignatura, y tener un orden más efectivo en las materias de cada carrera. Es evidente una diferencia de 98 bloques, lo cual equivale a un 81, 6% de efectividad del modelo

CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo de investigación aporta una mejora en el modelo de Alfaro, extendiendo el modelo a tener en cuenta una nueva novedad y es el conjunto de aulas, asignando una materia, con un profesor, en una hora, en un día en un aula de un semestre de una determinada carrera. también se cumplió con el objetivo de maximizar el número de bloques, respetando la intensidad horaria de las asignaturas

Se puede concluir que se identificó las necesidades de la IES, permitiendo crear la formulación de un modelo matemático para la optimización del tiempo de realización de horarios para dos carreras en la jornada diurna; lo cual a la persona encargada le tomaba aproximadamente 15 días para esta organización de los 20 horarios. Haciendo una comparación descriptiva se puede decir que con la aplicación de este modelo se pudo obtener una reducción en los tiempos; haciendo posible el agendamiento y planeación de horarios en dos días de trabajo, cumpliendo con los requisitos principales de la IES, que los bloques no sobrepasaran las dos horas de clases; teniendo en cuenta además que no existen cruces de horarios, cruces entre docentes y salones. Cumpliendo también la disponibilidad horaria de cada materia según su intensidad horaria.

El modelo cumplió con las expectativas y requisitos compartidos por la IES al momento de proponer la problemática. También se debe destacar la relación de tiempo de ejecución con la restricción 9, el cual garantiza que el número de bloques esté por debajo de 230, ayudando al algoritmo a encontrar una solución factible más rápido. Se evidenció que cuando se corre el modelo por primera vez, con un GPA al 5%, demoró 10000 s, aproximadamente 6 horas, esto se debe a que inicialmente abarca un amplio panorama donde pueden existir posibles soluciones, cuando se corre por segunda vez, se evidencia un tiempo de promedio de 4 horas, encontrando la misma solución factible de 218 bloques, en menos tiempo con GPA del 5%.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con la investigación literaria, las instituciones de educación superior deben evolucionar en el manejo de este tipo de herramientas científicas y tecnológicas, para satisfacer las necesidades o requerimientos de la institución al momento de planificar este tipo de actividades u otras actividades laborales donde se puedan optimizar sus procesos.

Existen algunas temáticas que se consideran como posibles extensiones de este proyecto

- Contar con restricciones para capacidad de salones
- Contar con restricciones para asignación de materias en tipo presencial y virtual
- armonizar un solo modelo, para la asignación de horarios en diferentes jornadas.

Estas posibles extensiones, podría mejorar la programación de horario universitarios, convirtiéndose en herramientas eficaces para la solución de este tipo de problemas de asignación.

BIBLIOGRAFÍA

- AMÉZQUITA, M. D. (2016). *DISEÑO DE UN ALGORITMO PARA REALIZAR LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA*. BOGOTÁ D.C.
- Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. (2011). *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, vol. II*, 97.
- Caballero, J. M., & Paternina Arboleda, C. (2010). ASIGNACIÓN DE HORARIOS DE CLASES UNIVERSITARIAS MEDIANTE ALGORITMOS EVOLUTIVOS. *Revista Edicacion en Ingeniería*, 140-149.
- Castrillón, O. D. (15 de Marzo de 2014). Combinación entre Algoritmos Genéticos y Aleatorios para la Programación de Horarios de Clases basado en Ritmos Cognitivos. Manizales, Colombia.
- Cubillos, M. A. (2013). *Problema del School Timetabling*.
- HERNANDEZ Campos, R. A. (2008). *Programación de horarios de clases y asignación de salas en la facultad de ingeniería de la Universidad Diego Portales*. Santiago - Chile.
- Hernandez, R., Miranda P., J., & Rey, P. (2008). Programación de Horarios de Clases y Asignacion de Salas para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Diego Portales Mediante un Enfoque de Programación Entera. *Revista Ingeniería de Sistemas*, 121 - 137.
- Modelo de Alfaro. (2019). *DESARROLLO DE UN MODELO MATEMATICO PARA LA ASIGNACION DE HORARIOS EN UN COLEGIO DE LA CIUDAD DE MONTERIA*. Montería.
- Morillo, D., Moreno, L., & Díaz, J. (2014). Metodologías Analíticas y Heurísticas para la Solución del Problema de Programación de Tareas con Recursos Restringidos (RCPS): una revisión. Parte 1. *Ingeniería y Ciencia*, 274-271.
- Ovalle, C. T. (14 de febrero de 2013). PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS DE CLASES UNIVERSITARIAS. *PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS DE CLASES UNIVERSITARIAS*. Chía, Colombia.
- Parra, L. M. (2013). "Asignación de Horarios de Trabajo, resolución mediante Algoritmo de Búsqueda Tabú". Chile.
- Proyecto Investigación de Operaciones*. (Noviembre de 2016). Obtenido de <https://proyectoinvestigacionoperaciones.wordpress.com/2016/11/09/primera-entrada-del-blog/#:~:text=A%20cada%20asignado%20se%20le,para%20minimizar%20los%20costos%20totales>.
- R. Hernandez, J. M. (2008). Programacion de Horarios de Clases y Asignacion de Salas para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Diego Portales Mediante un Enfoque de Programacion Entera. *Revista Ingeniería de Sistemas, Volumen XXII*, 122.
- Rojas, J. C. (2016). *Optimización en la programación de horarios de editores y asignación de salas de edición, para la postproducción de programas de un canal de televisión en Lima, aplicando programación lineal entera*. Lima - Perú .
- Sarmiento-Lepesqueur, A., Torres Ovalle, C., Quintero Araújo , C., & Montoya Torres , J. (23 de 07 de 2012). Programación y asignación de horarios de clases universitarias:. Panamá, Panamá.
- TAHA, H. A. (2011). Modelo De Asignación. En H. A. TAHA, *Investigación de Operaciones*

novena edicion (pág. 200). PEARSON EDUCACIÓN.
Vera, C. A. (2018). *Propuesta de un modelo de programación lineal entera para el desarrollo de un problema de TIMETABLING en la asignación de horarios de clase de un colegio.*

ANEXOS

Anexo 1: Pensum de Contaduría

Figura 18 Semestres 1, 2, 3, 4

SEMESTRE 1	C	SEMESTRE 2	C	SEMESTRE 3	C	SEMESTRE 4	C.
Informática básica	3	Inglés I	2	Estadística descriptiva	3	Inglés III	2
Competencias matemáticas	3	Legislación laboral	3	Inglés II	2	Electiva de humanidades	2
Constitución y democracia	2	Metodología de la investigación	3	Gestión de costos I	2	Práctica empresarial ciclo técnico	4
Legislación comercial	2	Registro de operaciones contables II	3	Registro de operaciones contables III	3	Investigación contable	2
Competencias comunicativas	3	Software contable I	2	Electiva de profundización I	2	Laboratorio contable I	2
Registro de operaciones contables I	3	Fundamentos de economía	2	Software contable II	2	Legislación tributaria I	2
Fundamentos de administración	2	Cálculo	3	Emprendimiento	2	Registros de operaciones contables IV	3

Figura 19 Semestres 5, 6, 7

SEMESTRE 5	C	SEMESTRE 6	C	SEMESTRE 7	C
Tics	2	Inglés V	2	Inglés VI	2
Responsabilidad social	2	Gestión de costos III	2	Electiva de profundización II	2
Estadística inferencial	3	Legislación tributaria III	2	Gestión de costos IV	3
Inglés IV	2	Laboratorio contable III	2	Legislación tributaria IV	2
Legislación tributaria II	2	Introducción a la contaduría	2	Contabilidades especiales I	3
Gestión de costos II	2	Contabilidad avanzada II	3	Análisis de estados financieros	3
Matemática financiera	2	Gestión de auditoría	3	Auditoría operativa y financiera	3
Contabilidad avanzada I	3				

Figura 20 Semestre 8, 9, 10

SEMESTRE 8	C	SEMESTRE 9	C	SEMESTRE 10	C
Fundamentos de administración pública	3	Fundamentos de mercadeo	3	Contratación pública	2
Laboratorio contable III	2	Presupuesto público	3	Normas internacionales de contabilidad	2
Proyecto de investigación I	2	Contabilidad pública	3	Ética profesional	2
Contabilidades especiales II	3	Finanzas internacionales	3	Gerencia financiera II	2
Revisoría fiscal	3	Gerencia financiera	3	Práctica empresarial profesional	4
Presupuesto	3	Proyecto de investigación II	2	Mercados capitales	2
Electiva de profundización III	3				

Anexo 2: Pensum de Administración de Empresas

Figura 21 Semestre 1, 2, 3

SEMESTRE 1	C	SEMESTRE 2	C	SEMESTRE 3	C
Informática básica	2	Cálculo	3	Electiva de profundización I	3
Competencias matemáticas	3	Legislación comercial	2	Estadística descriptiva	3
Constitución y democracia	2	Metodología de la investigación	3	Inglés I	2
Competencias comunicativas	3	Contabilidad de costos	3	Legislación laboral	2
Contabilidad general	3	Macroeconomía	2	Técnicas de compras e inventarios	3
Microeconomía	2	Procesos administrativos	3	Electiva de profundización II	2
Fundamentos de administración	3	Documento y manejo de la información	2	Administración de MiPymes	2
				Emprendimiento	2

Figura 22 Semestres 4, 5, 6

SEMESTRE 4	C	SEMESTRE 5	C	SEMESTRE 6	C
Inglés II	2	Estadística inferencia I	3	Inglés IV	2
Electiva de humanidades	2	Inglés III	2	Gestión del cliente y servicio	3
Práctica empresarial ciclo técnico	4	Gestión pública	2	Presupuesto	3
Matemática financiera	3	Análisis financiero	3	Comercio exterior	3
Técnicas de compras e inventarios	3	Legislación financiera	2	Enfoques y teorías contemporáneas	3
Axiología	2	Investigación de mercados	3		
Fundamentos de gestión humana	2	Gestión del talento humano	3		

Figura 23 Semestres 7, 8, 9

SEMESTRE 7	C	SEMESTRE 8	C	SEMESTRE 9	C
Inglés V	2	Inglés VI	2	Sistema de gestión de la calidad	2
Electiva de profundización III	2	Administración de la producción y logística	3	Proyecto final	2
Comportamiento y desarrollo organizacional	3	Electiva de profundización IV	2	Gerencia estratégica	3
Propuesta de investigación aplicada	2	Comercio internacional	3	Diseño y gestión de proyectos de inversión	2
Legislación tributaria I	2	Economía solidaria	3	Práctica empresarial profesional	4
Sistemas de información gerencial	2	Mercadeo estratégico	3	Finanzas internacionales	3
Gerencia de MiPymes	2	Gerencia financiera	3	Ética y RSE	2
				Métodos cuantitativos de operaciones	3

Anexo 3: Matrices de Datos

A continuación, se anexan los enlaces de descarga, de las matrices de datos usadas para el desarrollo del modelo.

- **Matriz madre:**
<https://drive.google.com/file/d/1u5yeu2jV-RRpMSDsVho8ir2P64qMnK89/view?usp=sharing>
- **Conjunto MPSC:**
<https://drive.google.com/file/d/1IXByjQwukcg9d2GC4-rv0BKHai2dMQ9Q/view?usp=sharing>
- **Parámetro IH:**
<https://drive.google.com/file/d/1Zy8aK95jXtOm2RLYT9GollcT9JolG4gV/view?usp=sharing>
- **Parámetro N:**
https://drive.google.com/file/d/1nxqmdQwa8G8c7YX4WoorZH1Fb7xRo7_/view?usp=sharing

Para ver los datos, por favor copiar y pegar el enlace mostrado en el explorador.

Anexo 4: Horarios

- **Horarios de Administración de Empresas:**
<https://drive.google.com/file/d/1bxbfINlseXJVW-mRbprOT4q9qWpaMyrs/view?usp=sharing>
- **Horarios de Contaduría:** <https://drive.google.com/file/d/1e-BbWUrJ-ioSYTeZyR3YwAZdtRRaYvdk/view?usp=sharing>

Para ver los datos, por favor copiar y pegar el enlace mostrado en el explorador.