

**PROPUESTA DE PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE
SALONES DE CLASE EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

**DANIELLA COBO VARGAS
JULIAN ANDRES OSORIO ARCILA**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2020.**

**PROPUESTA DE PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE
SALONES DE CLASE EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

**DANIELLA COBO VARGAS
JULIAN ANDRES OSORIO ARCILA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

**Director
MSc. CARLOS ALBERTO ROJAS TREJOS
Codirector
MSc. JULIÁN GONZÁLEZ VELASCO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2020.**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE SALONES DE CLASE EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR.....	5
1.1 SISTEMA ACTUAL DE ASIGNACIÓN HORARIA Y ESPACIOS DE CLASE	5
1.1.1 Revisión de la literatura.....	5
1.1.2 Caracterización del problema de calendarización	8
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR CASO DE ESTUDIO	9
1.3 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS Y SALONES DE CLASES.	10
1.4 FLUJO DEL PROCEDIMIENTO ACTUAL DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS Y SALONES DE CLASE DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE ZARZAL.....	10
1.5 CONTEXTUALIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.....	13
1.6 ANÁLISIS DOCENTES ENCUESTADOS.....	13
1.7 ANÁLISIS COORDINADORES ENCUESTADOS	16
2 MODELACIÓN MATEMÁTICA PARA LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE SALONES DE CLASES EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR.....	18
2.1 FINALIDAD DE LOS AUTORES.....	18
2.2 LIMITACIONES DE LOS AUTORES	18
2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MODELOS DE DECISIÓN	20
2.4 TIPO DE MODELO MATEMÁTICO	20
2.5 RESTRICCIONES	20
2.6 ETAPAS DE SOLUCIÓN	21
2.7 ALGORITMOS DE SOLUCIÓN	21
2.8 PRINCIPALES HALLAZGOS.....	22
2.9 APROXIMACIONES	23
2.10 MODELO MATEMÁTICO TIMETABLING UNIVERSIDAD DEL VALLE	25
3 INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR: CASO DE ESTUDIO	29
3.1 CAPACIDAD DE LOS ESPACIOS	29

3.2	INTERVALOS DE TIEMPO	30
3.3	NÚMERO DE DOCENTES	30
3.4	DISPONIBILIDAD DE LOS DOCENTES	30
3.5	NÚMERO DE ASIGNATURAS	30
3.6	NÚMERO DE ESTUDIANTES MATRICULADOS	31
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y ESCENARIOS.....	32
4.1	FORMULACIÓN DE ESCENARIOS	32
4.2	RESULTADO DEL MODELO	34
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
	BIBLIOGRAFÍA	38
	ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Capacidad de los espacios.	29
Tabla 2.	Intervalos de tiempo.....	30
Tabla 3.	Disponibilidad de los docentes de la Universidad del Valle sede Zarzal.	31
Tabla 4.	Número de estudiantes matriculados por asignatura.....	31
Tabla 5.	Variaciones de la modelación matemática.....	33
Tabla 6.	Variación final de la calendarización.....	34

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Procedimiento actual de asignación de horarios y salones de clase en la sede.....	11
Gráfico 2.	Cantidad de quejas registradas por los docentes durante los años 2015-2020.....	12
Gráfico 3.	Municipio de procedencia del docente.....	14
Gráfico 4.	Tipo de vinculación del docente de la Sede.....	15
Gráfico 5.	Causas o quejas del proceso de asignación de espacios de la Sede.	17
Gráfico 6.	Procedimiento actual de asignación de horarios y salones de clase de la Sede.....	24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Tipo de transporte de los docentes de la sede.....	41
Anexo 2.	Causas o quejas del proceso de asignación de horarios de clase.....	41
Anexo 3.	Diagrama de Flujo Prisma - Calendarización.....	42

INTRODUCCIÓN

El problema de asignación de horarios también conocido como calendarización, es uno de los problemas más comunes en las diferentes áreas como: hospitales, centros de transporte, colegios, universidades, entre otros; donde se tiene un número limitado de recursos y se desea satisfacer un conjunto de objetivos (Marín, 2016). En el sector educativo, la programación de horarios se puede llevar a cabo en un horizonte de tiempo de tres meses, seis meses o hasta un año y su complejidad radica en la cantidad de recursos que deben ser asignados, por lo que algunos autores afirman que la problemática de calendarización está situada dentro de la complejidad computacional, en los problemas NP-Complejos (Guerra, 2013).

Las instituciones de educación superior buscan programar sus horarios de manera manual, sin embargo, durante los últimos años se han desarrollado múltiples herramientas para resolver este tipo de problemas de manera automatizada, pero las características propias de cada institución hacen que la automatización no encuentre una solución universal (Orejuela, 2019).

Esta investigación tiene como propósito realizar una propuesta de programación de horarios y asignación de salones de clase en una institución de educación superior en Colombia, como campo de acción se tiene la Universidad del Valle en su Sede regional Zarzal, situada al norte del Valle del Cauca, las actividades académicas que se desarrollan en sus dos Sedes, ofrecen once programas académicos, en la jornada diurna y nocturna. La propuesta busca la mejora de los procesos de programación y asignación de horarios de clase, cuya función objetivo se dispone a partir de la revisión sistemática de la literatura y el diagnóstico de la situación actual de la institución referente al proceso de organización de horarios considerando la limitación de recursos.

En otras palabras, el presente trabajo aborda el problema de asignación de horarios en instituciones de educación superior, bien conocido como Timetabling, que hace referencia a la calendarización, a la organización específicamente de horarios de distintas organizaciones tales como: hospitales, colegios, centros de transporte, universidades (Guerra, 2013). El tratamiento matemático y la complejidad de este problema lo ubica, para la mayoría de los autores, entre aquellos de mayor complejidad en la programación entera NP. La mayoría de las Instituciones de Educación Superior optan por resolver la situación asignando los horarios de forma manual, y asumiendo el costo de las distribuciones no eficientes con las cuales trabajan (Marín, 2016). Un caso particular de lo dicho anteriormente es la Universidad del Valle sede Zarzal. Ésta realiza la programación de horarios de clase para cada programa académico desde un enfoque empírico, es decir, el secretario académico previamente al inicio oficial de clases tiene en cuenta una serie de elementos indispensables a la hora de realizar la programación, tales como: número

de estudiantes, salones, capacidad de salones, disponibilidad del docente, asignaturas para determinado semestre, jornada, desplazamiento entre una sede y la otra, cruces de horas. Posterior a ello, de manera manual hace las respectivas asignaciones ofreciendo así un conjunto de calendarios tentativos los cuales están expuestos a modificaciones y a la aprobación de los coordinadores de cada programa.

Las principales dificultades que se manifestaron por parte de la secretaría académica son: la no consideración de los cupos que son matriculados en determinada asignatura en fechas de adiciones y cancelaciones, ya que estas son posteriores a la asignación académica que es realizada en la secretaría, lo que hace que se deba reasignar un nuevo salón por los requerimientos del curso y que deban ser movidos otros para satisfacer con las horas que se deben ver y la disponibilidad del profesor. De igual modo, las preferencias de los profesores en determinado salón y su falta de disposición para ser trasladado a otro, debido a que se pueden encontrar dificultades en cuanto a los servicios que se prestan como: falta de mantenimiento del aire acondicionado, falta de ascensor para subir al segundo y tercer piso y falta de computadores en las aulas de clase lo que hace que las salas audiovisuales o de sistemas no satisfaga los requerimientos de los profesores en determinados horarios y finalmente, el cambio sin previo aviso de la disponibilidad horaria de los profesores hora cátedra, pues requieren cambiar el horario después de que se ha establecido una programación con respecto a los demás horarios, lo que hace que también interfiera en el cruce de horarios en las otras asignaturas matriculadas por los estudiantes del curso. (J. Echeverry, comunicación personal, 24 de enero de 2020).

Con base en lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo establecer una propuesta de mejora para el proceso de programación de horarios y asignación de salones de clase en una institución de educación superior?

La Universidad del Valle es una Institución de Educación Superior acreditada de alta calidad por el Ministerio de Educación Nacional y con una trayectoria de 75 años en el país, se posiciona como una de las mejores instituciones de formación profesional con un modelo de Sedes Regionales distribuidas en el departamento del Valle del Cauca y la ciudad de Santander de Quilichao, en el departamento del Cauca, permitiendo el mejor aprovechamiento de su talento humano, recursos y plantas físicas que genera espacios para el desarrollo de las actividades académicas acordes a las dinámicas de sus diferentes programas académicos (Universidad del Valle, 2020).

Puntualmente en la Sede Regional Zarzal, con 34 años de funcionamiento oferta 5 programas de pregrado profesional y 5 tecnológicos, anudado a los esfuerzos de su personal administrativo, docente y directivos posiciona la Sede Regional como un importante centro de formación en el Norte del Valle permitiendo a jóvenes y adultos de ciudades aledañas acceder a educación profesional de alta calidad a bajo costo.

Pese a los esfuerzos de mejoramiento de calidad institucional, existe actualmente deficiencia en el proceso de planeación de uso de espacios, asignación de clases y la disposición de los horarios de clases (Echeverry, 2020). El problema de asignación de horarios ha sido tratado ampliamente en la literatura, timetabling o calendarización dentro de Investigación de operaciones es expuesto como un problema de optimización (Orejuela, 2019) con aplicaciones diferentes para las áreas correspondientes, algunas como escuelas, hospitales, centros de transporte, entre otros (Marín, 2016), afirma que en las universidades que es donde radica la investigación al problema, se aborda dos veces al año con el fin de encontrar soluciones aproximadas (Hernández, 2008) y en su asignación empírica busca satisfacer tanto los horarios, como los espacios correspondientes a las disponibilidades horarias de profesores, alumnos y requerimientos administrativos por lo que se produce una gran “complejidad computacional” (Guerra, 2013).

Por lo anterior, resolver los problemas de calendarización contribuye a “cumplir con las condiciones que involucren actividades, personas o equipos de trabajo” (Abdullah, 2007). Es por ello que se espera generar una serie de beneficios para quienes deben enfrentarse a esta situación su día a día, reduciendo el tiempo de programación y así, destinarlo a realizar otras actividades que hagan parte del desarrollo educativo y académico contribuyendo a la mejora continua, respetando la disponibilidad horaria de profesores, cumpliendo con los espacios requeridos para el número de estudiantes matriculados en determinada asignatura y por consiguiente, brindarles las condiciones adecuadas para sus jornadas de aprendizaje, obteniendo como resultado una planificación adecuada y pertinente para cada una de las condiciones académicas y administrativas.

Finalmente, este trabajo responde a la necesidad de una propuesta de programación de asignación horaria y de los salones de clase, con respecto a la inclusión de factores asociados a condiciones estructurales y logísticas que se consideran en las dos sedes que componen a la Universidad del Valle sede Zarzal. Por ello, se establece como objetivo general:

- ✚ Proponer un modelo que contribuya al proceso de toma de decisiones en la programación de horarios y asignación de salones de clase en una institución de educación superior

De igual forma, para el alcance del objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Realizar un diagnóstico de la situación actual de la programación de horarios y asignación de salones de clase en una institución de educación superior.
- ✓ Desarrollar un modelo matemático que considere los factores críticos más relevantes, en la programación de horarios y asignación de salones de clase en la institución de educación caso de estudio.
- ✓ Evaluar el desempeño del modelo a partir de un análisis de escenarios.

Para el alcance de los objetivos propuestos, se aborda la problemática siguiendo tres etapas. En un primer momento, se realiza un diagnóstico de la situación actual a través del levantamiento de datos con encuestas a docentes y coordinadores, entrevistas a la Secretaría Académica y análisis de los documentos históricos que conserva la Sede. Seguido, se desarrolla un modelo matemático que posibilite la asignación de horarios y espacios en un programa académico a partir de la revisión de la literatura de artículos de investigación sobre calendarización que han postulado diversos autores. Finalmente, se aborda una tercera etapa mediante un caso de estudio con el fin de realizar las asignaciones correspondientes y posterior a ello, realizar una evaluación de los resultados a partir de los parámetros considerados en la modelación y un análisis de escenarios.

Con base en lo anterior, en el presente documento se hace una contextualización del objeto de estudio, siendo este la Universidad del Valle, sede Zarzal. Para ello es necesario exponer información relevante sobre la situación actual del proceso de asignación de horarios de clase y asignación de espacios que se da en la sede actualmente.

1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE SALONES DE CLASE EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR.

1.1 SISTEMA ACTUAL DE ASIGNACIÓN HORARIA Y ESPACIOS DE CLASE

Para abordar el problema de calendarización, es necesario conocer los trabajos de otros autores que se han interesado por estudiar el tema, por tal razón, se ofrece una revisión de la literatura con el fin de esclarecer el concepto de calendarización, desde lo conceptual y lo procedimental, a tal punto de tener bases para la puesta en escena del trabajo de los autores del presente escrito.

1.1.1 Revisión de la literatura

El presente marco referencial abarca en un primer momento, el marco teórico de la investigación y en un segundo momento, la revisión de la literatura que corresponde al problema de calendarización.

A continuación, se hace una revisión conceptual y epistemológica de lo que es el problema de calendarización en las instituciones de Educación Superior. Para ello, se abarca el origen y evolución del problema, seguido se exponen los diversos tipos de problemas que se pueden presentar en el proceso de asignación de horarios o programación horaria y, por último, se exponen diversos autores que han hecho publicaciones acerca de los problemas de calendarización en instituciones de Educación superior, destacando en ellos el nombre de su artículo, el tipo de problema, la manera en que se abordó y los resultados obtenidos. Timetabling también conocido como calendarización o programación horaria, es un área perteneciente a la rama de programación y control de operaciones. Según (Wren, 1996) el timetabling es la asignación de tiempo, sujeta a restricciones de los recursos dados a los objetos que se sitúan en el espacio-tiempo, de tal manera que satisfaga en lo posible; un conjunto de objetivos deseables (Burke et al 2006). El problema de asignación de horarios es una actividad que se realiza principalmente en instituciones educativas u otras instituciones, algunos de los problemas ocurren con frecuencia en el proceso de programación de estos puesto que requiere demasiado tiempo hacer dicha calendarización, debido a que, la mayoría de las veces se hace de manera manual (Muklason, 2019)

En la actualidad no existe una fundamentación teórica que explique con exactitud el origen de la calendarización como tal. Sin embargo, desde los aportes de diferentes autores se puede construir un concepto aproximado. La programación de horarios en las Instituciones Educativas (IES) es un reto periódico al que se enfrentan al inicio de cada ciclo escolar, periodo de exámenes y eventos especiales. En particular, en el nivel medio superior y superior, la programación de horarios de

asignaturas cada periodo depende, entre otros factores, del currículo a impartir por plan de estudio, es decir, de proponer una disponibilidad de cierto perfil del docente en cierta franja horaria, asignado a aulas con características específicas. El problema de la programación de horarios de asignaturas es referido como calendarización de horarios (Canseco, 2016).

Los problemas de calendarización en el sector educativo han tenido relevancia en la programación de horarios de evaluaciones (examination Timetabling), programación de horarios de clases para colegios (School Course Timetabling), programación de horarios de clases para instituciones de educación superior o universidades (University Course Timetabling), entre otros. De lo anterior, surge una rama específica encargada de este tipo de casos conocida bajo el nombre de Class Scheduling, la cual se encarga de estudiar los problemas relacionados con la programación horaria para las entidades educativas (Deris et al., 2018).

De igual forma, los problemas de calendarización abarcan la asignación de salones, labor que se asocia al hecho de organizar una secuencia de eventos (asignaturas, exámenes, clases), en un periodo de tiempo determinado, satisfaciendo un conjunto de restricciones (Baquero, 2008). Asimismo, (Schaerf, 1999), en su artículo titulado *“un estudio de los calendarios automáticos”* considera el problema de la asignación horaria como el proceso de secuenciación de materias entre docentes y estudiantes en un periodo de tiempo prefijado (generalmente una semana), donde se satisface un conjunto de restricciones de varios tipos. Las restricciones abarcan hechos como: evitar el cruce de horas, poca capacidad de los salones de clase, disponibilidad de estudiantes y docentes, entre otras.

Al abordar los problemas de calendarización surge la necesidad de trabajar a través de ciertas condiciones o restricciones, que se clasifican en: restricciones duras y restricciones suaves. Las restricciones duras hacen referencia a aquellas condiciones que son inviolables en el momento de abordar el problema y las restricciones blandas o suaves, son aquellas más flexibles. Sin embargo, es relevante recordar que los problemas de calendarización están definidos como problemas de tipo NP-difícil, lo que significa que la cantidad de tiempo y de trabajo requerido para la búsqueda de una solución óptima para este tipo de situaciones, aumenta de manera exponencial. Ello depende del tipo de problemática y del contexto en la cual se encuentra inmersa (Ahmed, 2015).

(Burke, 2006), plantea en su trabajo de investigación *“Razonamiento basado en casos de recuperación múltiple para problemas de asignación de horarios de clase”*, como función objetivo, minimizar el costo y el tiempo de asignación de horarios de

clases para los diferentes cursos, teniendo en cuenta una serie de restricciones suaves que son propias del problema. La metodología implementada aborda los sistemas CBR, que consiste en representar mediante una lista de pares de características y los valores de las diferentes características del problema. De esta manera, se encuentran las relaciones de similitud para que la búsqueda sea óptima. (Hernández, 2008) en el documento titulado *“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”*, realizado en Santiago de Chile, propuso como objetivo de investigación la programación óptima de horarios teniendo en cuenta dos clases de restricciones: restricciones duras y restricciones suaves. Para ello, se implementó una metodología que se basó en un modelo de programación entera que integra la definición de la programación de horarios y la asignación de salones de clase que se asemeja al modelo propuesto por Qualizza y Serafini (2004). Este modelo combina las agrupaciones previamente hechas en bloques (horarios – salones) y de esta manera posibilitó la programación de las clases de manera eficiente. Seguido, se compararon los resultados con la metodología tradicional que normalmente se usaba. Esta mejora permite no sólo obtener una solución óptima en un periodo de tiempo corto, sino que también hace posible explorar múltiples escenarios, obtener soluciones diversas y poder tomar medidas frente a eventos inesperados como: modificaciones en asignaturas o docentes, una vez realizada dicha programación.

Asimismo, (Marín, 2016); en su texto *“Modelo lineal para la programación de clases en una institución educativa”*, el cual fue desarrollado en la ciudad de Medellín, Colombia. Planteó como objetivo principal, encontrar la solución más eficiente en cuanto a la programación de las clases para dicho establecimiento. Como estrategia de solución consideró el uso de la metodología lexicográfica con programación multi-objetivo, estableciendo en ésta prioridades con algunas restricciones de tipo débil. El modelo usado considera tiempos, grupo de tiempos, recursos, eventos y sub-eventos, grupos de eventos y restricciones. El resultado de lo anterior fue la programación óptima de las clases donde se logró una eficiencia del 100%, además, la configuración se hace flexible para futuras modificaciones en cuanto a cambio de salones, profesores y hora en que se impartirá la asignatura programada.

También, (Trujillo, 2019) en el documento titulado: *“Programación horaria escolar con multi-localización y preferencias docentes”*, enfocó su investigación en instituciones educativas con doble jornada y múltiples sedes, en donde surge la necesidad de que el docente realice un desplazamiento al finalizar una clase e iniciar otra. Se planteó como función objetivo minimizar el traslado de docentes entre

sedes, para ello; se propuso la implementación de un modelo de programación lineal entera cuyas ecuaciones se abordaron desde el software de optimización Lingo 14, hallando así soluciones óptimas.

Finalmente, (Gülcü, 2020) en su investigación “*Problemas de asignación de horarios de clases robustos de cursos universitarios sujeto a interrupciones únicas y múltiples*”, propone como función objetivo maximizar la utilización de los calendarios de cursos universitarios, ello a través de algoritmos de Recocido Simulado de objetivos múltiples como lo son: MOSA, MOSA-SD y MOSA-AAA, aplicado a problemas con interrupciones únicas y múltiples, respectivamente; pero con una única variable, que es la estimación de la robustez de una solución dentro del algoritmo MOSA. Como resultado de la propuesta, se presenta un nuevo enfoque para la aproximación promedio de la muestra para manejar la re-optimización de los calendarios de clase una vez hayan cumplido su ciclo.

A modo de conclusión, es relevante mencionar que, como resultado de la revisión literaria realizada hasta el momento, el problema de calendarización está enfocado en la búsqueda de buenas soluciones a partir de la facilitación de un conjunto de datos (salones de clases, docentes, materias, cohortes, entre otros), no se considera la búsqueda de una solución óptima por el tipo de problema que representa la calendarización. De igual modo, se puede afirmar que las restricciones (sean rígidas o suaves), son pieza clave a la hora de abordar la problemática puesto que el cumplimiento de estas garantiza la calidad de la programación obtenida (Hernández, 2008).

El presente texto aborda la caracterización y estado actual del objeto de estudio de la investigación, por tal razón, se hace una breve descripción de este, se especifica el estado actual del proceso de asignación de horarios y salones de clase, se revisa el sistema de quejas y reclamos de la sede y se analizan las encuestas aplicadas a docentes y coordinadores de la Universidad en pro a esclarecer el proceso en cuestión.

1.1.2 Caracterización del problema de calendarización

El *timetabling* o calendarización se define como el problema de asignar una serie de recursos, sujeto a restricciones, en un número limitado de horarios y salones de clase (Wren, 1996).

En el campo de la educación es relevante mencionar que, una de las preocupaciones principales de la mayoría de las instituciones de educación superior concierne a la optimización de la distribución de horarios y salones de clases, con

el fin de satisfacer una necesidad bajo ciertas restricciones previamente establecidas (Mejía, 2008). Según (Schaerf, 1995), cada problema de asignación de horarios es diferente a otro, existiendo así, una clasificación básica que facilita su comprensión, siendo esta programación de clases y profesores, programación de clases y salones, asignación de horarios de exámenes.

Por lo anterior, autores como (Granada, 2006), plantea que muchas veces el problema de calendarización en instituciones de educación se aborda en dos etapas: asignación de docentes a los cursos en un horario y en una segunda etapa, se hace la combinación de docentes con el respectivo salón. Es relevante mencionar que, el problema de calendarización es clasificado como NP-complejo, denominándolo así, por su grado de dificultad y sus múltiples variables (Schmidt, 1980).

También, es considerado un problema universal puesto que se presenta en todas las instituciones de educación superior, pero las restricciones particulares hacen que cada centro educativo requiera de una solución propia (Ahumada, 2014).

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR CASO DE ESTUDIO

La Universidad del Valle es una institución de educación superior considerada la principal universidad pública del Suroccidente de Colombia. Según (Ranking U-Sapiens, 2020) se considera una de las tres universidades públicas más importantes del país. Actualmente, cuenta con 75 años de historia y alrededor de 30.000 estudiantes matriculados. De igual forma, tiene presencia con 9 sedes en diversos municipios del Valle del Cauca, como lo son: Yumbo, Zarzal, Tuluá, Buga, Caicedonia, Cartago, Norte del Cauca, Pacífico y Palmira. Lo anterior se hace posible mediante la Resolución No. 105 de septiembre 05 de 1.986 que hace parte del Consejo Superior de la Universidad, que aprueba la creación los Centros Universitarios Regionales.

Particularmente la Universidad del Valle Sede Zarzal, situada en el municipio de Zarzal Valle al noroccidente del Valle del Cauca. Es una de las nueve sedes regionales la cual cuenta con una ubicación geográfica estratégica que le permite tener cobertura de cerca de 400.000 personas que residen en municipios aledaños, tales como: Andalucía, Bolívar, Bugalagrande, El Dovio, La Unión, Obando, La Victoria, Roldanillo, Versalles, Toro y Zarzal (Universidad del Valle Sede Zarzal, 2020).

La Sede Zarzal, actualmente posee 10 programas académicos, los cuales, a su vez, se categorizan por facultades, de la siguiente manera: Facultad de ciencias de la administración (Administración de empresas, Contaduría pública, tecnología en dirección de empresas turísticas y hoteleras), Facultad de Ingeniería (Ingeniería

Industrial, Tecnología en Alimentos, Tecnología Electrónica, Tecnología en Sistemas de Información, Tecnología Agroambiental), Escuela de Trabajo Social y Desarrollo Humano (Trabajo Social) y el Instituto de Educación y Pedagogía (Licenciatura en Educación con Énfasis en Matemáticas).

1.3 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS Y SALONES DE CLASES.

En el gráfico 1 se puede evidenciar el proceso de asignación de horarios y espacios de clases en la Universidad del Valle Sede Zarzal. Para ello, es relevante identificar: entradas, proveedores, actividades realizadas, salidas y los clientes de dichos procesos; facilitando la comprensión de la asignación de recursos para la programación de los procesos de enseñanza – aprendizaje de la sede durante periodo académico.

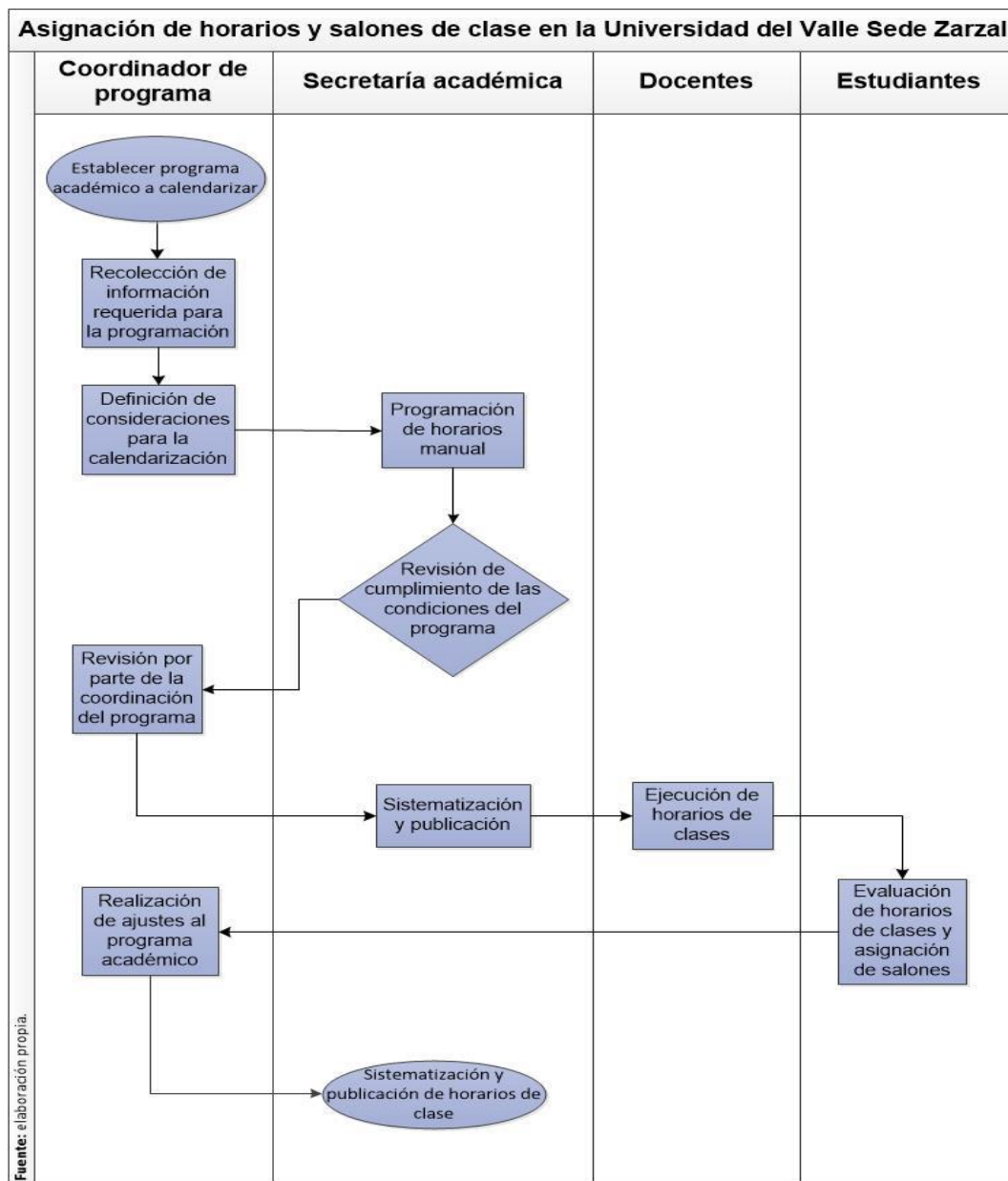
1.4 FLUJO DEL PROCEDIMIENTO ACTUAL DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS Y SALONES DE CLASE DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE ZARZAL

De manera general, se exponen los procesos más relevantes que hacen parte de la programación de horarios y salones de clases en la Universidad del Valle Sede Zarzal.

Se ha evidenciado que a pesar de realizar una planificación rigurosa de las clases y de contemplar los diversos factores que inciden en la programación, se siguen presentando cambios durante el semestre, en un intervalo de tiempo de 5 años entre el 2015 y el 2020 los docentes presentaron 24 quejas, el 8,3% porque la capacidad del salón no era suficiente para los estudiantes matriculados en determinada asignatura, el 12,5% por cruce de horarios de clase con algún otro evento programado en el mismo salón y el 79,2% se quejaron de la alguna falla locativa y exigieron cambio de aula de clase. La frecuencia más significativa se da entre los años 2015, 2016 y 2017, pero los años 2018, 2019 y 2020 hay una reducción importante de las quejas debido a los paros nacionales estudiantiles en las Instituciones de Educación Superior (IES) publicas, dicho cese de actividades académicos generó que las quejas tuvieran una reducción significativa, como se puede evidenciar en el gráfico 2. Lo anterior no sólo perjudica a estudiantes sino también a los docentes y a quienes hacen parte de los servicios que son ofrecidos por la universidad encaminada a su razón de ser. Otros de los problemas que surgen debido a este proceso son: cruce de asignaturas por futuros cambios, no disponibilidad de aulas para la asignatura que debe ser reprogramada, ausencia de docente idóneo para el área, aumento de la carga académica por día, poca capacidad del salón frente a estudiantes matriculados en la asignatura, entre otros.

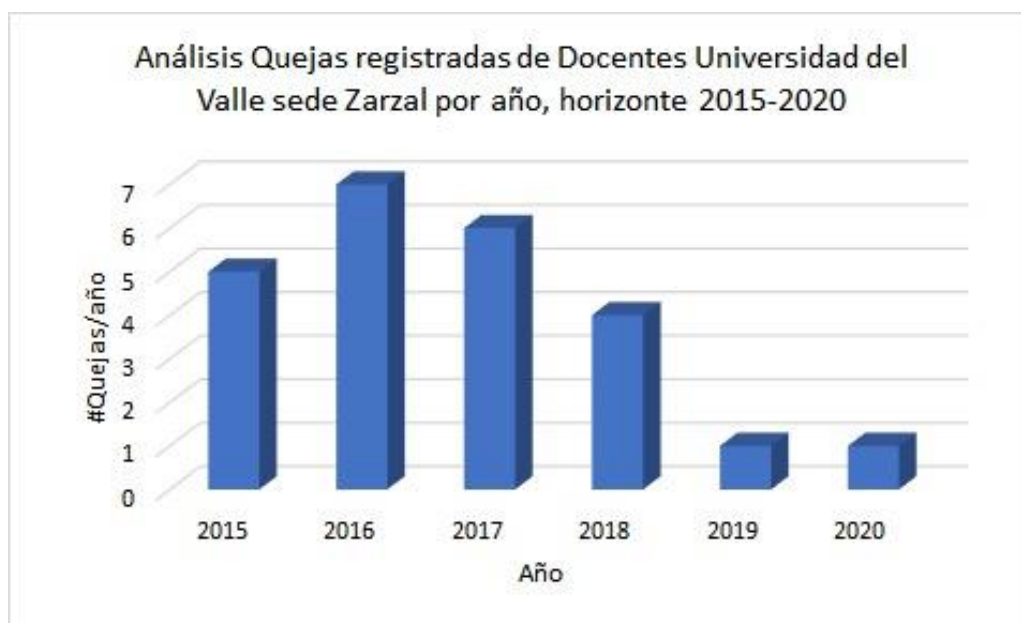
En entrevista realizada a la secretaría académica de la Universidad del Valle Sede Zarzal, se obtuvo como respuesta al preguntar: *¿Qué dificultades se han presentado a la hora de realizar la programación de clases de los diversos programas académicos?*

Gráfico 1. Procedimiento actual de asignación de horarios y salones de clase en la sede.



Fuente: Autores.

Gráfico 2. Cantidad de quejas registradas por los docentes durante los años 2015-2020.



Fuente: Secretaría Académica, Universidad del Valle Sede Zarzal

Del gráfico 2 es importante precisar que para el año 2020 debido a la emergencia ocasionada por Covid-19 las clases pasaron de ser presenciales a ser netamente virtuales, por dicha razón la programación horaria y de espacios de clases tuvo consideraciones diferentes y no se cuenta con un registro completo de la información. Las principales dificultades que se manifestaron por parte de la secretaría son: la no consideración de los cupos que son matriculados en determinada asignatura en fechas de adiciones y cancelaciones, ya que estas son posteriores a la asignación académica que es realizada en secretaría, lo que hace que se deba re-asignar un nuevo salón por los requerimientos del curso y que deban ser movidos otros para satisfacer con las horas que se deben ver y la disponibilidad del profesor.

De igual modo, las preferencias de los profesores en determinado salón y su falta de disposición para ser trasladado a otro, debido a que se pueden encontrar dificultades en cuanto a los servicios que se prestan como: falta de mantenimiento del aire acondicionado, falta de ascensor para subir al segundo y tercer piso y falta de computadores en las aulas de clase lo que hace que las salas audiovisuales o de sistemas no satisfaga los requerimientos de los profesores en determinados horarios y finalmente, el cambio sin previo aviso de la disponibilidad horaria de los profesores hora cátedra, pues requieren cambiar el horario después de que se ha

establecido una programación con respecto a los demás horarios, lo que hace que también interfiera en el cruce de horarios en las otras asignaturas matriculadas por los estudiantes del curso. (J. Echeverry, comunicación personal, 24 de enero de 2020).

1.5 CONTEXTULIZACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

Para hacer un diagnóstico de la situación actual de la institución caso de estudio, se realizó una encuesta a docentes y coordinadores de la Sede, la cual tiene como objetivo general la realización de la programación de clases y asignación de espacios en la Universidad del Valle Sede Zarzal.

Es importante mencionar que ésta busca la identificación de causas asociadas al problema de asignación horaria y de espacios, como también, la identificación de oportunidades de mejora al proceso en cuestión. El alcance de las encuestas fue de 71 docentes y 6 coordinadores de programas académicos.

1.6 ANÁLISIS DOCENTES ENCUESTADOS

A partir de los resultados obtenidos de las encuestas, se puede expresar que la mayoría de la población de profesores proviene de la ciudad de Cali, lo cual implica asumir un tiempo de desplazamiento hasta el municipio de Zarzal para cumplir con sus labores académicas. Este tiempo varía dependiendo del tipo de transporte que presente el docente para su movilización. Para el caso de los docentes de Cali que usan el transporte público, deben abordar el primer bus en la terminal de transportes, que va hacia el municipio de Zarzal, el cual sale aproximadamente a las 5:00 a.m. La distancia entre ambos lugares es de 136 km lo cual implica un tiempo de viaje de 2 horas y 1 minuto, aproximadamente; a una velocidad de 67,4 km/h. Es decir, el docente de Cali está llegando al municipio de Zarzal a las 7:00 a.m. razón por la cual, no se le puede asignar la primera hora de clase por la alta probabilidad de no poder cumplir por estar sobre el tiempo de inicio de la jornada. En el gráfico 3 se evidencia los diversos municipios de procedencia de los docentes de la sede.

Gráfico 3. Municipio de procedencia del docente.



Fuente: Autores.

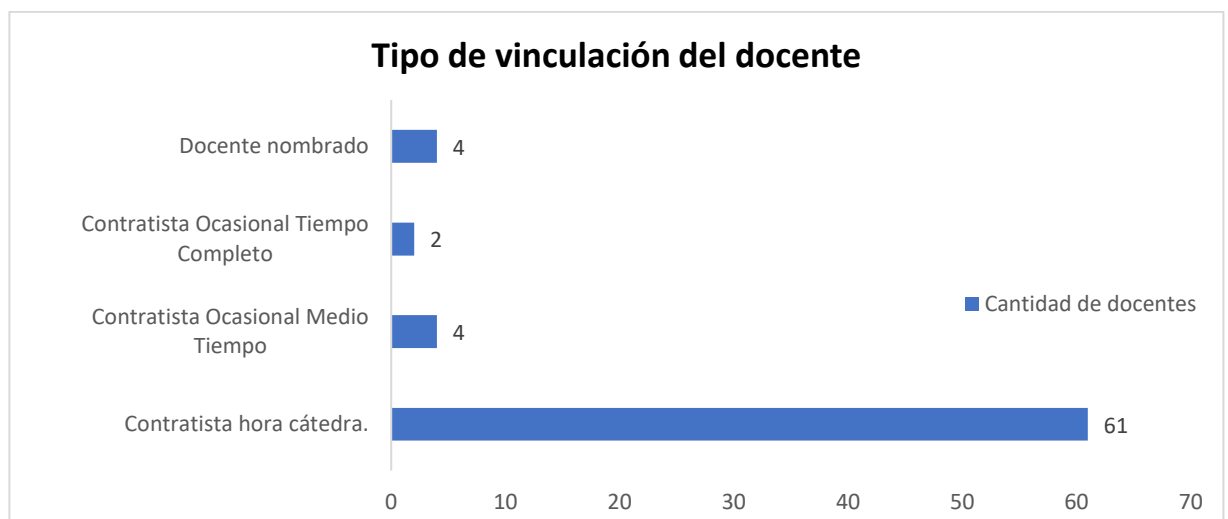
De igual forma sucede con los docentes de la ciudad de Pereira, donde el tiempo de viaje es de aproximadamente 2 horas. Por otra parte, los docentes de municipios como Tuluá, Andalucía, Candelaria; donde el sistema de transporte no da cobertura a toda la cabecera municipal implica que algunos docentes deben caminar en ocasiones hasta la carretera central para abordar un bus que los transporte hasta Zarzal. Este tipo de inconvenientes se dan también en otros docentes que no viven en la parte urbana del municipio de procedencia, sino que residen en la zona rural. En cuanto a la programación horaria, para los intervalos de clases iniciales no se cuenta con la disponibilidad de los docentes en cuestión, siendo una de las primeras limitaciones que se hacen visibles en la asignación horaria que se realiza en la sede de la Universidad del Valle, sede Zarzal. En el anexo 1, se puede detallar porcentaje de docentes que usan un determinado tipo de transporte para su desplazamiento.

Una segunda causa que incide de forma negativa en la programación horaria que se lleva a cabo en la sede, tiene que ver con el tipo de contratación que presentan actualmente los docentes. La mayoría de los profesores son contratistas hora catedra, es decir, su remuneración salarial depende del número de horas por materia que imparten durante cada mes. La mayoría de las veces sucede que este tipo de docentes cuentan con más de dos contratos con otras instituciones de educación; motivo por el cual su disponibilidad tiende a ser limitada y es ahí, donde la programación se ve afectada, porque se ve sujeta a la poca disponibilidad que suministra el docente, generando barreras o restricciones particulares. Este tipo de limitaciones se evidencia también en docentes que presentan un tipo de vinculación como contratista ocasional medio tiempo, pues se dan limitaciones de días en la disponibilidad del docente. Los docentes nombrados o contratistas ocasionales tiempo completo no presentan este tipo de limitaciones. En el gráfico 4 se puede evidenciar el tipo de vinculación que presentan los docentes de la sede.

La gran mayoría de docentes encuestados afirman que el tipo de vinculación que presentan hoy en día afecta su asignación horaria por el cruce de asignaturas programadas que se da entre las diferentes instituciones en que laboran. Al indagarles por las causas que ellos han percibido del proceso de asignación de horarios de clase, expresaron que algunas de las principales causas que consideran que afecta dicho proceso:

- La asignación de dos o más clases en un mismo horario (cruce de horarios).
- No tener en cuenta la disponibilidad del docente.
- La existencia de dificultades en cuanto al desplazamiento entre una sede y la otra (sede Bolívar y sede Las Balsas).
- Asignaturas seguidas programadas con intensidad superior a 2 horas, sin considerar intervalos mínimos de descanso, desplazamiento o alistamiento de 30 minutos entre clases.

Gráfico 4. Tipo de vinculación del docente de la Sede.



Fuente: Autores.

Aunque el proceso de asignación horaria presenta las falencias anteriormente descritas, la gran mayoría de docentes evalúan el servicio en una escala de 1 a 5, con una puntuación de 4, afirmando que el servicio es bueno, más no excelente; consideran que se puede mejorar.

De igual forma se extrajeron algunas dificultades en el proceso de asignación de espacios de clase que se hace por parte de la universidad, al encontrar argumentos como:

- Las asignaturas que requieren práctica de laboratorio de idiomas se programan en espacios diferentes al idóneo para la ejecución normal del curso.
- Espacios asignados con problemas en el sistema de aire acondicionado.
- Servicio de internet deficiente.

- Los equipos tecnológicos no funcionan.
- Las condiciones del salón de clases no son las apropiadas para el desarrollo normal del curso o asignatura (Espacio sucio, sin electricidad, pocos pupitres, humedad en paredes y piso, contaminación auditiva por aire acondicionado en mal estado, entre otros).
- La capacidad del salón es insuficiente para el número de estudiantes.
- Espacio ocupado en el horario en que le fue asignado.

Las causas o quejas que se enuncian en el apartado anterior son aspectos importantes que los docentes presentan en su día a día, en la medida que dictan las clases en los espacios físicos de la Universidad del Valle Sede Zarzal. Estas son reportadas a la universidad y son atendidas en la medida en que se registran. En el momento de consultarle a los docentes sobre la efectividad del servicio de atención y solución a éstas, se obtiene que éste es excelente. Expresan que en la mayoría de las veces que solicitan cambios o los reportan, se les escucha y se resuelve la situación.

1.7 ANÁLISIS COORDINADORES ENCUESTADOS

Como se mencionó anteriormente, se encuestaron 6 coordinadores de la sede, destacando de ello que, algunos coordinadores también asumen el rol de docentes, por lo tanto, respondieron la encuesta anterior.

La mayoría de los coordinadores están de acuerdo con que el tipo de vinculación que presentan los docentes les afecta el proceso de asignación de horarios, puesto que en el caso de los docentes hora catedra, deben ajustarse a la disponibilidad que ellos presentan, dado que no hay una alternativa que implique contratación durante todo el año y facilite la calendarización de los horarios semestrales.

De igual forma, manifiestan que las principales causas o quejas que perciben del proceso de asignación de horarios son las siguientes:

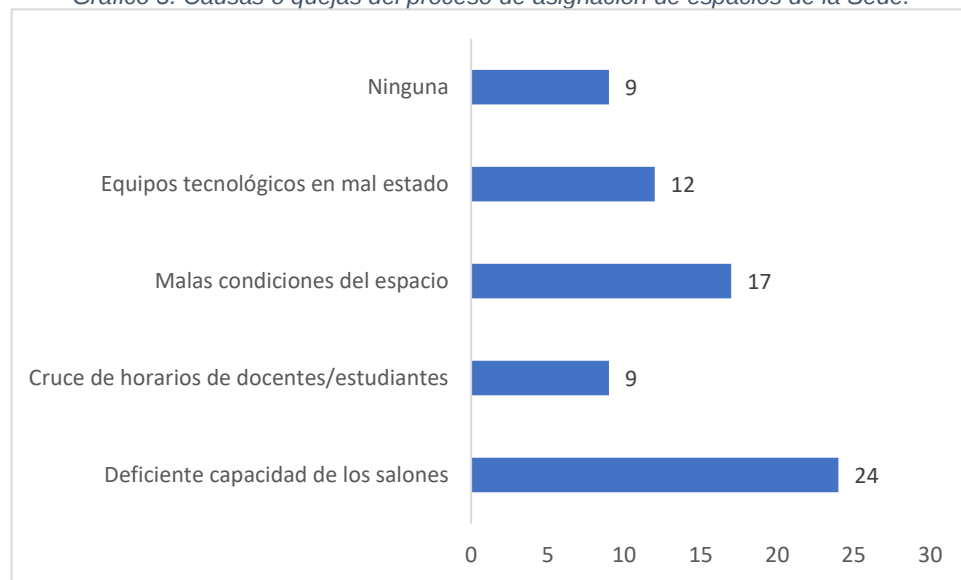
- Los docentes suministran una disponibilidad horaria y luego realizan cambios.
- El docente no entrega a tiempo la información requerida de su disponibilidad para la programación de horarios de clases.
- Se solicitan cambios de horarios por parte de estudiantes y docentes posteriores al proceso de programación.

Estas causas hacen que el proceso de asignación de horarios requiera de mucho tiempo de planificación y además, que esté en constante modificación, ocasionando incertidumbre a coordinadores, secretaría académica, docentes y estudiantes. De igual forma, se puede expresar que las causas o quejas identificadas en el proceso de asignación de espacios, son:

- La capacidad de algunos de los salones no satisface la demanda de los estudiantes matriculados por asignatura.
- Las condiciones del salón de clases no son las apropiadas para el desarrollo normal del curso o asignatura (Espacio sucio, sin electricidad, pocos pupitres, humedad en paredes y piso, contaminación auditiva por aire acondicionado en mal estado, entre otros).
- Cruces de horarios de un mismo docente en 2 programas diferentes, porque los coordinadores realizan la asignación de horarios, pero no hay una socialización a priori con los otros coordinadores, solamente se informa la asignación con secretaría académica.

En el gráfico 5 se pueden evidenciar las diferentes causas o quejas que se han dado en la Sede respecto al proceso de asignación de horarios y espacios.

Gráfico 5. Causas o quejas del proceso de asignación de espacios de la Sede.



Fuente: Autores.

A pesar de las diversas causas y quejas registradas en cuanto a la calendarización, los coordinadores califican como excelente dicho servicio. Sin embargo, consideran que existen oportunidades de mejora.

En el siguiente capítulo hace alusión a la propuesta de la modelación matemática para el problema de calendarización en la sede caso de estudio, para ello se hace una revisión de la literatura con el fin de identificar parámetros, restricciones, metodologías en general a la hora de abarcar los problemas de asignación horaria y de espacios. Lo anterior, posibilita la planeación del modelo matemático de los autores del presente escrito, tal cual como se expone a continuación.

2 MODELACIÓN MATEMÁTICA PARA LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE SALONES DE CLASES EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR

Para la planeación de la propuesta fue necesario realizar una revisión por la literatura para identificar: el enfoque, herramientas y características fundamentales que requiere un modelo matemático que utilizaron diversos autores que abarcaron el problema de calendarización en IES.

2.1 FINALIDAD DE LOS AUTORES

Para llevar a cabo el análisis de la presente propuesta, fue necesario establecer criterios de selección de la documentación con el objetivo de optimizar el proceso de investigación en las fuentes documentales digitales. Estos son: diseño del estudio, resultados obtenidos e intervenciones. De igual manera, fue pertinente establecer una determinación del sesgo de las publicaciones, considerando un horizonte de tiempo de publicación de los artículos desde el año 2000 hasta el año 2020.

El proceso de revisión considera cuatro etapas que comprenden: identificación, proyección, elegibilidad e inclusión de los artículos en cuestión. En la primera etapa de identificación se consideraron 138 artículos sobre calendarización extraídos de bases de datos como Scopus y Web of Science. En la etapa de proyección, se hizo un registro de identificación de documentos duplicados, depurando 12 de la lista total de artículos, dejando 126 documentos. Seguido, en la etapa de elegibilidad fueron excluidos 89 artículos puesto que abordaban el tema de calendarización, pero en textos como conferencias documentadas o capítulos de libros, pero no se consideraron en el análisis documentos indexados por expertos en formato de artículo. De igual forma, se excluyeron documentos asociados con calendarización en campos de acción distintos a las instituciones de educación superior, los cuales abordaban contextos como: estaciones de tren, hospitales. Por otro lado, se incluyeron 32 artículos de calendarización que cumplían con las especificaciones planteadas: calendarización en instituciones de Educación Superior, los cuales se analizan a continuación. Ver anexo 3.

2.2 LIMITACIONES DE LOS AUTORES

De manera general, los autores que se consideraron en la revisión de la literatura abarcaron limitaciones como: limitaciones de tiempo, limitaciones de espacio, limitaciones de usuarios, limitaciones de profesores y de clases. Asimismo, tuvieron en cuenta algunas complejidades que se presentaban como son: traslado de docentes de un bloque a otro en su respectivo cambio de asignatura, tipo de contratación del docente.

Es importante mencionar que la mayoría de las instituciones donde se abordó el problema de calendarización, se caracterizan por ser instituciones de Educación Superior públicas, semi privadas y privadas, tales como: Colegios, institutos y universidades tanto nacionales como internacionales. La mayoría de estos centros educativos presentaban desde una a dos modalidades dentro de su programación horaria, siendo estas: diurna y nocturna.

Por lo anterior, los elementos que se abarcan dentro de cada propuesta de manera general son: días, espacios, horas, franjas de tiempo, profesores y clases. Guerra (2016), aborda dentro de su investigación limitaciones de: espacio, franjas de tiempo, profesores, clases. (Orejuela, 2019) consideró las mismas limitaciones anteriormente expuestas, pero, además, consideró limitaciones de días y de horas. De igual forma, es válido afirmar que dentro de cada propuesta de investigación al menos se consideraron una de las siguientes complejidades: recursos limitados y traslado de docentes de un bloque a otro.

Por otro lado, las funciones objetivo en una visión general, buscan la maximización de la calendarización en instituciones de Educación Superior Deris (2000), Burke (2006), Wu (2015), Cruz (2016) y Tavakoli (2020). Es por ello por lo que, Vrielink (2019), propone la maximización de la teoría acerca del abordaje de los problemas de asignación de horarios de clases en instituciones de Educación Superior como objetivo en su propuesta. De igual forma Torres (2013), expresa que se debe maximizar la asignación de recursos: aulas, profesores, clases dentro de una semana para encontrar buenas soluciones al problema de calendarización. Abdullah (2007) considera lo mismo, pero le añade la maximización de la asignación de un período (día e intervalo de tiempo) y una sala, a todas las conferencias de cada curso. Asimismo, Guerra (2016), propone maximizar los resultados y lograr soluciones automatizadas de alta calidad en asignación de horarios y salones de clases, Marín (2016), complementa el planteamiento anterior al proponer en su artículo de investigación como función objetivo la maximización de la cantidad de bloques que se puedan formar durante la semana en el proceso de calendarización. Para la gestión de la maximización de la asignación de recursos, se evidencia un direccionamiento de las funciones objetivos de acuerdo con necesidades y condiciones del espacio Abdelhalim (2016), Yazdani (2017), Phillips (2017), Babaei (2015). Éstas buscan maximizar la utilización de los recursos dispuestos para la programación en cuanto a espacios, franjas de tiempo y profesores disponibles. Respecto al tiempo, se considera oportuno minimizarlo en la planificación de horarios docentes de universidad Tamayo (2010) y a vez, el traslado semanal de los profesores penalizando aquellas asignaturas de intensidad (Orejuela, 2019).

Según Thompson (2005), es importante minimizar el número de días de enseñanza, los conflictos de tiempo entre cursos, el número de cursos no programados y las infracciones de los cursos que deben programarse el mismo día. Hinkin (2002) reconsidera el planteamiento de Thompson (2005), pero le añade que se deben minimizar las desviaciones del número ideal de días de enseñanza, tiempo programado en los tiempos de enseñanza disponibles, pero no preferidos. Un caso

particular es el propósito de la investigación del autor Lindahl (2017) quien busca minimizar el número de salones a utilizar, los días de la distribución de clase y las franjas de tiempo asignadas. Cabe resaltar que existen otras finalidades, como es el caso del autor Daskalaki (2004) en sus dos investigaciones busca la minimización de costos de asignación de un curso.

Fong (2014), Alcarazuna (2016), Assi (2018), Muklason (2019), buscan minimizar los conflictos que se puedan presentar, o, dicho de otra manera; la cantidad de restricciones blandas o flexibles insatisfechas, situadas de igual manera en un espacio - tiempo de una institución de educación superior donde también se considera la disponibilidad o accesibilidad del alumno a los cursos programados en las franjas de tiempo. Es necesario minimizar los puntos de penalización que hacen referencia a las restricciones duras y blandas Lindahl (2019). Una de las restricciones blandas más comunes se evidenciaba en el momento de evitar que la programación de una clase pueda dictarse simultáneamente con otra en la que el alumno estuviera matriculado. Por lo anterior, autores como Abdullah (2007), Arbaoui (2019), buscan minimizar el número de estudiantes que se presentan ya sea a más de un curso o examen programado un mismo día. También, aparece Lemos (2018), quien propone maximizar el número de estudiantes sentados por salas de clases con la condición de minimizar el número de transiciones.

2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MODELOS DE DECISIÓN

Para realizar la caracterización de los modelos de decisión, se tuvieron en cuenta aspectos como: tipos de modelo matemático, restricciones, etapas de solución, algoritmo de solución; de los artículos considerados en la revisión literaria.

2.4 TIPO DE MODELO MATEMÁTICO

Autores como: Abdullah (2007), Arbaoui (2019), Babaei (2015), Abdelhalim (2016), Yazdani (2017), Daskalaki (2004), Muklason (2019), Daskalaki (2004), Lindahl (2018), Alcarazuna (2016) y Fong (2014) se destacan porque a la hora de presentar su modelo, lo presentaron como un modelo mono objetivo obteniendo resultados interesantes para sus expectativas particulares.

Por otro lado, Lindahl (2017), Marín (2016), Deris (2000), Wu (2015), Hinkin (2002), Lemos (2018), Abdullah (2011), Lemos (2018), Cruz (2016), Lindahl (2019), Tavakoli (2020) y Tamayo (2010) abordaron la problemática de calendarización desde una perspectiva de modelo multi objetivo.

2.5 RESTRICCIONES

Thompson (2005) y Wu (2015) consideraron restricciones blandas dentro de sus artículos a la hora de trabajar su propuesta matemática. Mientras que: Hinkin (2002),

Lemos (2018) y Tamayo (2010), asumieron restricciones estrictas. Finalmente, Burke (2005), Phillips (2017), Guerra (2016), Babaei (2015), Lindahl (2017), Alcarazuna (2016), Abdelhalim (2016), Assi (2018), Orejuela (2019), Muklason (2019) y Arbaoui (2019), consideraron ambas restricciones (duras y blandas) en el momento de abordar el problema de asignación horaria y de salones de clases.

2.6 ETAPAS DE SOLUCIÓN

El problema de calendarización se puede abordar en una sola etapa para la gestión de buenas soluciones, un ejemplo de ello es: Arbaoui (2019), Abdelhalim (2016), Assi (2018), Fong (2014) y Muklason (2019) que lanzaron de esta manera, sin necesidad de dos o más etapas. Sin embargo, autores como: Daskalaki (2004), Tamayo (2010), Abdullah (2007), Babaei (2015), Cruz (2016), Lindahl (2017), Yazdani (2017), Lemos (2019), Lindahl (2019) abordaron los problemas de calendarización en su respectiva Institución de Educación Superior desde un modelo multi etapa.

2.7 ALGORITMOS DE SOLUCIÓN

Es relevante mencionar que los autores se apoyaron de algoritmos de solución a la hora de proponer sus respectivas soluciones. Algunos de ellos son: C++, CPLEX 125, Solucionadores IP, Java, C-, entre otros, los cuales se especifican a continuación.

Los autores de cada artículo presentan diferentes rutas y herramientas con el fin de proponer soluciones factibles al problema de calendarización en instituciones de educación superior. Dichas soluciones están encaminadas a encontrar buenas soluciones respecto al problema de calendarización más no, una solución óptima.

Para la maximización de la utilización de los recursos dispuestos propuesto por los autores Abdelhalim (2016) en sus dos investigaciones propone enfoques heurísticos basados en algoritmo genéticos desarrollados en una sola etapa, Yazdani (2017) en su investigación desarrolla tres metaheurísticas basadas en algoritmos genéticos, y recocido simulados en diferentes etapas, apoyándose en la programación lineal entera mixta, Phillips (2017) presenta la programación de enteros como su método de solución, desarrollado en una sola etapa, Babaei (2015) comenta sobre los diferentes enfoques heurísticos con los que se puede generar una solución al problema de calendarización, entre ellos Razonamiento de la Base de Casos (CBR), Algoritmos Genéticos (GAs), Optimización de Colonias de Hormigas (ACO), Algoritmo Memético (MA), Algoritmo de Búsqueda Armónica (HAS), la optimización de enjambre de partículas (PSO), la optimización de la colonia de abejas artificiales (ABC) y los algoritmos de solución única también incluyen el algoritmo de búsqueda de tabú (TS), la búsqueda de vecindario variable

(VNS), la mejora iterativa aleatoria con el algoritmo de vecindario compuesto (RIICN) y el recocido simulado (SA).

Cuando la investigación tiene como función objetivo la minimización de conflictos o de restricciones blandas insatisfechas, autores como: Alcarazuna (2016) proponen una solución por medio de un algoritmo de búsqueda local para minimizar dichos conflictos (LIS). De igual modo, Fong (2014) plantea un método híbrido como solución, el cual se compone del algoritmo de gran diluvio y un algoritmo de colonia de abejas artificiales (INMGD-ABC), aplicando dicho método en una sola etapa.

Asimismo, Muklason (2019) propone en una de sus dos investigaciones un método híbrido, que es una combinación de un algoritmo de gran diluvio y un algoritmo de colonia de abejas artificiales (INMGD-ABC), apoyada en un algoritmo de coloración gráfico para el planteamiento de las posibles soluciones, este planteamiento se considera un hiperheurístico, desarrollado en varias etapas. Assi (2018), presenta un método de solución por medio de una metaheurística basado en algoritmo genético para la coloración del gráfico respecto a los conflictos generados por la programación, desarrollado en una sola etapa y apoyado en un lenguaje de programación JAVA.

Aquellos autores que buscan minimizar el número de cursos programados en un mismo día para un estudiante como Tamayo (2010), propone una metodología de solución híbrida basada en un algoritmo de gran Diluvio, desarrollado en varias etapas. Mientras que Arbaoui (2019) propone un heurístico basada en un algoritmo genético utilizando un lenguaje de programación C++ y CPLEX 12.5 MIP (programación entera mixta), desarrollados en una sola etapa.

Casos particulares como el de Lindahl (2017) quien busca minimizar el número de salones a utilizar, los días de la distribución de clase y las franjas de tiempo asignadas, aplica algoritmos basado en el método -constraint, generico teniendo en cuenta que es un modelo multiobjetivo y se apoya en una programación lineal entera mixta, desarrollado en varias etapas.

2.8 PRINCIPALES HALLAZGOS

De la revisión realizada por los diferentes autores es relevante precisar que algunos de ellos mencionan aproximaciones a futuras investigaciones relacionadas con la calendarización en Instituciones de Educación Superior. Un ejemplo de ello es Arbaoui (2019), quien plantea en su artículo: *“Límites más bajos y formulaciones matemáticas compactas para espaciar las restricciones suaves para los problemas de horarios de los exámenes universitarios”*, la utilización de un conjunto de datos de ITC para mejorar la experiencia de la programación horaria y asignar los recursos disponibles en las necesidades o requerimientos que se tienen.

De igual forma, Muklason (2019) en su propuesta *“Optimización automática del horario de los cursos mediante el algoritmo hiperheurístico basado en la búsqueda de vecindad variable de tabú”*, explica que se podrían proponer investigaciones adicionales sobre nuevas estrategias dentro de los enfoques hiperheurísticos para mejorar el rendimiento del algoritmo empleado, así como una mayor comprensión de las formulaciones del problema.

Por otro lado, Burke (2006) en su artículo *“Razonamiento basado en casos de recuperación múltiple para los problemas de asignación horaria de curso”*, propone realizar trabajos e investigaciones con base a enfoque CBR para mejorar el proceso de asignación de recursos.

Tavakoli (2020), expresa en su documento *“Programación de horario escolar con multi-localización y preferencias docente”*, que se recomienda para futuras investigaciones abordar la calendarización como un problema de optimización combinada de NP- clase dura. De esta manera se estaría asumiendo las variaciones que presentan los problemas de calendarización en un escenario más optimista que los propuestos tanto por él como otros autores.

Se pueden considerar varios criterios para la toma de decisiones, sin embargo, la mayoría de los autores se enfocan en la maximización de los recursos debido a las capacidades limitadas que se tienen en los casos desarrollados en sus investigaciones y que se ajustan a las condiciones presentadas en esta investigación. En cuanto a la funcionalidad del modelo, es pertinente usar una herramienta metaheurística lo suficientemente robusta que posibilite una adecuada funcionalidad en cuanto al procesamiento de datos y corrida del modelo matemático como, por ejemplo: Búsqueda Tabú, Recocido Simulado y la Búsqueda de Vecindario son opciones que se pueden considerar a la hora de proponer una metodología para dar solución a la presente propuesta de calendarización.

2.9 APROXIMACIONES

Se pueden considerar varios criterios para la toma de decisiones, sin embargo, la mayoría de los autores se enfocan en la maximización de los recursos debido a las capacidades limitadas que se tienen en los casos desarrollados en sus investigaciones y que se ajustan a las condiciones presentadas en esta investigación. Es importante resaltar que las metodologías y los enfoques desarrollados para la solución del problema de calendarización está basado en metaheurísticas cuya frecuencia de utilización son los algoritmos genéticos, que han arrojado resultados significativamente buenos y que podría ajustarse al planteamiento de la solución del modelo a desarrollar en esta investigación.

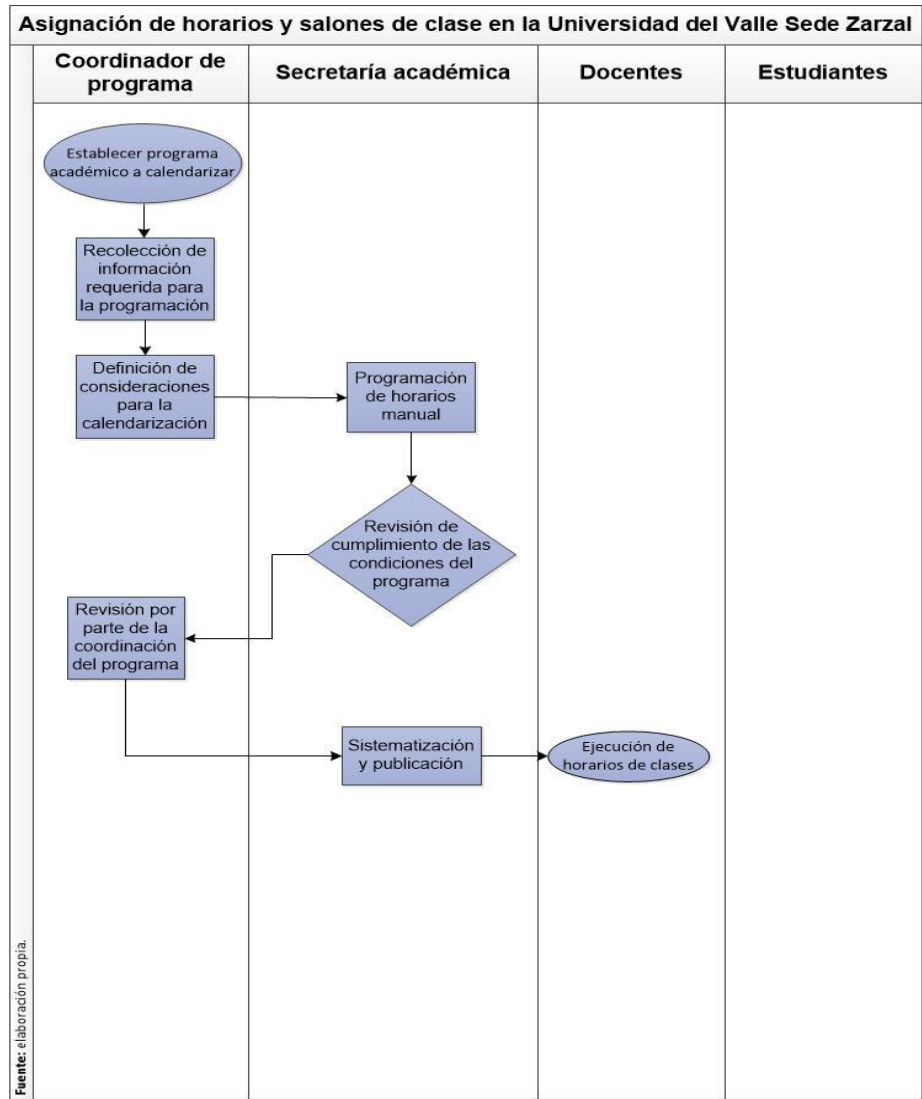
A continuación, se expone el proceso de asignación de horarios y salones de clases que se considera para la puesta en escena de la actual propuesta. En este flujo no

se permiten cambios después de iniciar las clases y la ejecución del horario y asignación de salones como tal.

FLUJO DEL PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN DE HORARIOS Y SALONES DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE ZARZAL, PROPUESTA ACTUAL

El gráfico 6, presenta el flujo de la propuesta del procedimiento de asignación de horarios y salones de la Universidad del Valle Sede Zarzal.

Gráfico 6. Procedimiento actual de asignación de horarios y salones de clase de la Sede.



Fuente: Autores.

2.10 MODELO MATEMÁTICO TIMETABLING UNIVERSIDAD DEL VALLE

Los problemas de calendarización en el sector educativo han tenido relevancia en la programación de horarios de evaluaciones (examination Timetabling), programación de horarios de clases para colegios (School Course Timetabling), programación de horarios de clases para instituciones de educación superior o universidades (University Course Timetabling), entre otros. De lo anterior, surge una rama específica encargada de este tipo de casos conocida bajo el nombre de Class Scheduling, aborda los problemas relacionados con la programación horaria para las entidades educativas (Deris et al., 2020).

Con base en lo anterior, el presente trabajo tiene como propósito formular un modelo de optimización lineal, que contribuya a la programación y asignación de docentes en los distintos espacios y horarios de clase en la institución, que cuenta con aproximadamente 2.500 estudiantes matriculados en los programas de pregrado, basado en un análisis de investigaciones realizadas como resultado de la revisión sistemática de la literatura. De las medidas de desempeño abordadas por los autores, la maximización de la utilización de los recursos es aquella que se ajusta a las necesidades de la investigación y a las características del sistema objeto de estudio, dado que se tienen en cuenta limitaciones de espacio y tiempo.

De igual forma, se identificaron los principales factores que inciden en la programación de horarios, espacios de formación y la asignación de docentes. Posteriormente, se definieron los conjuntos, parámetros, variables de decisión, restricciones y función de desempeño del modelo. Finalmente, por medio de la exploración de algoritmos exactos y metaheurísticos se pretende realizar un análisis de resultados del modelo matemático; lo cual permite concluir cuales son los factores relacionados con la cantidad de estudiantes matriculados por curso, capacidad y cantidad de salones de clase y disponibilidad de docentes inciden de forma importante en la programación de actividades en cada periodo académico.

SUPUESTOS DEL MODELO

- Se consideran espacios formación de capacidad heterogénea.
- No se consideran tiempos de desplazamiento de docentes entre salones.
- Se asume que las materias cuyo tiempo de carga asignado es superior a tres horas, se puede fraccionar en diferentes intervalos.
- Se considera un tiempo de descanso de 1 hora en cada día estará comprendida entre el intervalo de tiempo de 1:00 pm a 2:00 p.m.
- Se consideran solamente un programa académico diurno desde un horizonte diario de tiempo asignado, desde las 7:00 a.m. hasta las 6:00 p.m.
- Se consideran 6 días de la semana (lunes a sábado), para la programación.

FUNCIÓN DE DESEMPEÑO

Maximizar la utilización de los recursos disponibles en cuanto a tiempo, capacidad de salones, cursos de los diferentes programas académicos y disponibilidad horaria de los profesores.

RESTRICCIONES

1. No se deben asignar la misma clase dos veces en un mismo día. Tiende a ser antipedagógico programar la misma materia en un mismo día, sea en horario continuo o con intervalo de descanso. Estos espacios entre materias disminuyen la eficiencia de cada clase y perturba la dinámica de aprendizaje de los alumnos (Marín, 2016).
2. No se deben asignar más de tres horas por materia, considerando que cada hora tiene 60 minutos.
3. Solo se deben asignar clases según la disponibilidad horaria del profesor.
4. Un profesor solo puede dictar una materia en determinado instante, por lo que no se puede programar más.
5. La cantidad horaria requerida para cada materia se debe cumplir.
6. No se permite el cruce de horarios de materias según cada cohorte.
7. El número de estudiantes matriculados en una materia no debe superar la capacidad del salón de clases o ambiente de formación.
8. Un profesor no puede dictar más horas de las contratadas para una asignatura.

CONJUNTOS PRINCIPALES

P = Conjunto de profesores.

M = Conjunto de materias.

I = Conjunto de intervalos de tiempo.

E = Conjunto de espacios.

D = Conjunto de día de clase en la semana.

S = Conjunto de Semestres de la carrera.

CONJUNTOS INDUCIDOS

Prof = Profesores ***p*** $\in$ ***P*** que están disponibles en intervalos de tiempo ***i*** $\in$ ***I***.

Mati = Conjunto de materias ***m*** $\in$ ***M*** que pueden ser dictadas en el intervalo de tiempo ***i*** $\in$ ***I***.

ProfM = Conjunto de profesores ***p*** $\in$ ***P*** que pueden dictar una materia ***m*** $\in$ ***M***.

MProf = Conjunto de materias ***m*** $\in$ ***M*** que puede dictar un profesor ***p*** $\in$ ***P***.

IntD = Conjunto de días ***d*** $\in$ ***D*** de la semana que contienen los intervalos de tiempo ***i*** $\in$ ***I***.

SMat = Conjunto de materias ***m*** $\in$ ***M*** que corresponde a un semestre ***s*** $\in$ ***S***.

MatS = Conjunto de semestres ***s*** $\in$ ***S*** que corresponden a una materia ***m*** $\in$ ***M***.

PARÁMETROS

NuMat {*m* in *M*} = Número de horas que requiere cada materia *m* ∈ *M*

IntMate {*i* in *I*, *m* in *M*} = intervalos de tiempo *i* ∈ *I* para cada materia *m* ∈ *M*, según las horas que requiere.

Ne {*m* in *M*} = Número de estudiantes matriculados en cada materia *m* ∈ *M*.

Cs {*e* in *E*} = Capacidad de los espacios *e* ∈ *E*.

VARIABLES DE DECISIÓN

X_{mpsdie}: **1** si la materia *m* ∈ *M*, puede ser dictada por el profesor *p* ∈ *P*, que pertenece al semestre *s* ∈ *S*, el día *d* ∈ *D*, en el intervalo de tiempo *i* ∈ *I*, en el espacio *e* ∈ *E*, **0** de lo contrario.

FUNCIÓN OBJETIVO

Maximizar la utilización de los recursos de la universidad asociados con la disponibilidad, día, intervalo de tiempo y espacios. Es decir, busca maximizar la suma de las asignaciones de la materia *m* ∈ *M*, puede ser dictada por el profesor *p* ∈ *P*, que pertenece al semestre *s* ∈ *S*, el día *d* ∈ *D*, en el intervalo de tiempo *i* ∈ *I*, en el espacio *e* ∈ *E*

$$Z_{max1} = \sum_{m \in M} \sum_{p \in ProfM[m]} \sum_{s \in MatS[m]} \sum_{d \in D} \sum_{i \in IntD[d]} \sum_{e \in E} X_{mpsdie}$$

SUJETO A:

1. La restricción iguala la variable ***X*** con el parámetro **IntMate**, dado por los intervalos *i* de las materias *m* asociadas a la disponibilidad de los profesores *p*, de cada programa académico correspondiente, espacio de formación *e*, en los intervalos de tiempo *i*, en cada día *d*.

$$X_{mpsdie} \leq IntMate_{[i,m]}; \quad \forall m \in M, \forall p \in ProfM[m], \forall s \in MatS[m], \forall d \in D, \forall i \in IntD[d], \forall e \in E$$

2. La restricción asegura que los intervalos contenidos en el subconjunto **Mat*i***, no sean mayores que tres, asociadas a las materias *m*, si se realiza la asignación para el programa académico correspondiente, del semestre *s*, que es dictada por el profesor *p*, para cada día *d*, en el espacio de formación *e*.

$$\sum_{i \in Mat[i,m]} X_{mpsdie} \leq 3; \quad \forall m \in M, \forall p \in P, \forall s \in MatS[m], \forall d \in D, \forall e \in E$$

3. La restricción asegura que los intervalos *i* estén contenidos en la disponibilidad del profesor *p*, que están contenidos en el conjunto inducido **Prof**, asociada a los días *d*, que se dictaran en el espacio de formación *e*,

cuyas materias m corresponden al programa académico correspondiente del semestre s , sean menores o iguales a tres.

$$\sum_{i \in \text{Prof}[p]} X_{mpsdi} \leq 3; \forall m \in M, \forall p \in P, \forall s \in \text{MatS}[m], \forall d \in D, \forall e \in E$$

4. La restricción asegura que un profesor p solo pueda dictar una materia m de las que tenga asignadas en el conjunto inducido $\text{ProfM}[p]$, para el conjunto de días d que contienen los intervalos de tiempo i , del semestre s , del programa académico correspondiente, en el espacio de formación e .

$$\sum_{m \in \text{ProfM}[p]} X_{mpsdi} \leq 1; \forall p \in P, \forall s \in S, \forall d \in D, \forall i \in \text{IntD}[d], \forall e \in E$$

5. La restricción asegura que los intervalos i de las materias m en un día d sean iguales a la cantidad de intervalos que necesita la materia que están contenidas en el parámetro $\text{NuMat}[m]$, que debe ser dictada por el profesor p , para el semestre s , del programa académico correspondiente.

$$\sum_{d \in D} \sum_{i \in \text{IntD}[d]} X_{mpsdi} \leq \text{NuMat}[m]; \forall m \in M, \forall p \in P, \forall s \in S, \forall e \in E$$

6. La restricción asegura que un profesor p y una materia m de un semestre s , que pertenece a un programa académico correspondiente, no se cruce con otra materia del mismo semestre, que es dictada el día d , en intervalos de tiempo i .

$$\sum_{m \in \text{SMat}[s]} \sum_{p \in P} X_{mpsdi} \leq 1; \forall s \in S, \forall d \in D, \forall i \in \text{IntD}[d], \forall e \in E$$

7. La restricción asegura que el número de estudiantes $\text{Ne}_{[m]}$ matriculados en una materia m , no debe de superar la capacidad del espacio de formación $\text{Cs}[e]$, para los días d en que serán dictados, en los intervalos de tiempo i , en cada espacio e .

$$\sum_{s \in S} \text{Ne}_{[m]} * X_{mpsdi} \leq \text{Cs}[e]; \forall m \in M, \forall p \in P, \forall d \in D, \forall i \in \text{IntD}[d], \forall e \in E$$

8. La restricción asegura que no se supere las horas que corresponde al contrato de un profesor p que dicta un conjunto de materias m , que requieren un número de horas $\text{NuMat}[m]$, para los semestres s , del programa académico correspondiente, en el intervalo de tiempo i .

$$\sum_{m \in \text{ProfM}[p]} \sum_{s \in S} \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} \sum_{i \in \text{IntD}[d]} \text{NuMat}[m] * X_{mpsdi} \leq 20; \forall p \in P$$

9. La restricción asegura que un profesor p , que dicta un conjunto de materias m , sea asignado solamente a un espacio e , a un semestre s en un mismo instante de tiempo i , cada día d .

$$\sum_{m \in SM} \sum_{s \in S} \sum_{e \in E} X_{mpsdi} \leq 1; \forall p \in P, \forall d \in D, \forall i \in IntD[d]$$

10. La restricción asegura que la variable sea binaria.

$$X_{mpsdi} \in \{0, 1\} \quad \forall m \in M, \forall p \in P, \forall s \in S, \forall d \in D, \forall i \in I, \forall e \in E$$

3 INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR: CASO DE ESTUDIO

Para el caso de estudio de la propuesta actual, se consideró un solo programa académico, el cual es el programa de Ingeniería Industrial, bajo la premisa de que éste tiene una apertura semestral. Por tal razón, se consideran 7 semestres para la modelación. Algunas de las consideraciones relevantes que se tienen en cuenta a la hora de correr el modelo son:

3.1 CAPACIDAD DE LOS ESPACIOS

Para la modelación matemática y la ejecución de la propuesta, es necesario conocer la capacidad de los espacios disponibles en la sede que se utilizarán para el proceso de calendarización. Siendo estos:

Tabla 1. Capacidad de los espacios.

Salones	Tipo de ambiente de aprendizaje	Objetivo de ambiente de aprendizaje	Área (m2)	Sillas
1	Salón 140	Salón de clase	58,7	55
2	Salón 145	Salón de clase	59,1	6
3	Salón 200	Salón de clase	58,7	50
4	Salón 205	Salón de clase	35,7	30
5	Salón 210	Salón de clase	44	35
6	Sala de sistemas 1 (215)	Salones de práctica	70,4	40
7	Sala de sistemas 2 (220)	Salones de práctica	41,2	25
8	Sala de sistemas 3 (225)	Salones de práctica	59,9	28
9	Salón 300	Salón de clase	58,7	55
10	Laboratorio de alimentos (305)	Salones de práctica	59,1	15
11	electrónica (310)	Salones de práctica	49,8	15
12	Salón 315	Salón de clase	44,5	37
13	Salón 320	Salón de clase	36,9	40
14	Salón 325	Salón de clase	59,6	57
15	Salón 335	Salón de clase	16,4	12
16	Salón 1 (Sótano)	Salón de clase	56,4	41
17	Salón 2 (Sótano)	Salón de clase	80,1	60
18	Biblioteca	Salones de práctica	28,4	10
19	Biblioteca (Área de lectura)	Salones de práctica	129,8	80
20	Auditorio	Salones de práctica	243	280

Fuente: Botero, E. (2019)

3.2 INTERVALOS DE TIEMPO

Se establecen intervalos de tiempo de acuerdo con la jornada académica diurna. No se tienen en cuenta los intervalos: I=7, I=18, I=29, I=40, I=51 e I=62 dentro de la modelación matemática puesto que corresponde a la hora de almuerzo que tienen tanto estudiantes como docentes dentro de su jornada académica.

Tabla 2. Intervalos de tiempo.

INTERVALOS DE TIEMPO						
HORARIO	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
7:00AM-8:00AM	I=1	I=12	I=23	I=34	I=45	I=56
8:00AM-9:00AM	I=2	I=13	I=24	I=35	I=46	I=57
9:00AM-10:00AM	I=3	I=14	I=25	I=36	I=47	I=58
10:00AM-11:00AM	I=4	I=15	I=26	I=37	I=48	I=59
11:00AM-12:00M	I=5	I=16	I=27	I=38	I=49	I=60
12:00PM-1:00PM	I=6	I=17	I=28	I=39	I=50	I=61
1:00PM-2:00PM	I=7	I=18	I=29	I=40	I=51	I=62
2:00PM-3:00PM	I=8	I=19	I=30	I=41	I=52	I=63
3:00PM-4:00PM	I=9	I=20	I=31	I=42	I=53	I=64
4:00PM-5:00PM	I=10	I=21	I=32	I=43	I=54	I=65
5:00PM-6:00PM	I=11	I=22	I=33	I=44	I=55	I=66

Fuente: Autores.

3.3 NÚMERO DE DOCENTES

Se consideran 10 docentes y siete semestres del programa de Ingeniería Industrial para la calendarización

3.4 DISPONIBILIDAD DE LOS DOCENTES

En la tabla 3, se puede evidenciar la disponibilidad que presentan los docentes que se consideran para la calendarización.

3.5 NÚMERO DE ASIGNATURAS

Se consideran 15 asignaturas a programar para el programa académico de Ingeniería Industrial.

Tabla 3. Disponibilidad de los docentes de la Universidad del Valle sede Zarzal.

Disponibilidad Horaria de profesores		
Docente	Día	Hora
1	Lunes	7:00 a.m. - 1:00 p.m y 2:00 p.m - 5:00 p.m.
2	Lunes	10:00 a.m. - 1:00 p.m.
3	Lunes	7:00 a.m. - 10:00 a.m.
4	Lunes	2:00 p.m. - 5:00 p.m.
5	Martes	7:00 a.m. - 1:00 p.m
3	Martes	10:00 a.m. - 1:00 p.m.
4	Martes	2:00 p.m. - 5:00 p.m.
3	Miércoles	7:00 a.m. - 10:00 a.m.
6	Miercoles	7:00 a.m. - 10:00 a.m.
4	Miércoles	3:00 p.m. - 6:00 p.m.
7	Jueves	7:00 a.m. - 10:00 a.m.
8	Jueves	7:00 a.m. - 10:00 a.m.
3	Jueves	10:00 a.m. - 1:00 p.m.
9	Viernes	7:00 a.m. - 1:00 p.m
4	Viernes	2:00 p.m. - 5:00 p.m.
10	Sabado	7:00 a.m. - 1:00 p.m

Fuente: Universidad del Valle, Secretaría Académica (2020).

3.6 NÚMERO DE ESTUDIANTES MATRICULADOS

Tabla 4. Número de estudiantes matriculados por materia.

Estudiantes Matriculados en una asignatura	
Materia	Estudiantes Matriculados
1	50
2	43
3	40
4	30
5	45
6	50
7	40
8	55
9	35
10	40
11	25
12	60
13	45
14	35
15	30

Fuente: Universidad del Valle, Secretaría Académica (2020).

Se tienen un total de 15 asignaturas disponibles para programar en los diferentes semestres del programa académico de Ingeniería Industrial, estas a su vez cuentan con una capacidad de cupos por estudiantes tal como se evidencia en la tabla

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y ESCENARIOS

Una vez se obtienen los resultados del modelo, es pertinente que sean sometidos a un análisis de escenarios respecto a la variación de parámetros de interés, como lo son: número de horas asignado por materia, intervalos de tiempo, número de estudiantes matriculados en cada materia y la capacidad del espacio. Lo anterior, se propone con el fin de observar el impacto que tienen estas variaciones en la función de desempeño, es decir, identificar cómo estas modificaciones inciden en la asignación de horarios y salones de clase en la Universidad del Valle sede Zarzal. Se realizó una variación de la cantidad de estudiantes y la capacidad de los espacios que serán asignados, para identificar si el modelo está atado a un espacio como tal, o si contempla la gama de posibilidades de asignación de espacios que hay disponibles actualmente en la sede. Para ello, se utilizó una matriz que considera los intervalos en los que se puede asignar una materia de acuerdo con la disponibilidad de los docentes y espacios de clases.

El modelo sigue generando la misma distribución, es decir, toma el espacio ST1 puesto que tiene la mayor capacidad y no se cruza con ningún horario para asignar las materias que se tienen en el conjunto sin crear conflicto alguno.

De igual forma, se hizo una variación en la capacidad de los salones encontrando que genera la misma asignación. Todas las materias son asignadas al salón ST1 debido a que cumplen con la capacidad y no presenta ningún conflicto, ni cruces entre materias. Cuando la variable hace la búsqueda, la primera opción que encuentra en la lista es el ST1 (Sótano 1) debido a que es el salón con mayor capacidad. Por esta razón, se propuso cambiar el orden de asignación, ubicando en otra posición el salón ST1 para verificar la consistencia de la modelación matemática y se obtuvo nuevamente el resultado anterior, lo cual indica que el modelo no presenta fallas a la hora de identificar la capacidad del salón de acuerdo con la cantidad de estudiantes que ocuparán el espacio.

4.1 FORMULACIÓN DE ESCENARIOS

Para la validación del modelo, se realizó una formulación de escenarios a partir de la variación de parámetros de interés del modelo con el fin de hacer seguimiento al comportamiento del modelo y al tiempo de ejecución de este en la obtención de resultados. Los análisis respectivos se presentan a continuación:

Tabla 5. Variaciones de la modelación matemática.

Escenario	Tiempo de corrida [Min]	Profesores	Espacios	Materias	Días de la semana	Intervalos	Cantidad de Cohortes
Escenario 1	1	3	4	3	Lunes a Martes	7 a.m a 6 p.m	2
Escenario 2	1	4	4	4	Lunes a Martes	7 a.m a 6 p.m	3
Escenario 3	2	6	4	6	Lunes a Viernes	7 a.m a 6 p.m	4
Escenario 4	2	6	4	9	Lunes a Sábado	7 a.m a 6 p.m	4
Escenario 5	3	8	4	12	Lunes a Sábado	7 a.m a 6 p.m	5
Escenario 6	3	6	4	12	Lunes a Sábado	7 a.m a 6 p.m	5
Escenario 7	4	10	4	15	Lunes a Sábado	7 a.m a 6 p.m	6

Fuente: Autores.

En el escenario 1 se consideraron 3 profesores, 4 espacios y 3 materias las cuales debían ser asignadas de lunes a martes en un horario de 7 a 6 p.m. para el caso de la cohorte 2 del programa académico 1. El tiempo de corrida de dicho escenario fue de 1 minuto. Para el escenario 2 se mantuvieron algunas de las consideraciones anteriores, pero se aumentó el número de profesores y de materias a 4, en esta ocasión se programa para la cohorte 2 del programa académico 1. Estos dos escenarios ofrecen resultados coherentes con los parámetros y restricciones previamente contemplados en la modelación matemática, lo cual permite que se consideren como buenas soluciones para el caso simulado. En el momento de realizar un escenario 3 donde el número de docentes y materias sube a 6, el tiempo de corrida del modelo se incrementa a 2 minutos. Sin embargo, en un 4 escenario se aumenta el número de docentes a 9 y se conserva el mismo tiempo de corrida del escenario 3. Los resultados obtenidos hasta el momento de la simulación 4 son buenos, pues ofrecen datos consistentes a la programación esperada. En el escenario 7 se consideran 10 docentes y 15 asignaturas, para la cohorte 6 del programa académico 1, del cual se obtuvo un tiempo de corrida de 3 minutos. A partir de eso, se puede inferir que en la medida que se incrementen los recursos a programar, aumenta el tiempo de corrida del modelo. Sin embargo, el tiempo promedio en el modelo resuelve el problema es mínimo en comparación a la tarea realizada de manera manual.

Se hicieron diversos escenarios con el fin de identificar si el modelo cumplía con las restricciones a la hora de realizar las respectivas asignaciones, algunas de ellas como la asignación de la materia al profesor que le corresponde brindar según su disponibilidad horaria, la asignación del espacio de acuerdo con la capacidad de estudiantes demandada, el intervalo idóneo para programar la materia de acuerdo con el número de horas que se le asignan a esta, entre otras consideraciones.

4.2 RESULTADO DEL MODELO

Es relevante mencionar que la calendarización posibilita obtener múltiples y buenos resultados de manera rápida utilizando las características del ultimo escenario. De lo anterior, se obtiene la siguiente programación producto de la modelación matemática la cual cumple con las especificaciones dadas por los autores del presente escrito.

Tabla 6. Variación final de la calendarización.

Día	Hora	Salón	Asignatura	Profesor	Cohorte
Lunes	7-10 a.m.	Sótano 2	12	3	1
Lunes	10- 1 p.m.	Sótano 1	4	2	5
Lunes	7-10 a.m.	Salón 145	5	1	1
Lunes	2- 5 p.m.	Salón 145	14	4	3
Lunes	2-5 p.m.	Sótano 2	1	2	3
Martes	7-10 a.m.	Sótano 2	2	5	1
Martes	10-1 p.m.	Sótano 2	3	5	5
Martes	10-1 p.m.	Sótano 2	13	3	2
Martes	2-5 p.m.	Sótano 1		4	4
Miércoles	7-9 a.m.	Sótano 2	12	3	1
Miércoles	7 - 10 a.m.	Salón 175	10	6	2
Miércoles	3-6 p.m.	Sótano 2	14	4	3
Jueves	7 -10 a.m.	Sótano 1	11	8	4
Jueves	7 -10 a.m.	Sótano 2	6	7	3
Jueves	10-1 p.m.	Sótano 2	13	3	2
Viernes	7-10 a.m.	Sótano 2	7	9	7
Viernes	10 -1 p.m.	Sótano 2	8	9	5
Viernes	4-6 p.m.	Sótano 1	15	4	4
Sábado	7-10 a.m.	Sótano 2	9	10	7

Fuente: Autores.

De las restricciones consideradas para la modelación de la propuesta, se puede expresar que se cumplieron de manera eficiente, obteniendo que los docentes se asignaron a las materias correspondientes en su respectiva disponibilidad previamente establecida, sin presentar cruces de horarios ni múltiple asignación en una misma franja de tiempo y espacio, cada asignación cumple con el número de horas que requiere cada materia y no se asignaron intervalos de tiempo mayores a tres. La anterior asignación se encuentra acorde frente a la programación horaria pactada entre el docente y la sede en el momento de realizar la contratación. La capacidad del salón de clase se ajusta al número de estudiantes matriculados por asignatura, por tal razón se reconoce la consistencia a los resultados arrojados por

el modelo matemático para el proceso de calendarización. El tiempo de corrida de este escenario es superior a todos los demás, sin embargo, se entiende que el número de recursos también aumentó al momento de hacer la variación lo cual compensa los resultados obtenidos con el tiempo de ejecución.

Desde lo pedagógico, se puede establecer que no se está incumpliendo alguna restricción referente a la programación. Se respeta el lapso de la jornada diurna (7:00 a.m. – 6:00 p.m.), se da un espacio de almuerzo tanto para estudiantes como docentes y se cumple con la restricción que no permite programar una asignatura de corrida cuando esta tiene más de 3 horas. De igual forma, se garantiza la separación por intervalos y días durante la semana de clases.

Respecto al objetivo inicial de programar adecuadamente las clases y asignar los espacios de clase, se puede expresar que se cumple con este ya que ofrece resultados coherentes y prácticos a la hora de poner en marcha dicha programación. Los aspectos relevantes que distinguen la propuesta actual de otros trabajos de calendarización son: se consideró la asignación de salones y su capacidad según el número de estudiantes matriculados en cada materia, se tuvieron en cuenta la disponibilidad de los profesores según su tipo de contratación, se respetó y considero un intervalo de tiempo de 1:00 p.m. a 2:00 p.m. para la hora de almuerzo, tanto para docentes como estudiantes, por lo tanto no se programó ningún tipo de asignatura ni se reservó ningún espacio en este intervalo, se consideró una apertura semestral del programa académico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diagnóstico realizado en la Universidad del Valle sede Zarzal a través de encuestas a docentes y coordinadores de clase, permitió conocer la situación actual de esta en la asignación de horarios y salones de clase. De igual forma, las diferentes quejas de los docentes, registradas desde el año 2015 al 2020. Algunos aspectos relevantes que surgieron del proceso son las dificultades en la disponibilidad de los docentes debido al tipo de contratación que presentan la mayoría de ellos. Esto genera incertidumbre, puesto que la Secretaría Académica se debe ajustar a la disponibilidad de docentes que trabajan en dos y tres instituciones a la vez, es decir, debido a que presentan un contrato por horas, la Universidad no puede exigirles un horario determinado para su debido cumplimiento. Este aspecto no sólo afecta el tipo de calendarización que actualmente se realiza en la sede, sino que afecta cualquier proceso de asignación horaria manual o automatizada. En el caso actual, el modelo matemático es sensible a cambios de los parámetros: capacidad de los espacios y la disponibilidad horaria de los docentes, lo cual indica que se debe garantizar el verdadero cumplimiento de las restricciones si se espera efectividad en los resultados. Otro aspecto importante que se debe mencionar, es la manera en que se calendariza actualmente en la sede, hacerlo de manera manual requiere de días y semanas debido a la cantidad de recursos que se deben considerar (capacidad de los salones, disponibilidad del

docente, programas académicos, semestres, cantidad de estudiantes matriculados, asignaturas, docentes, entre otros). No existe una ruta o un lineamiento que indique el proceso de asignación de horarios y salones de clase. A futuro representa una problemática mayor en el momento que la persona que realiza la acción, abandone el cargo. Con base en lo anterior, se dice entonces que los aspectos sociales no se consideran en la programación y son los que inciden negativamente en el proceso, siendo estos: cambios repentinos de la disponibilidad horaria del docente, preferencia de espacios, tipo de vinculación del docente, entre otros. Cuando un docente solicita cambio de horario o de salón de clase, afecta toda la programación. Asimismo, sucede con los estudiantes que se han atrasado en asignaturas, estudiantes que laboran o asisten dos carreras al mismo tiempo, estos solicitan al docente correr su clase para evitar cruces entre materias del periodo académico anterior y del actual que iniciarán, ocasionando cambios e inconsistencias en el horario programado.

En cuanto al desarrollo del modelo matemático, es relevante mencionar que este se posibilita gracias a la revisión de la literatura acerca de la calendarización, ya que fue necesario identificar, comprender y conocer los métodos de solución en general; a la hora de abordar la problemática de asignación de horarios y salones de clases. Al ser este un problema NP-Complejo, requiere del estudio detallado de otros autores, enfoques y perspectivas para lograr consolidar una propuesta que mitigue la problemática identificada. Se tomó la Universidad del Valle sede Zarzal como referente para el caso de estudio, por tal razón se tuvieron en cuenta los parámetros básicos que se utilizan en la Secretaría Académica para la programación. Por otro lado, es importante precisar que en el momento de ejecutar la modelación matemática surgieron hallazgos importantes que no permitían encontrar resultados consistentes en la función de desempeño, tales como: cruce de horarios entre espacios asignados, asignación errada de días, materias y docentes. Sin embargo, fue necesario revisar el modelo y hacer correcciones de las restricciones hasta el punto de hacer consistente el modelo. La modelación se logra gracias a las diversas propuestas que han hecho otros autores acerca del tema en sus artículos científicos. Se encontraron resultados óptimos en las diferentes corridas, por lo que se puede decir que el modelo se ajusta a las necesidades de la institución y se puede tomar como herramienta de mejoramiento para el proceso de calendarización. Sin embargo, es necesario considerar que los resultados obtenidos en el primer proceso de calendarización para un programa académico se convierten en entradas del siguiente programa a calendarizar, es decir, en la medida que se asignan profesor, horarios y salones de clases, se convierten en limitaciones de recursos tales como la disponibilidad del docente, disponibilidad del salón de clase, entre otros factores para el proceso de calendarización del programa académico siguiente; es decir, considerar una estrategia de calendarización multi-etapa.

El modelo se evalúa a partir de un análisis de escenario el cual proporciona resultados y análisis de los resultados, tales como: las variaciones hechas en los diferentes escenarios dieron siempre resultados positivos de acuerdo a los

parámetros contemplados, de las variaciones hechas se observó que el tiempo de corrida aumenta en la medida que se incrementan los recursos a calendarizar, de igual modo, se evidenció que el modelo se ajusta a los parámetros de cada programa académico puesto que cumple con unas restricciones universales propias de un buen proceso de asignación de horarios y salones de clase, es decir, se aproxima a la realidad. Para lograr lo anterior, fue necesario validar que el modelo matemático esté funcionando de una manera correcta para ser utilizado como una herramienta que apoye la toma de decisiones frente a la asignación de horarios que se lleva en la sede. Desde la literatura se dice que los problemas de calendarización son considerados problemas difíciles de resolver a tal punto de que, en ocasiones, los algoritmos de solución no pueden ofrecer resultados óptimos. En este caso surge la necesidad de buscar heurísticas o metaheurísticas que ofrezcan soluciones aceptables. En el presente proyecto se obtuvieron soluciones óptimas a través del software comercial Gurobi Optimizer disponible en la plataforma de NEOS Server.

Como futura investigación es necesario considerar más de un programa académico en el momento de realizar el proceso de calendarización. De igual forma es importante tener en cuenta que el modelo matemático es sensible a los cambios repentinos que se den a petición de docentes o estudiantes. De igual forma, se recomienda evaluar el proceso de contratación semestral para los docentes que forman parte de la sede, dado que éste es un inconveniente encontrado en la modelación que se relaciona con la poca disponibilidad de los docentes. También, es necesario dar claridad que la modelación realizada se da bajo condiciones normales. No se consideran alteraciones del sistema como: solicitudes de cambios en la programación posterior a la calendarización realizada, medidas tomadas por pandemia u otro tipo de fenómenos naturales que puedan ocurrir y afecten el proceso, tiempos de desplazamiento entre una sede y la otra. De las limitaciones anteriormente descritas, se recomienda considerar el desplazamiento entre sedes para hacer más efectiva la calendarización.

Finalmente, se recomienda ampliar el problema de calendarización desde la aplicación de herramientas metaheurísticas que soporten problemas de naturaleza combinatoria y contribuyan a la automatización del proceso de calendarización en las Instituciones de Educación Superior.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelhalim, E. A., (2016). *A utilization-based genetic algorithm for solving the university timetabling problem (uga)*. Alexandria Engineering Journal.
- Abdullah, S., (2007). *Investigating Ahuja–Orlin’s large neighbourhood search approach for examination timetabling*.
- Ahmed, L. N., (2015). *Solving high school timetabling problems worldwide using selection hyper-heuristics*. Expert Systems with Applications.
- Alcarazuna, (2016), *Búsqueda Local iterada utilizando un hiperheurístico de agregar y eliminar para horarios de cursos universitarios*.
- Arbaoui, T., (2019). *Lower bounds and compact mathematical formulations for spacing soft constraints for university examination timetabling problems*. Computers & Operations Research.
- Assi, M., (2018). *Genetic algorithm analysis using the graph coloring method for solving the university timetable problem*. Procedia Computer Science.
- Babaei, H., (2015). *A survey of approaches for university course timetabling problem*. Computers & Industrial Engineering.
- Baquero, J., (2008). *Problema de asignación óptima de salones resuelto con búsqueda tabú*. Ingeniería y desarrollo.
- Botero, E. (2019). *Mejoramiento de la asignación de horarios y espacios para las asignaturas en un programa académico de una institución de educación superior*. Universidad del Valle.
- Burke, EK, (2006). *Razonamiento basado en casos de recuperación múltiple para problemas de asignación de horarios de clase*. Revista de la Operational Research Society.
- Canseco, A., (2016). *Aplicación de programación lineal para la asignación de horarios en una institución educativa mexicana*. Revista Ingeniería Industrial.
- Cruz, M. A., (2016). *Solving a Real Constraint Satisfaction Model for the University Course Timetabling Problem: A Case Study*. Mathematical Problems in Engineering.
- Daskalaki, S., (2004). *An integer programming formulation for a case study in university timetabling*. European Journal of Operational Research.
- Deris, S. B., (1997). *University timetabling by constraint-based reasoning: A case study*. Journal of the Operational research Society.
- Deris, S. B., (2000). *Timetable planning using the constraint-based reasoning*. Computers & Operations Research.
- Echeverry, J. (2020). *Secretaría Académica – Conversación Personal*. Universidad del Valle sede Zarzal.
- Fong, C. W., (2014). *A new hybrid imperialist swarm-based optimization algorithm for university timetabling problems*. Information Sciences.
- Granada., (2006). *Programación óptima de horarios de clase usando un algoritmo memético*. Scientia et technica.
- Guerra, M., (2016). *Problema del school timetabling y algoritmos genéticos: una revisión*.

Gülcü, A., (2020). *Problemas de asignación de horarios de clases robustos de cursos universitarios sujeto a interrupciones únicas y múltiples*. *European Journal of Operational Research*.

Hernández, R. (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*.

Hinkin, T., (2002). *SchedulExpert: Scheduling courses in the Cornell University school of hotel administration*. *Interfaces*.

Lemos, A., (2019). *Room usage optimization in timetabling: A case study at Universidade de Lisboa*. *Operations Research Perspectives*.

Lindahl, M. (2017). *Strategic, Tactical and Operational University Timetabling*.

Lindahl, M., (2018). *A fix-and-optimize matheuristic for university timetabling*. *Journal of Heuristics*.

Lindahl, M., (2019). *Quality recovering of university timetables*. *European Journal of Operational Research*.

Marín, (2016). *Modelo lineal para la programación de clases en una institución educativa*. *Ingeniería y Ciencia*.

Muklason, A., (2019). *Optimización automática del horario de los cursos mediante el algoritmo hiperheurístico basado en la búsqueda de vecindad variable de tabú*. *Procedia Computer Science*.

Orejuela. (2019). *Programación de horario escolar con multi-localización y preferencias docentes*. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*.

Phillips, A. E., (2017). *Integer programming for minimal perturbation problems in university course timetabling*. *Annals of Operations Research*.

Qualizza, A., (2004). *A column generation scheme for faculty timetabling*. In *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling* (pp. 161-173). Springer, Berlin, Heidelberg.

Schaerf, A., (1995). *Local search techniques for high school timetabling*. In *Proc. of the 1st Intl. Conf. on the Practice and Theory of Automated Timetabling*.

Schaerf, A., (1999). *Una encuesta de horarios automáticos*. *Artificial Intelligence Review*.

Schmidt, G., (1980). *Timetable construction—an annotated bibliography*. *The Computer Journal*.

Tamayo, S. C., (2010). *Alternativa para el proceso de planificación de horarios docentes de una Universidad*. *Ciencias Holguín*.

Tavakoli, M. M., (2020). *Proposing a novel heuristic algorithm for university course timetabling problem with the quality of courses rendered approach; a case study*. *Alexandria Engineering Journal*.

Thompson (2005). *Una encuesta de metodologías de búsqueda y enfoques automatizados para el examen de horarios*. *Informe Técnico de Ciencias de la Computación No. NOTTCS-TR-2006-4*, Reino Unido.

Torres Ovalle, C. (2013). *Programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias*. *Universidad de la Sabana*.

Trujillo, L., (2019). *Programación de horario escolar con multi-localización y preferencias docentes*. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*.

Universidad del Valle, (2020). Universidad del Valle Sede Zarzal. Zarzal Valle del Cauca.

Vrielink, R. O., (2019). *Practices in timetabling in higher education institutions: a systematic review*. Annals of operations research.

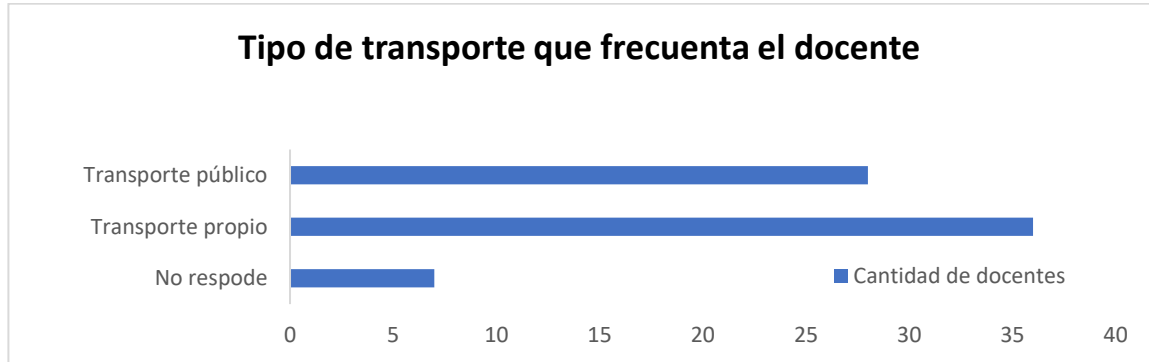
Wren, A., (1996). *Special Relationship? In the Practice and Theory of Automated Timetabling*.

Wu, L. (2015). *The application of Coarse-Grained Parallel Genetic Algorithm with Hadoop in University Intelligent Course-Timetabling System*. International Journal of Emerging Technologies in Learning.

Yazdani, M., (2017). *Algoritmi za probleme planiranja fakultetskih predavanja*. Tehnički vjesnik.

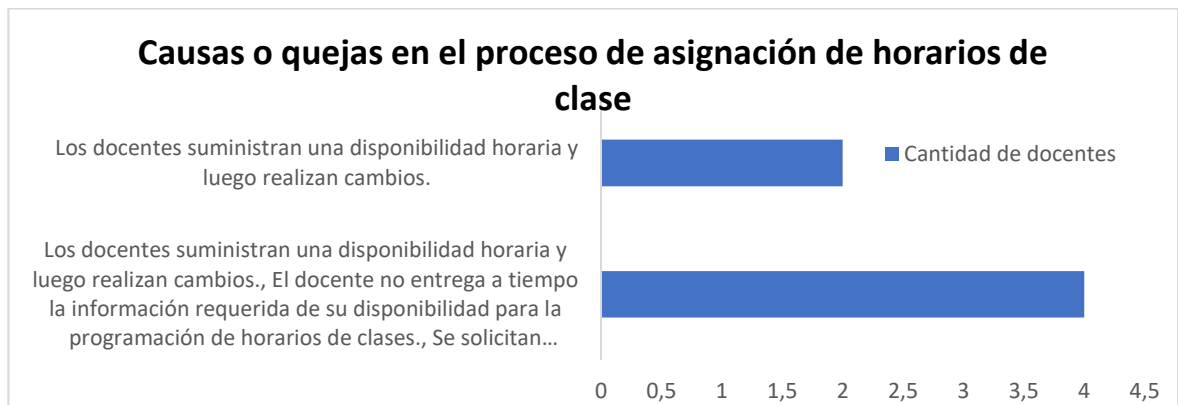
ANEXOS

Anexo 1. Tipo de transporte de los docentes de la sede.



Fuente: Autores.

Anexo 2. Causas o quejas del proceso de asignación de horarios de clase.

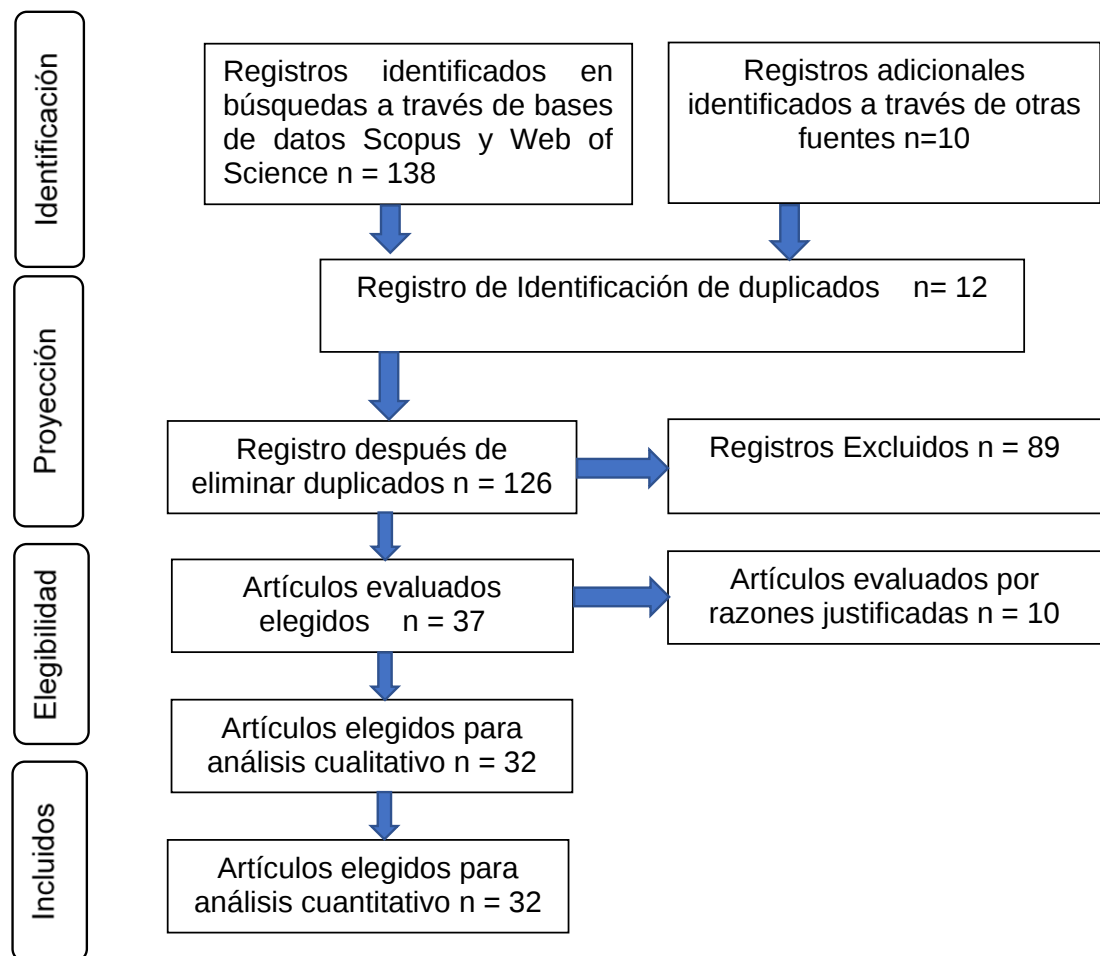


Fuente: Autores.

El siguiente diagrama de flujo Prisma, representa los procesos que se llevaron a cabo en el análisis de la literatura usando como herramienta principal, los criterios de inclusión y exclusión de la información previamente establecidos. Se hace una depuración iniciando con 138 Artículos en revisión y se finalizan con un total de 32 artículos que fundamentan la investigación.

Revisión de la literatura del problema de Calendarización

Anexo 3. Diagrama de Flujo Prisma - Calendarización.



Fuente: Autores.