



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN
Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGISTER EN ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA**

**TEMA: MODELO MATEMÁTICO PARA LA PROGRAMACIÓN DE
HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS EN LA UNIVERSIDAD DE
LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

AUTORAS: HIDALGO ZURITA, MARTHA XIMENA

VÁSCONEZ ESPINOZA, CUMANDÁ DEL ROCÍO

DIRECTOR: MEDINA VÁSQUEZ, PAUL LEONARDO. PhD

SANGOLQUÍ

2018



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación **“MODELO MATEMÁTICO PARA LA PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS EN LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE”** fue realizado por las señoras **Hidalgo Zurita, Martha Ximena y Vásquez Espinoza, Cumandá del Rocío** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 30 de junio de 2018

Firma:

Phd. Paúl Leonardo Medina Vásquez

CC: 1712227295



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, **Hidalgo Zurita, Martha Ximena con cedula de ciudadanía 1706919105** y **Vásconez Espinoza, Cumandá del Rocío con cédula de ciudadanía 0602202715**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Modelo Matemático para la Programación de Horarios y asignación de aulas en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación es veraz.

Sangolquí, 30 de junio de 2018

Firmas:

Martha Ximena Hidalgo Zurita.

C.C. 1706919105

Cumandá R. Vásconez Espinoza.

C.C. 0602202715



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Nosotras, **Hidalgo Zurita, Martha Ximena y Vásconez Espinoza, Cumandá del Rocío**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Modelo Matemático para la Programación de Horarios y asignación de aulas en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 30 de junio de 2018

Firmas:

Martha Ximena Hidalgo Zurita.

C.C. 1706919105

Cumandá R. Vásconez Espinoza.

C.C. 0602202715

DEDICATORIA

A mi hijas, Evelyn y Anita, por ser siempre el motor que impulsa mi vida.

A la memoria de mi hija Stephy Alejandra.

AGRADECIMIENTO

Al Ph.D. Paúl Medina Vásquez, cuyo valioso tiempo y vasta experiencia compartió con nosotras en el desarrollo de este trabajo.

A la Mgs. Lucía Jimenez Tacuri, por su apoyo incondicional.

Índice

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
1. EL PROBLEMA	4
1.1. Antecedentes	5
1.2. Planteamiento del Problema	7
1.3. Solución Propuesta	8
1.3.1. Objetivos	9
2. ESTADO DEL ARTE Y SITUACIÓN ACTUAL	11
2.1. Estado del Arte	11
2.1.1. Métodos Tradicionales:	12

2.1.2. Métodos No Tradicionales:	13
2.2. Situación Actual	17
3. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA	38
3.1. Modalidad de la investigación	38
3.2. Fundamentación Conceptual	39
3.3. Fundamentación teórica	40
3.3.1. Bases teóricas - Modelo matemático	41
3.4. Diseño de la investigación	46
3.4.1. Primera Etapa	46
3.4.2. Segunda Etapa	56
3.4.3. Criterios de programación	62
3.4.4. Subetapas para la programación de horarios y asignación de aulas.	70
4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	73
4.1. Análisis de los resultados	73
4.1.1. Resultados Objetivo 1.	73
4.1.2. Resultados Objetivo 2.	77
4.1.3. Resultados Objetivo 3.	79
4.2. Discusión de los resultados	85
4.2.1. Número de paralelos	86
4.2.2. Uso de aulas.	87

	viii
4.2.3. Horario de Grupos de Estudiantes	88
4.2.4. Horario de docentes.	90
4.2.5. Bloques Horarios	95
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
5.1. Conclusiones	97
5.2. Recomendaciones	99
5.3. Trabajos a Futuro	100
ANEXOS	101
BIBLIOGRAFÍA	102

Índice de Tablas

1.	Número asignaturas y créditos totales de cada carrera	20
2.	Número de créditos, asignaturas y porcentajes.	21
3.	Número de docentes de acuerdo a Departamento que pertenecen	23
4.	Número de docentes TC y TP de acuerdo al Departamento al que pertenecen	23
5.	Docentes según número de asignaturas y paralelos que imparten	26
6.	Numérico de estudiantes matriculados por Departamento	32
7.	Número de Aulas por bloque y características	34
8.	No. de Aulas y Bloques utilizados por Departamento, Oct/15 Feb/16	37
9.	Índice h para representación de carreras y niveles	47
10.	Distribución de Bloques y Pisos a Carreras	56
11.	Carreras que tienen niveles con más de 30 créditos	63
12.	Porcentaje de uso de aulas, Bloques A y B	75
13.	Porcentaje de uso de aulas, Bloques C y D	76
14.	Número de aulas requeridas en la mañana, según modelo	82
15.	Número de aulas requeridas en la tarde, según modelo	83
16.	Bloques y número de aulas usadas, antes y después de la aplicación del modelo	87

Índice de Figuras

1.	Malla curricular de la Carrera de Ingeniería Civil.	19
2.	Porcentajes de asignaturas según número créditos.	22
3.	Total de docentes de acuerdo a Departamento.	24
4.	Docentes Tiempo Completo.	24
5.	Docentes Tiempo Parcial.	25
6.	Número de Docentes vs. número de paralelos.	25
7.	Docentes vs. paralelos - una asignatura.	27
8.	Bloques horarios para asignaturas de 2 créditos.	28
9.	Bloques horarios para asignaturas de 4 créditos.	28
10.	Otros bloques horarios para asignaturas de 4 créditos.	29
11.	Franjas horarias distintas – 2 días.	29
12.	Bloques horarios – asignaturas 6 créditos.	30
13.	Ejemplo Bloque horario – bandas distintas.	30
14.	Ejemplo Bloque horario – asignaturas 3 créditos.	30
15.	Ejemplo Bloque horario – asignaturas 5 créditos.	31
16.	Estudiantes matriculados en Pregrado y en Nivelación.	33
17.	Ejemplos de subutilización de aulas.	36
18.	Matriz-Semestre.	48
19.	Matriz-Asignatura.	49

20.	Matriz-Asignatura-Docente.	50
21.	Matriz-Docente-Asignatura, inicio de proceso.	50
22.	Matriz-Docente-Asignatura, final de proceso.	51
23.	Horario Final Carreras, al inicio del proceso.	51
24.	Horario Final Carreras, al final del proceso.	52
25.	Diagrama de Flujo - Etapa 1.	55
26.	Ejemplo del detalle de aulas correspondiente al Bloque C.	57
27.	Horario Final Aulas.	58
28.	Propuesta Horario Cero.	59
29.	Diagrama de Flujo - Etapa 2.	61
30.	Bloques horarios - asignaturas 4 créditos.	65
31.	Bloques horarios - asignaturas 6 créditos.	66
32.	Ejemplo nivel con 4 asignaturas de 6 créditos.	66
33.	Ejemplo Nivel con asignaturas de 3 y 5 créditos.	67
34.	Ejemplo de aula compartida.	69
35.	Ejemplo 1 - Horario obtenido en Etapa 1.	78
36.	Ejemplo 2 - Horario obtenido en Etapa 1.	79
37.	Ejemplo 1 Aulas-v0.	80
38.	Ejemplo 2 Aulas-v0.	81
39.	Ejemplo 3 Aulas-v0.	81
40.	Ejemplo 4 Aulas-v0.	82

41.	Ejemplo 1 Aulas-v1.	84
42.	Ejemplo 2 Aulas-v1.	84
43.	Ejemplo 3 Aulas-v1.	85
44.	Horario de grupos de estudiantes.	88
45.	Horas Huecas en horario estudiantes.	89
46.	Ejemplos Horarios con 2 horas en un día.	90
47.	Ejemplo Horario de Docente TC antes y después del modelo.	91
48.	Ejemplo 1 - Horario de Docente TP, mejorado.	92
49.	Ejemplo 2 - Horario de Docente TP, mejorado.	92
50.	Ejemplo 3 - Horario de Docente TP, mejorado.	93
51.	Ejemplo de Docentes TP, con dispersión horaria.	93
52.	Ejemplo de Docentes TP con horario sin modificación.	94
53.	Bloques horarios antes y después de la aplicación del modelo.	96

RESUMEN

La generación de horarios y asignación de aulas en Instituciones Educativas se presenta al inicio de cada período académico y conlleva un trabajo complejo puesto que intervienen muchas restricciones y limitaciones que deben ser consideradas de acuerdo a la situación particular de cada Institución. La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE no es ajena a este tipo de problemas, actualmente ésta tarea se realiza en forma manual en cada uno de los Departamentos y los encargados, generalmente, son el planificador y los coordinadores de área, lo que genera inconvenientes pues no suele existir una adecuada coordinación entre ellos, ocasionando, que puedan existir cruces de horarios y aulas, esto repercute de manera significativa en el aprovechamiento de los recursos físicos y humanos de la Institución, influyendo negativamente en el desempeño de estudiantes y docentes. Por lo expuesto, este trabajo de investigación propone una solución al problema de programación de horarios y la distribución adecuada de las aulas de clase, para los diferentes grupos de cada una de las carreras de pregrado de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, matriz, modalidad presencial, para lo cual se desarrolla una heurística que lleva a una solución técnica factible. Se propone una metodología, basada en técnicas como, programación Lineal Entera, Búsqueda Tabú y Gestión del Conocimiento, que cumple con las necesidades y requerimientos de la Institución.

PALABRAS CLAVE:

- **GENERACIÓN DE HORARIOS**
- **ASIGNACIÓN DE AULAS**
- **PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA**
- **BÚSQUEDA TABÚ**

ABSTRACT

In order for Education Centers to be well-organized, they must be provided with schedules and classrooms distribution at the beginning of every academic period. This requires a hard work to be done because there are so many restrictions and limitations to be considered for every Education Center. Currently, the University of Army - ESPE, faces this issue assigning schedules and distributing classrooms manually by the planner and the field of knowledge coordinators in every Department. Nevertheless, this can be a disadvantage if there is a lack of coordination between the people in charge. For instance, some classrooms could be due for more than one course, or even some professors are registered in two classes at once. This has a significant impact on the use of physical and human resources of the Institution. Therefore, this research proposes a solution for the problem of managing schedules and distributing classrooms for the undergraduate on-site programs of the University of Army - ESPE by developing an achievable technical solution, which meets the needs and requirements of the Institution, based on techniques such as Integer Linear Programming, Tabu Search and Knowledge Management.

KEY WORDS:

- **TIMETABLING**
- **ASSIGNMENT OF CLASSROOMS**
- **ENTIRE LINEAR PROGRAMMING**
- **TABU SEARCH**

INTRODUCCIÓN

La generación de horarios y asignación de aulas en instituciones educativas se presenta al inicio de cada período académico y conlleva un trabajo complejo, puesto que intervienen muchas restricciones y limitaciones que deben ser consideradas de acuerdo a la situación particular de cada Institución. Como lo menciona Mejia [23]

“... las Instituciones Académicas han presentado dificultades para resolver problemas de asignación de horarios de clases a diversos recursos (fijos y variables), como, por ejemplo: profesores, alumnos, asignaturas, salones, etc., a este problema se le conoce con el nombre de timetabling y su complejidad está directamente relacionada con las restricciones asociadas a estos recursos”.

Algunos de los inconvenientes que se presentan al resolver este tipo de problemas de *timetabling*¹ son: cruces de horarios entre cursos del mismo nivel o semestre, cruces entre cursos dictados por un mismo profesor, cruces de aulas entre dos o más cursos y una mala distribución de las aulas de acuerdo a la capacidad de las mismas para el número de estudiantes matriculados en un curso determinado.

Existe una gran cantidad y variedad de trabajos relacionados que buscan, a través de distintas técnicas, dar una posible solución. Así, las técnicas tradicionales o exactas, buscan todas las soluciones posibles y determinan la óptima, pero son aplicables a problemas con un número restringido de variables involucradas; y las no tradicionales, también llamadas heurísticas y metaheurísticas, que no encuentran todas las soluciones posibles, pero buscan soluciones cercanas a la óptima en tiempos relativamente cortos.

Algunas de éstas técnicas están implementadas en diferentes lenguajes de programación y se las pueden encontrar en el mercado como software libre. Sin embargo, los modelos matemáticos planteados e implementados mediante el uso de programas computacionales son útiles si se trata

¹El timetabling consiste en definir dónde y cuándo las personas y los recursos deben estar en un instante dado.

de optimizar el tiempo de programación, pero “. . . *no brindan una solución completa al problema, dado que el conocimiento tácito desaparece cada vez que rota el personal que lidera el proceso de programación de horarios de las instituciones de educación superior*” [13].

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, no es ajena a este tipo de problemas y considerando que estos se mantienen en constante investigación, ya que no tienen un planteamiento único; en el presente trabajo se identifican los problemas de programación de horarios y asignación de aulas, de cada una de las carreras de la Universidad, y se desarrolla una heurística que permite encontrar una solución factible para el problema de distribución de horarios y aulas en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

La solución que se propone en este trabajo consta de dos etapas; en la primera, se desarrolla un algoritmo que da solución a la programación de horarios para cada una de las carreras de la Universidad, con asignación simultánea de docentes. En la segunda etapa, previamente asignado el bloque de aulas a cada carrera y tomando como insumo el resultado de la etapa anterior, se distribuye y asigna de manera óptima, las aulas para los diferentes grupos. Cabe indicar que en esta etapa por “óptimo” se considera la disminución de aulas que están parcialmente ocupadas, redistribuyendo las actividades previamente asignadas.

Finalmente, considerando que el contexto de éste trabajo pertenece al área de optimización y que el mismo puede ser implementado en diferentes lenguajes de programación, cabe mencionar que el producto final del mismo no podría ser construido con la cantidad de matemáticas que habitualmente recibe en su carrera un estudiante de ingeniería en software o ingeniería en sistemas, así pues recalcamos el aporte significativo de la complementación y actualización de los conocimientos adquiridos en la Maestría de la Enseñanza de la Matemática (MEMAT).

En virtud de lo expuesto, este trabajo se desarrolla de la siguiente manera: en el Capítulo 1, se presenta el planteamiento y la solución propuesta del problema a resolver; y, se establecen las interrogantes que conducen esta investigación.

En el Capítulo 2, se exponen algunos trabajos relacionados con este tipo de problemas, a nivel mundial y nacional; y, se analiza la información existente respecto a la situación actual de la

distribución de aulas y programación de horarios, tomando como referencia la información de los períodos octubre 2015 – febrero 2016, abril 2016 – agosto 2016 y octubre 2016 – febrero 2017.

En el Capítulo 3, se describe la metodología utilizada para desarrollar los algoritmos que dan solución al problema, en cada una de las etapas. Para cada una de ellas se presenta la descripción de datos de entrada y de salida. Se exponen, además, los criterios de programación adoptados, y las subetapas de realización de esta programación de horarios y asignación de aulas.

En el Capítulo 4, se hace un análisis y discusión de los resultados obtenidos de acuerdo a los objetivos y preguntas de investigación planteadas.

Finalmente, en el Capítulo 5, se presentan las conclusiones, recomendaciones y trabajos a futuro.

Capítulo 1

1. EL PROBLEMA

La generación de horarios y asignación de aulas en Instituciones Educativas se presenta al inicio de cada período académico y conlleva un trabajo complejo, pues intervienen muchas restricciones y limitaciones que deben ser consideradas de acuerdo a la situación particular de cada Institución. De hecho, Hernández, R. [16] sostiene que:

“La programación de los horarios de clases y asignación de salas se vuelve en este contexto una tarea compleja, lo que genera la necesidad de buscar metodologías basadas en técnicas de optimización para la resolución de este problema”.

A la par de lo manifestado por Hernandez, en la Internet, si se usa la palabra clave *timetabling* como criterio de búsqueda se obtienen aproximadamente 796 000 resultados y restringiendo la búsqueda a *timetabling problem* se tienen 323 000 resultados; aún más, si la consulta es de *University timetabling* los resultados arrojados son cerca de 306 000, es decir, la cantidad y variedad de trabajos relacionados es enorme a nivel mundial.

A nivel nacional muchas instituciones de educación superior tienen trabajos de tesis que intentan resolver el problema de University timetabling; sin embargo, no existen trabajos similares o complementarios al propuesto, en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Por lo tanto, la presente investigación propone, en una primera etapa, dar solución al problema de horarios mediante el desarrollo de un algoritmo que organice, considerando el cumplimiento de restricciones comunes a este tipo de problemas y a condiciones requeridas por la Institución, las clases de cada una de las asignaturas y los docentes de cada grupo para los diferentes niveles de cada una de las carreras. En una segunda etapa, se asignan las aulas a cada uno de los grupos programados, en base al resultado obtenido luego de aplicar el algoritmo.

La distribución se realiza considerando los distintos edificios de aulas y pisos, asignados de acuerdo a criterios de movilidad, capacidad de aulas y cercanía a las oficinas académicas de cada carrera.

1.1. Antecedentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE es una institución de educación superior con 95 años de vida institucional; enmarcada en el quehacer académico, de investigación y vinculación con la colectividad. La Matriz se encuentra ubicada en Sangolquí, Cantón Rumiñahui, de la Provincia de Pichincha y tiene extensiones en Latacunga, Salinas, Guayaquil, Santo Domingo de los Tsáchilas y Galápagos².

Actualmente está estructurada en Departamentos y Programas de Carrera³. Consta de 10 departamentos con 13 carreras de ingeniería y 2 carreras de licenciatura, las cuales tienen una duración de 9 semestres, o niveles de referencia, a excepción de la Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física Deporte y Recreación (CAFDER) que tiene 8. La organización departamental y de carreras, tiene la siguiente estructura:

1. Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DECEM)

- Ingeniería Mecánica
- Ingeniería Mecatrónica

2. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción (DECTC)

- Ingeniería Civil
- Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

3. Departamento de Ciencias de la Vida (DECV)

- Ingeniería en Biotecnología

²Estatuto-UFA aprobada por ESPE-HCU-RES-2015-033. Art. 1 y Art. 2 [6]

³Reglamento Orgánico ESPE, Título IV, Cap. 1, Art.1

4. Departamento de Eléctrica y Electrónica (DEEE)
 - Ingeniería Electrónica en Control y Automatización
 - Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones
5. Departamento de Ciencias de la Computación (DECC)
 - Ingeniería en Sistemas
6. Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio (CEAC)
 - Ingeniería Comercial
 - Ingeniería en Mercadotecnia
 - Ingeniería en Finanzas y Auditoría
 - Ingeniería en Comercio Exterior y Negociación Internacional
 - Ingeniería en Administración Turística y Hotelera
7. Departamento de Ciencias Humanas y Sociales (DECHS)
 - Licenciatura en Ciencias de la Actividad Física, Deportes y Recreación
 - Licenciatura en Educación Infantil

Cabe indicar que los Departamentos de Lenguas, Ciencias Exactas (DECE) y, Seguridad y Defensa (DESD), por el momento, no cuentan con carreras propias pero prestan apoyo y servicio a todos los demás, pues son actividades transversales. A más de lo señalado los Departamentos CEAC, DECHS y DECC ofertan cursos de apoyo, o que son requeridos por las distintas carreras, durante todo el día.

La Universidad posee 6 bloques (edificios) de aulas, denominados A, B, C, D, G y H. Los Bloques denominados A, B, C y D son edificios de aulas de cuatro pisos y se utilizan para dictar las clases teóricas, con un total de 193 aulas, las cuales están compartidas por todos los grupos de todas las carreras. Los Bloques G y H, también de cuatro pisos, son edificios destinados para laboratorios especializados de computación. Adicionalmente existen bloques de aulas destinadas

para el Instituto de Idiomas y para la carrera CAFDER, con 7 y 9 aulas respectivamente. Se cuenta también con laboratorios especializados del DEEE, DECEM, DECV, DECTC y DECE.

1.2. Planteamiento del Problema

En los problemas de tipo *Timetabling*, de forma estándar, se deben considerar dos tipos de condiciones, duras y suaves. Las condiciones duras, se deben cumplir de manera obligatoria y las suaves no necesariamente, pero ayudan a delimitar el problema.

A pesar de la gran variedad de estudios relacionados con *Timetabling*, existe una amplia coincidencia en el tipo de restricciones, duras y suaves, que se deben considerar; así, de manera particular Silva & Valencia [35], en su estudio presentan algunas de ellas y que para ejemplificar, a continuación, escribimos las que a nuestro criterio son las más relevantes.

- Todas las asignaturas deben estar asignadas a algún profesor,
- Todos los profesores deben estar asignados a al menos una asignatura,
- Ningún profesor debe estar asignado a más de una clase al mismo tiempo,
- Ningún profesor debe estar asignado a clases en horas en las que no está disponible (profesores medio tiempo o tiempo parcial),
- Ningún grupo debe recibir más de una clase al mismo tiempo,
- La capacidad de aulas asignadas a las clases debe ser igual o mayor que el número de estudiantes,
- Una clase solo puede asignarse a una aula si está disponible,
- Ningún estudiante o grupo de estudiantes puede atender más que x clases en un día,
- Un estudiante no debe tener solo una clase en un día,
- Si una clase se lleva a cabo más de una vez a la semana siempre habrá por lo menos un día en medio,

- Todas las clases del mismo grupo de estudiantes deben ser calendarizadas en la misma aula,
- etc.

En la Institución, la programación de horarios y distribución de aulas de clases se realiza actualmente en forma manual por el planificador y los coordinadores de área de cada Departamento, generalmente, sin una adecuada coordinación entre ellos. Este hecho provoca que se presenten inconvenientes respecto al cumplimiento de condiciones y requerimientos. Así, la distribución actual de aulas provoca que exista una gran movilidad tanto de docentes como de estudiantes que tienen que trasladarse de un piso a otro, en el mejor de los casos, o de un bloque a otro. Esto a más de la pérdida de tiempo evidencia una inadecuada distribución que afecta significativamente a las actividades académicas. Por tal motivo, la optimización o mejora a la actual distribución será el objetivo de este trabajo.

1.3. Solución Propuesta

Esta investigación realiza un análisis de los datos relacionados a horarios de los tres períodos anteriores, correspondientes a: octubre 2015 - febrero 2016, abril 2016 - agosto 2016 y octubre 2016 - febrero 2017, con el objeto de identificar los problemas que tiene la Institución, en cuanto a la distribución de aulas. Se propone, en una primera etapa, dar solución al problema de horarios mediante el desarrollo de un algoritmo que organice, considerando el cumplimiento de restricciones comunes a este tipo de problemas y a condiciones requeridas por la Institución, las clases de cada una de las asignaturas y los docentes de cada grupo, para los diferentes niveles de cada una de las carreras. En una segunda etapa, se asignan las aulas a cada uno de los grupos programados, en base al resultado obtenido luego de aplicar el algoritmo.

1.3.1. Objetivos

A. Objetivo General

Desarrollar un método heurístico que cumpla con las necesidades y requerimientos de la Institución, para obtener la programación de horarios y distribución más adecuada de aulas.

B. Objetivos Específicos

- Identificar los problemas que tiene la Institución, en cuanto a la distribución de aulas,
- Desarrollar un algoritmo que proporcione una solución al problema de programación de horarios de cada nivel de las diferentes carreras de la Universidad,
- Distribuir y asignar de manera adecuada las aulas de la Universidad, en base al resultado de la aplicación del algoritmo planteado.

Para cumplir con éstos objetivos, las principales interrogantes que resuelve este trabajo de investigación son:

- ¿Se puede desarrollar una nueva metodología, que resuelva el problema de generación de horarios y que cumpla las restricciones y necesidades requeridas por la Institución?.
- ¿Se puede distribuir, en forma óptima, las aulas de los diferentes bloques y pisos, para cada una de las carreras de la Institución, que mejore la situación actual?.

Este trabajo de investigación plantea resolver el problema de programación de horarios para todas las asignaturas de las mallas curriculares de cada una de las carreras de la Universidad de la Fuerzas Armadas – ESPE, matriz, modalidad presencial y la asignación de aulas destinadas a clases teóricas, en los bloques A, B, C y D; sin embargo, será responsabilidad de las personas encargadas de los laboratorios especializados la asignación adecuada de aulas para asignaturas que requieran de estos. El Instituto de Idiomas y la carrera CAFDER, poseen sus propias instalaciones por lo que tampoco son consideradas en este trabajo.

En resumen esta investigación desarrollará un algoritmo que resuelve el problema de programación de horarios y como resultado final de la aplicación del algoritmo se obtendrá una propuesta de horario que cumplirá las restricciones duras y, suaves, optimizando el espacio físico. No se incluye, sin embargo, la implementación del mismo mediante un software.

Capítulo 2

2. ESTADO DEL ARTE Y SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Estado del Arte

El problema de asignación de recursos se presenta en diferentes campos donde se requiere obtener soluciones eficientes que procuren mejorar los procesos de trabajo, con el objetivo de incrementar el rendimiento y productividad. Así, existe una amplia investigación en los problemas tipo *scheduling*⁴ o *timetabling*.

Los primeros pretenden la planificación de acciones que requieren el uso de ciertos recursos (tiempo, maquinaria, personal, etc.). Los segundos, dependiendo el campo de aplicación se suelen dividir en High-School, University o Examination timetabling.

El presente trabajo, en principio, tendrá componentes de los dos tipos, pues por un lado se debe decidir sobre la asignación de las distintas salas (recursos) y; por otro, se debe decidir el horario de las distintas clases.

Esta complejidad obliga a revisar los distintos tipos de metodologías que resuelven esta clase de problemas. De forma general clasificaremos en técnicas tradicionales o exactas, que buscan todas las soluciones posibles y determinan la óptima, pero son aplicables a problemas con un número restringido de variables involucradas; y las no tradicionales conocidas también como heurísticas y meta heurísticas que, de acuerdo a Miranda [26], buscan aproximar la solución óptima del problema. Estos métodos, a diferencia de los exactos, no encuentran todas las soluciones posibles, pero arrojan soluciones cercanas a la óptima en tiempos relativamente cortos [2].

⁴El diseño de calendarios o scheduling consiste en asignar un número de eventos a un número limitado de recursos, sujeto a restricciones. Gonzalez [12]

2.1.1. Métodos Tradicionales:

Dentro de las técnicas tradicionales o exactas las de más amplia aplicación o estudio están la programación lineal entera y coloración de grafos. De ninguna manera estas son las únicas o las principales, simplemente por el tipo de aplicación, las hemos seleccionado y a continuación las resumiremos.

A. Programación Lineal Entera

George B. Dantsig desarrolla, a partir de la Segunda Guerra Mundial, la programación lineal entera (PLE) como un “*modelo matemático para resolver problemas de asignación de recursos entre distintas actividades*” [33].

La Programación Lineal, es una técnica que se aplica a situaciones de optimización de funciones lineales, denominadas funciones objetivo, mismas que están sujetas a restricciones expresadas mediante inecuaciones lineales. Si las variables de decisión toman valores enteros estos problemas se conocen como problemas de programación lineal entera.

Según Mateo & Lahoz [21], “*Los problemas de programación lineal entera (PLE) son problemas del tipo $\max / \min Z = AX = B$, con $x > 0$, pero en los que algunas variables están restringidas a tomar valores enteros*”.

En lo relacionado al presente trabajo y por la similitud de objetivos podemos citar los trabajos de Saldaña et al [34] y Hernandez, R. [16].

El primero, presenta dos modelos de programación lineal entera aplicados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción, Chile. Formula estrategias de solución cuya función objetivo es la de minimizar la asignación de clases en “períodos no deseados”. Implementa los modelos en Microsoft Visual C ++ 6.0 usando librerías de Programación Lineal Entera ILOG CPLEX 9.0. De manera similar, el segundo presenta la implementación y comparación de tres metodologías basadas en modelos de optimización de programación lineal entera, para resolver el problema de calendarización de clases y asignación de salas en la Universidad Diego Portales de

Chile. Otros autores como Ojeda [28], Wolf [37] y Morales [27] presentan trabajos relacionados a la calendarización utilizando esta técnica.

B. Coloración de Grafos

Francis Guthrie en 1852 postuló la conjetura de los cuatro colores, mientras intentaba colorear el mapa de Inglaterra, pero recién en 1976 es resuelta por Kenneth Appel y Wolfgang Haken, dando inicio a la Teoría de Grafos, que entre otras aplicaciones, resuelve problemas de asignación de tareas y problemas de almacenamiento [30].

Según Delgado & Hernandez [7], “*Una coloración de un grafo $G = (V, A)$ es una asignación de colores a los vértices de G , a cada vértice un color, de forma que vértices adyacentes reciban colores distintos*”. En ésta técnica cada vértice representaría un evento o un recurso. El autor aplica esta técnica a la programación de horarios de las conferencias de una jornada científica, de una institución educativa, y a la coloración de mapas.

Por otro lado, Flores [10], desarrolla un modelo basado en la técnica de coloración de grafos para resolver el problema de planificación de horarios de clases en colegios, y ejecuta un modelo matemático con el Software GAMS en la ESPOL.

2.1.2. Métodos No Tradicionales:

Los métodos que buscan aproximar una solución están dados por las heurísticas y meta heurísticas, usadas para resolver problemas de optimización combinatoria multiobjetivo, tales como algoritmos genéticos, algoritmos evolutivos, algoritmos voraces, búsqueda tabú, colonia de hormigas, redes neuronales, recocido simulado, entre otras. Algunas de las citadas están implementadas en diferentes lenguajes de programación y se las pueden encontrar en el mercado como software libre.

Los métodos heurísticos, “... del griego *heuriskein*, significa descubrir, encontrar e indagar en documentos o fuentes históricas, la información necesaria para procesos investigativos y la resolución de problemas en diversos ámbitos científicos, ...”, (Polanyi, 1994, citado en Londoño et al [19]); es decir, los modelos heurísticos son estrategias utilizadas para resolver problemas, que

se basan en conocimientos y experiencias anteriores de situaciones similares que se toman como punto de partida para obtener nuevas y mejores soluciones.

El término Meta heurística, introducido por Fred Glover en 1986, combina el prefijo griego meta que significa más allá y la palabra heurística, por lo tanto, es un “... *método heurístico que busca resolver problemas computacionales de tipo general a partir de parámetros dados por el usuario y que generalmente se aplican cuando no se encuentran soluciones satisfactorias a través de una heurística o cuando esta no es posible de implementar*” [31]. A la luz de lo indicado, a continuación expondremos de manera sucinta los métodos que más se ha trabajado en afinidad a la presente investigación.

A. Algoritmos Evolutivos

Los algoritmos evolutivos trabajan con un conjunto de posibles soluciones, las que se someten a transformaciones, que dan como resultado nuevos y mejores elementos que después de un proceso de selección forman otras generaciones de individuos dentro de los que se espera obtener los mejores.

Mejía & Paternina [22], aplican algoritmos evolutivos para resolver el problema de asignación de horarios de clases universitarias y aulas del programa de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la Guajira, Colombia.

Pitol [29], presenta una solución computacional basada en algoritmos evolutivos, al problema de asignación de horarios en la Facultad de Psicología de la Universidad Veracruzana.

Barreto & López [3], implementan el método SOLU para la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, como una mejora del método heurístico BINGO propuesto anteriormente en la misma Institución. Hacen uso de algoritmos evolutivos y lo implementan en lenguaje Java y otros.

Mera [25], formula un método de optimización combinatoria basado en un algoritmo evolutivo para el sistema de generación de horarios de colegios (SGHC) respondiendo a las necesidades que con frecuencia se presentan en colegios. Lo implementa en Borland delphi V4.03, con datos de un colegio nocturno del país.

B. Algoritmos Genéticos

Los algoritmos genéticos, introducidos por John Holland en 1960, son métodos usados para la búsqueda de soluciones a problemas complejos de optimización, se inspiran en la evolución biológica y selección natural.

Así, Cancelo et al [5], proponen la implementación de un modelo de optimización llamado GDARIM para la asignación de aulas y recursos de la Universidad de Palermo, Buenos Aires - Argentina, mediante algoritmos genéticos multi-objetivo.

Guerra et al [14], describen el problema de School Timetabling, hacen un cuadro comparativo de diferentes metas heurísticas, y eligen la técnica Algoritmos Genéticos para dar solución a este tipo de problemas.

Hernandez, S. et al [15], diseñan un modelo basado en algoritmos genéticos que optimiza la utilización de aulas, en la Universidad Nacional de la Patagonia Austral, de acuerdo a la capacidad de las mismas para el número de estudiantes matriculados en un curso determinado, evitando desperdicios de los recursos de la Institución. La implementación de este modelo lo hacen en entorno Matlab.

Johnston [18], propone un modelo general para resolver el problema de asignación de carga horaria académica (ACA) en instituciones de educación superior, mediante el uso de algoritmos genéticos, e implementa un prototipo computacional en el Instituto Técnico de Nuevo Laredo.

C. Colonia de Hormigas

La optimización basada en colonia de hormigas (Ant colony optimization - ACO), desarrollada inicialmente por Marco Dorigo en 1997 y aplicada al problema del agente viajero, está inspirada en la habilidad que tienen éstos insectos para encontrar las rutas más convenientes entre el hormiguero y los lugares donde se encuentra la comida. En el trayecto las hormigas dejan una sustancia química llamada feromona, si éstas no perciben su olor, toman un camino de manera aleatoria, pero cuando encuentran rastro de ésta eligen seguir la ruta marcada con una concentración mayor de feromona [32].

Según Dorigo et al [8], “... *las hormigas han inspirado una serie de métodos y técnicas entre las cuales la más estudiada y la más exitosa es la técnica de optimización de propósito general conocida como optimización de colonia de hormigas*”.

Menendez [24], describe aspectos teóricos de la metaheurística Colonia de Hormigas y sus variantes algorítmicas como sistema de hormigas Max-Min, sistema de hormigas con ordenación, sistema Mejor – Peor hormiga.

Alejandro [1], describe las bases metaheurísticas de la colonia de hormigas, propone una técnica alternativa inspirada en ésta para aplicar al problema de asignación cuadrática (Quadratic Assignment Problem).

Silva & Valencia[35] , desarrollan un modelo matemático basado en la técnica ACO que se ajusta a los requerimientos y características de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la EPN; la implementación de este modelo se realiza en el lenguaje de programación C# y se ejecuta bajo ambiente Windows.

D. Búsqueda Tabú

Según Rodriguez [32], el método de búsqueda Tabú se define como: “*Técnica meta heurística que se basa en una búsqueda local o por vecindades, moviéndose de manera iterativa a soluciones vecinas hasta conseguir satisfacer un criterio de parada*”.

Gonzalez [12], implementa en entorno Matlab, utilizando la metodología de búsqueda tabú, un programa para calendarizar los exámenes en la Nueva Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Sevilla.

Restrepo & Moreno [31], desarrollan un modelo para la asignación de recursos académicos en una institución educativa, mediante un algoritmo basado en búsqueda tabú denominado sistema MARA implementado en MS SQL.

López [20], desarrolla un modelo de búsqueda tabú para la programación de horarios implementado en el Departamento de Matemáticas de la Universidad de Sonora.

Franco [11], propone una metodología para resolver el problema de asignación de salas de clases, basados en la metaheurística Búsqueda tabú.

E. Gestión del Conocimiento

La gestión del conocimiento corresponde al conjunto de actividades desarrolladas para utilizar, compartir, desarrollar y administrar los conocimientos que posee una organización y los individuos que en esta trabajan, de manera que estos sean encaminados hacia la consecución de sus objetivos (Alavi & Leidner, 2001), citado en Bellinza et al [4]

Los modelos matemáticos planteados e implementados mediante el uso de programas computacionales son útiles si se trata de optimizar el tiempo de programación, pero según González & Trujillo[13], “... no brindan una solución completa al problema, dado que el conocimiento tácito desaparece cada vez que rota el personal que lidera el proceso de programación de horarios de las instituciones de educación superior”.

Estos autores, desarrollan un método heurístico basado en la Gestión del conocimiento, para la programación de horarios en una universidad. El modelo aplicado en la Universidad Icesi, convierte el conocimiento empírico en conocimiento explícito, de tal manera que la Institución pueda conservar el conocimiento y la experiencia de las personas encargadas del proceso de programación de horarios.

2.2. Situación Actual

La mayoría de las carreras citadas en 1.1 desarrollan sus clases en el horario matutino de 07:15 a 14:00 horas. Cuatro de las carreras del CEAC inician labores en la jornada vespertina, esto es de 15:00 a 21:30 horas. La Carrera de Ingeniería en Sistemas tiene horarios disponibles durante todo el día, en la mañana funcionan los primeros niveles, es decir, los niveles de formación básica, y en la tarde los niveles superiores.

En cada uno de los niveles de referencia de las carreras se dicta entre 5 a 9 asignaturas de la malla

curricular, dependiendo del programa académico al que pertenece, excepto en las dos carreras del DEEE que solo tienen 2 asignaturas en noveno nivel y la carrera CAFDER que tiene 10 asignaturas en segundo y séptimo nivel. La malla curricular está dividida en tres bloques: formación básica, formación intermedia y formación profesional. En la mayoría de los programas académicos de las carreras técnicas el primer nivel tiene un total de 30 créditos, es decir, 30 horas de trabajo por semana, a diferencia de las carreras administrativas que tienen un promedio de 26 créditos semanales.

La Figura 1 muestra la malla curricular de la carrera de Ingeniería Civil, en donde se pueden apreciar: los tres bloques de formación (básica, intermedia y de profesionalización), el nombre de cada una de las asignaturas por nivel con su respectivo código, los prerrequisitos y correquisitos, el número de créditos o carga horaria semanal de cada una de ellas y; además, el número de créditos totales por nivel, e identificado por los diferentes colores el área a la que pertenece la asignatura.

Cada carrera tiene dentro de su malla o programa académico en promedio 60 asignaturas, identificadas mediante un código que tiene información del Departamento al que pertenece dicha asignatura; por ejemplo, la asignatura *Diseño Cartográfico Básico* pertenece al primer nivel del DECTC su código es TCON11016. El número de asignaturas por cada una de las carreras varía entre 51 y 71 y el número de créditos totales varía entre 221 y 253.

Tabla 1*Número asignaturas y créditos totales de cada carrera*

No.	CARRERAS	NIVELES	ASIGNATURAS	CREDITOS
TECNICAS				
1	Ing. en Biotecnología	9	67	243
2	Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	9	67	247
3	Ing. Mecánica	9	65	253
4	Ing. Civil	9	65	247
5	Ing. en Sistemas	9	63	253
6	Ing. Mecatrónica	9	61	253
7	Ing. Electrónica en Telecomunicaciones	9	55	241
8	Ing. Electrónica en Control y Automatización	9	53	231
ADMINISTRATIVAS				
9	Lic. en Ciencias Actividad Física, Recreación y Deportes	8	71	241
10	Ing. Comercial	9	69	249
11	Ing. en Turismo y Hotelería	9	63	233
12	Ing. en Mercadotecnia	9	62	237
13	Ing. en Finanzas y Auditoría	9	59	229
14	Ing. en Comercio Exterior	9	57	221
15	Lic. en Educación Infantil	9	51	230

A. Asignaturas

Dentro de la malla curricular de cada carrera existen asignaturas obligatorias y optativas que son propias de la carrera y, asignaturas de formación básica e institucionales que son de apoyo. Actualmente en la ESPE se dicta un aproximado de 593 asignaturas entre obligatorias, optativas y de apoyo.

Cada una de estas asignaturas puede tener uno o varios paralelos (o secciones), dependiendo del número de alumnos matriculados, y dependiendo del número de carreras que tienen dentro de su malla dicha asignatura. Las asignaturas de formación básica, del DECE, que se dictan en primer

nivel de acuerdo a las mallas, son las que tienen mayor número de paralelos; por ejemplo, en el período octubre 2016 – febrero 2017, *Algebra Lineal* abrió 24 paralelos, es decir aproximadamente 3 paralelos por cada una de las carreras que la requirieran, y *Calculo Diferencial e Integral* abrió 25 paralelos.

Los paralelos de cada una de las asignaturas se identifican mediante el denominado NRC, mismo que contiene toda la información de la asignatura; esto es: nombre, número de créditos semanales, docente asignado, listado de estudiantes, horario semanal, aula o aulas en las que se dicta la asignatura. De acuerdo a la información utilizada para este estudio en el período octubre 2015 – febrero 2016 existieron 1748 NRC, en abril - agosto 2016 fueron 1799 NRC y en el período octubre 2016 – febrero 2017 hubieron 1744 NRC, es decir 1744 grupos de estudiantes a programar.

Las asignaturas de cada una de las mallas curriculares tienen 2, 3, 4, 5 o 6 créditos y, solo una tiene 8 créditos semanales. En la Tabla 2 se muestra el número de asignaturas de acuerdo al número de créditos.

Tabla 2

Número de créditos, asignaturas y porcentajes.

No. CRÉDITOS	No. ASIGNATURAS	PORCENTAJE
2	72	12.14%
3	42	7.08%
4	421	70.99%
5	11	1.85%
6	46	7.76%
8	1	0.17%
TOTAL	593	100

Se puede observar que la mayor cantidad de las asignaturas dictadas en la Institución son de 4 créditos con un, 70.99 %, luego están las de 2 créditos con el 12.14 %; a continuación, con porcentajes similares, las de 6 y 3 créditos, 7.76 % y 7.08 %, respectivamente. Finalmente las de 5 y 8 créditos, con porcentajes inferiores al 2 %, 1.85 % y 0.17 % respectivamente. En la Figura 2 se

muestra el diagrama del número de asignaturas de acuerdo al número de créditos de cada una de ellas.

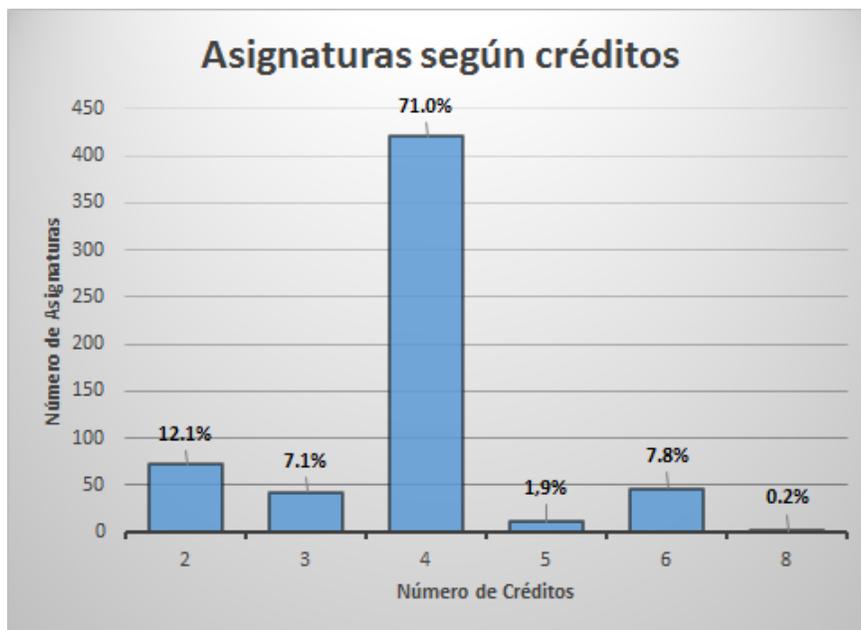


Figura 2. Porcentajes de asignaturas según número créditos.

B. Docentes

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, matriz, cuenta con 716 docentes de los cuales 375, el 52.37 %, son docentes Tiempo Completo (TC), 336, 46.92 %, son docentes Tiempo Parcial (TP) y 5, 0.7 %, son docentes Medio Tiempo (MT)⁵. En la Tabla 3 se presenta el numérico de docentes y porcentaje respectivo, por Departamento; y, en la Tabla 4 se presentan el numérico de docentes considerando solo las categorías TC y TP, pues se ha excluído de la misma los 5 docentes MT, que pertenecen al CEAC, al DECE y al DECHS.

En la Tabla 3, se puede apreciar que la mayor cantidad de docentes, 198, 27.84 %, laboran en el CEAC y la menor cantidad de docentes, 18, 2.53 %, están en el DESD. Este hecho se puede corroborar en la Figura 3 que muestra el número de docentes totales de acuerdo al Departamento al que pertenecen.

⁵Según Estatuto UFA, Arts: 104, 108 y Art 12 de Reglamento de Carrera y Escalafón docente - CES [6]

Tabla 3*Número de docentes de acuerdo a Departamento que pertenecen*

No.	DEPARTAMENTOS	DOCENTES	
1	CIENCIAS ECON. ADMIN. Y COMERC	198	27.84%
2	CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES	114	16.03%
3	CIENCIAS EXACTAS	95	13.36%
4	ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	80	11.25%
5	CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN	67	9.42%
6	CIENCIAS TIERRA Y CONSTRUCCIÓN	54	7.60%
7	CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA	46	6.47%
8	CIENCIAS DE LA VIDA	39	5.48%
9	SEGURIDAD Y DEFENSA	18	2.53%
TOTAL		711	

Tabla 4*Número de docentes TC y TP de acuerdo al Departamento al que pertenecen*

No.	DEPARTAMENTOS	DOCENTES TC		DOCENTES TP	
1	CIENCIAS DE LA VIDA	34	87,18%	5	12,82%
2	CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA	36	78,26%	10	21,74%
3	CIENCIAS TIERRA Y CONSTRUCCIÓN	40	74,07%	14	25,93%
4	ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	58	72,50%	22	27,50%
5	SEGURIDAD Y DEFENSA	12	66,67%	6	33,33%
6	CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN	36	53,73%	31	46,27%
7	CIENCIAS ECON. ADMIN. Y COMERC	83	41,92%	115	58,08%
8	CIENCIAS EXACTAS	36	37,89%	59	62,11%
9	CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES	40	35,09%	74	64,91%
TOTAL		375		336	

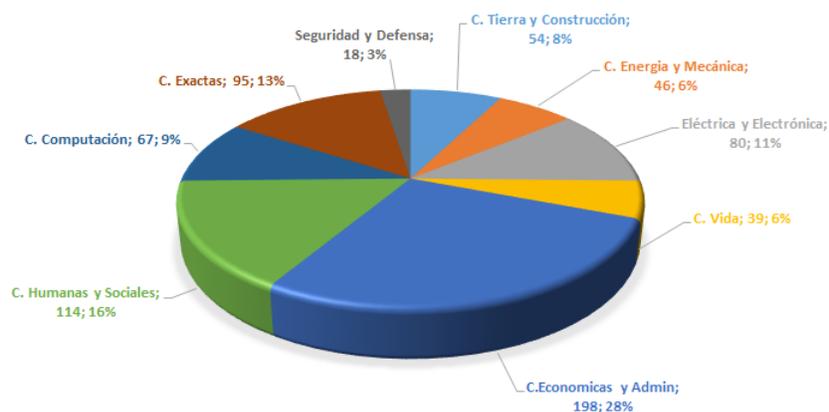


Figura 3. Total de docentes de acuerdo a Departamento.

Los Departamentos que cuentan con el mayor número de docentes TC son: el CEAC con 83 docentes y el DEEE con 58. Cabe mencionar que los Departamentos DECEM, DECV, DECTC y DEEE tienen más profesores TC que TP. Los Departamentos CEAC, DECE y DECHS tienen más profesores TP que TC; en tanto, el DECC tiene balanceado el número de profesores TC y TP. El DECV es el caso extremo donde casi todos sus docentes, 87.18 %, (34 de 39) son TC y solo el 12.82 % (5 de 39) son profesores TP.

Las Figuras 4 y 5 muestran el gráfico del número de docentes TC y TP, respectivamente, por Departamento al que pertenecen.



Figura 4. Docentes Tiempo Completo.

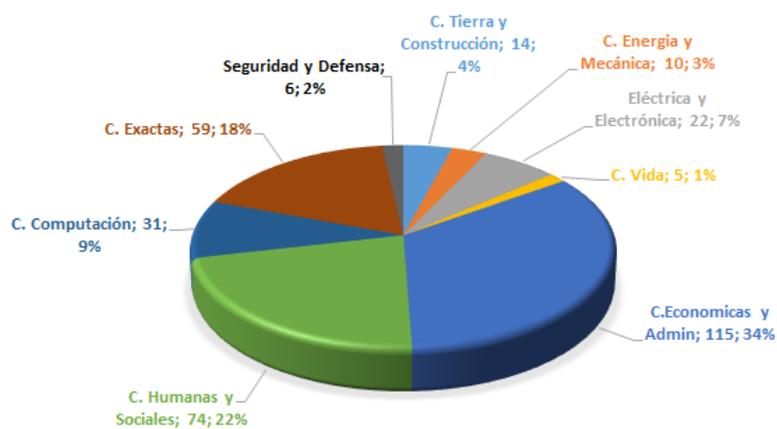


Figura 5. Docentes Tiempo Parcial.

Cada uno de los docentes imparte 1 o más paralelos de 1 o máximo 4 asignaturas, la Tabla 5 muestra el número de docentes de acuerdo al número de asignaturas y número de paralelos de cada una de ellas que imparte el profesor. La mayoría de docentes, 45.88 %, imparte uno o varios paralelos de una sola asignatura, el 36.51 % dicta 2 o más paralelos de 2 asignaturas; en tanto que, sólo el 17.56 % imparten 3 o más paralelos de 3 o 4 asignaturas diferentes, lo que se visualiza en el diagrama de la Figura 6.

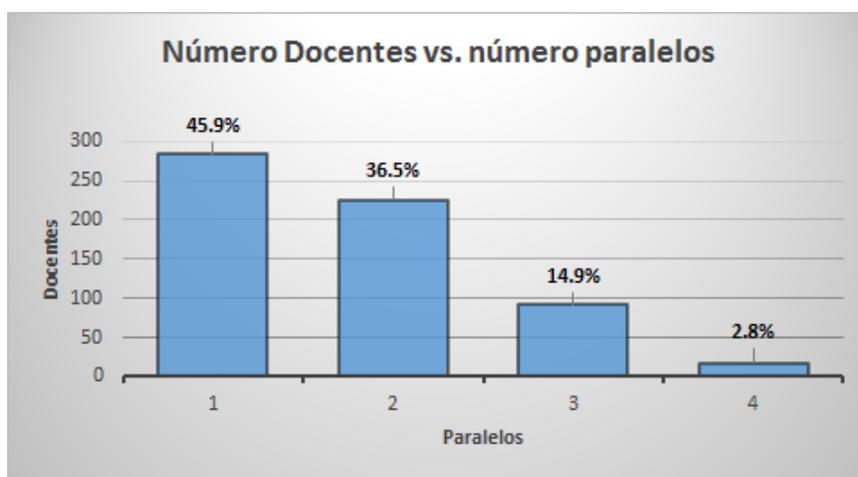


Figura 6. Número de Docentes vs. número de paralelos.

Tabla 5*Docentes según número de asignaturas y paralelos que imparten*

No. ASIGNATURAS	No. PARALELOS	No. DOCENTES	TOTAL Y %
1	1	117	284 – 45.88%
	2	102	
	3	40	
	4	13	
	5	3	
	6	7	
	8	2	
	2	2	
3		78	
4		40	
5		6	
6		3	
7		1	
8		3	
3		3	41
	4	35	
	5	7	
	6	6	
	7	2	
	9	1	
4	4	10	17 – 2.74%
	5	3	
	6	2	
	7	1	
	9	1	
TOTAL		619	100%

Si consideramos, por ejemplo, al grupo de docentes (284) que dictan una sola asignatura, se observa que 117 docentes (41.19 %) dictan un solo paralelo, pero existen 2 profesores (0.7 %) que dictan 8 paralelos. La Figura 7 muestra el número de docentes que dictan 1 o varios paralelos de una sola asignatura, sin considerar el número de créditos de éstas.

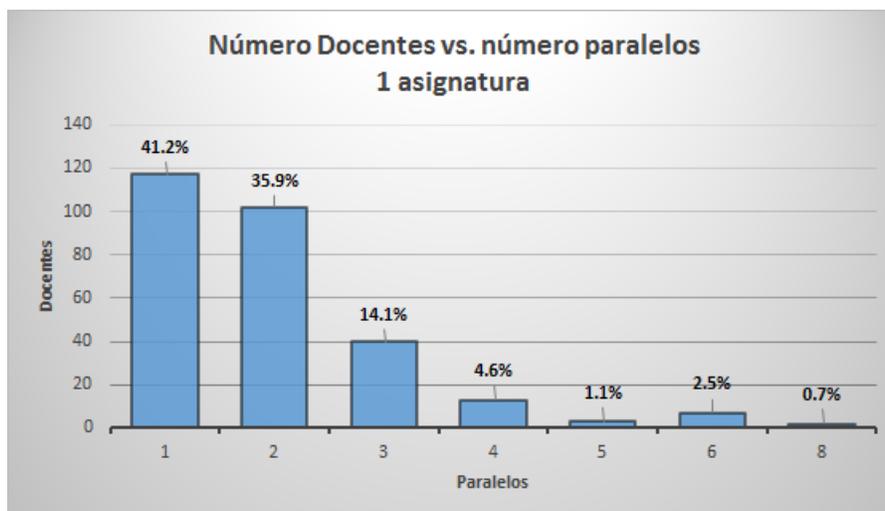


Figura 7. Docentes vs. paralelos - una asignatura.

C. Estructuración de Horarios

En la Institución se desarrollan las clases, de la modalidad presencial, de lunes a viernes en dos jornadas laborales, la primera en horario matutino de 07:15 a 14:00 horas y la segunda en horario vespertino y nocturno de 15:00 a 21:30 horas. Cada jornada de trabajo tiene 3 bandas o franjas horarias de 120 minutos consecutivos, con sus respectivos recesos; así, una semana laboral constará de 30 horas efectivas de trabajo, 6 horas por jornada laboral, de lunes a viernes. En el horario de la mañana las bandas horarias son: de 07:15 a 9:15, 09:30 a 11:30 y de 12:00 a 14:00 horas, de martes a viernes, puesto que por requerimientos de la Institución las dos primeras bandas horarias del día lunes se recorren 15 minutos. En el horario de la tarde y noche éstas son de 15:00 a 17:00, 17:15 a 19:15 y de 19:30 a 21:30, de lunes a viernes.

Los recesos entre bandas horarias son: de 09:15 a 09:30, de 11:30 a 12:00 y de 14:00 a 15:00 en la jornada matutina y, de 17:00 a 17:15 y de 19:15 a 19:30 en horario vespertino. El receso de 14:00 a 15:00 normalmente se reserva para la hora del almuerzo del personal docente, administrativo y estudiantes; sin embargo, algunas asignaturas que requieren laboratorios utilizan esta hora para sus clases. Existe una sola asignatura que se dicta el día sábado por las características mismas de ella, ya que los días sábados se reserva para las tutorías y exámenes de la modalidad a distancia, y cursos regulares de idiomas que son obligatorios para estudiantes de pregrado.

Un Bloque Horario es una combinación de franjas horarias y días de la semana, donde cada paralelo, de una asignatura determinada, está asignado a alguno de estos. De acuerdo al número de créditos de las asignaturas, existen diferentes bloques horarios. Su estructura y distribución la comentamos a continuación:

- **Las asignaturas de 2 créditos**, tienen establecidos bloques horarios conformados por una sola banda horaria, es decir, un solo día de la semana de 2 horas. La Figura 8 muestra este tipo de bloques horarios que se presentan en la jornada matutina, y de manera similar en la jornada vespertina.

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15 - 09:15					
09:30 - 11:30					
12:00 - 14:00					

Figura 8. Bloques horarios para asignaturas de 2 créditos.

- **Las asignaturas de 4 créditos**, tienen establecidos bloques horarios conformados por:
 - a) Una misma franja horaria y dos días de la semana, los cuales pueden ser a día seguido o no; los bloques horarios más utilizados para este tipo de asignaturas son: martes(M) – jueves(J), lunes(L) – miércoles(X) o miércoles(X) – viernes(V), en todas las bandas horarias. La Figura 9 presenta una posible distribución de este tipo de bloques horarios.

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES

Figura 9. Bloques horarios para asignaturas de 4 créditos.

- b) Otros bloques horarios que se dan, pero con menor frecuencia, para este tipo de asignaturas, así mismo, en todas las bandas horarias son: L – M, L – J, L – V, M – X, M – V, X – J y J – V, como se aprecia en la Figura 10.

LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES

Figura 10. Otros bloques horarios para asignaturas de 4 créditos.

- c) Franjas horarias distintas y dos días de la semana, consecutivos o no, se dan con muy poca frecuencia y generalmente son: M – V, X–V, M – J, X – J. Ejemplos de este tipo de bloques horarios y que existen, actualmente, se pueden observar en la Figura 11, y son: X de 07:15 – 09:15 y J de 12:00 a 14:00, X de 12:00 – 14:00 y V de 15:00 – 17:00, o X de 15:00 a 17:00 y V de 19:30 a 21:30.

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15 - 09:15					
09:30 - 11:30					
12:00 - 14:00					
15:00 - 17:00					
17:15 - 19:15					
19:30 - 21:30					

Figura 11. Franjas horarias distintas – 2 días.

- **Las asignaturas de 6 créditos**, tienen establecidos bloques horarios conformados por:

- a) Una misma franja horaria y tres días de la semana; o franjas distintas y tres días de la semana. Los bloques más utilizados para este tipo de asignaturas con misma banda horaria son L – X – V, X – J – V y L – M – X, y con menor frecuencia los bloques horarios M – X – J y M – X – V, como se muestra en la Figura 12.

LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES

Figura 12. Bloques horarios – asignaturas 6 créditos.

- b) Existen también bloques con bandas horarias distintas y 3 días a la semana, por ejemplo, M de 12:00 a 14:00 y X - V de 07:15 a 09:15, o X - V de 9:30 a 11:30 y J de 12:00 a 14:00; el caso más extremo de tres días a la semana con tres bandas horarias distintas se muestra en la Figura 13: L de 9:30 a 11:30, X de 12:00 a 14:00 y V de 07:15 a 9:15.

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15 - 09:15					
09:30 - 11:30					
12:00 - 14:00					

Figura 13. Ejemplo Bloque horario – bandas distintas.

- **Asignaturas de 3 créditos**, tienen asignados bloques horarios de 180 min. consecutivos en un solo día. Ejemplo la asignatura *Realidad Nacional y Geopolítica*, del Departamento DESD, que normalmente se imparte en la banda horaria de 12:00 a 15:00 horas. Otro ejemplo que tiene asignados 2 días distintos y horas distintas es la asignatura *Biología Vegetal I*, de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología que se imparte L 07:30 a 09:30 y X 08:15 a 09:15. Ejemplos de asignaturas de 3 créditos se presenta en la Figura 14.

LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES

Figura 14. Ejemplo Bloque horario – asignaturas 3 créditos.

- **Asignaturas de 5 créditos**, tienen asignados bloques horarios de tres o dos días con bandas horarias distintas. Por ejemplo la asignatura *Química Orgánica I* de la carrera de Biotecnología, se imparte en tres días, L - X de 07:15 - 09:15 y V de 07:15 - 08:15. La asignatura *Sistemas Hidráulicos y Neumáticos* de la carrera de Mecatrónica se imparte en dos días, X de 12:00 - 15:00 y J de 07:15 - 09:15. (Ver Figura 15)

LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES

Figura 15. Ejemplo Bloque horario – asignaturas 5 créditos.

D. Estudiantes

La Universidad ha albergado a lo largo de su vida institucional a miles de estudiantes de todo el país, en la Tabla 6 se detalla el numérico de estudiantes matriculados, en distintos períodos académicos, en el Campus Sangolquí, modalidad presencial y de acuerdo a los diferentes Departamentos. (Datos proporcionados por la Unidad de Desarrollo Estudiantil - UDE).

Para los períodos octubre 2014 – febrero 2015, el número total de estudiantes matriculados fue de 6 194, contando con los alumnos del Sistema de Nacional de Nivelación Académica (SNNA); en el período abril 2015 – agosto 2015 este número subió a 6 517 estudiantes; y, para el período de estudio octubre 2015 – febrero 2016 los estudiantes matriculados suman 7 369 incluyendo, así mismo, a los alumnos de nivelación.

Tabla 6*Numérico de estudiantes matriculados por Departamento*

DEPARTAMENTOS Y SNNA	OCT 14 FEB 15	ABR 15 AGO 15	OCT 15 FEB 16
CIENCIAS ECONOMICAS, ADMINISTRATIVAS Y COMERCIO	1 725	1 696	2 419
ELECTRICA Y ELECTRONICA	807	831	824
CIENCIAS ENERGIA MECANICA	865	804	748
CIENCIAS TIERRA Y CONSTRUCCION	619	652	664
CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES	406	409	426
CIENCIAS DE LA VIDA	422	411	399
CIENCIAS COMPUTACION	387	382	385
SUBTOTAL	5 231	5 185	5 865
SNNA - CARRERAS TÉCNICAS	686	936	1027
SNNA - CARRERAS ADMINISTRATIVAS	277	396	477
TOTAL	6 194	6 517	7 369

El CEAC, con sus cinco programas de carrera, cuenta con el mayor número de estudiantes matriculados en cada uno de los períodos. Para el período octubre 2015 - febrero 2016 el número de estudiantes inscritos en éste Departamento fue de 2 419. Los Departamentos que le siguen con mayor número de estudiantes son: DEEE con 824 y el DECEM con 748 estudiantes. El Departamento que registra el menor número de estudiantes inscritos es el DECC con 385 estudiantes.

La Tabla 6 muestra también el número de matriculados en el curso de nivelación, para los tres períodos mencionados, distribuidos de acuerdo a las carreras Técnicas y Administrativas. Se evidencia que, para el período octubre 2015 - febrero 2016, hay más aspirantes para las carreras Técnicas (1 027) que para las carreras Administrativas (477).

La Figura 16 muestra porcentajes de estudiantes matriculados en pregrado, por Departamento y, porcentajes de estudiantes matriculados en nivelación para las carreras Técnicas y Administrativas, en ese mismo período. El porcentaje más alto de matriculados lo tiene el CEAC, con un 41.24 %,

luego el DEEE y el DECEM con 14.04 % y 12.75 %, respectivamente. Los Departamentos con menor porcentaje de matriculados son DECV, DECHS y DECC, con aproximadamente el 7 % de matriculados. En nivelación, el mayor porcentaje de matriculados lo poseen las carreras Técnicas con el 68.3 % y las carreras Administrativas poseen el 31.7 % del total de aspirantes. Una descripción más detallada del numérico de estudiantes matriculados por cada una de las carreras se puede ver en el ANEXO 1.

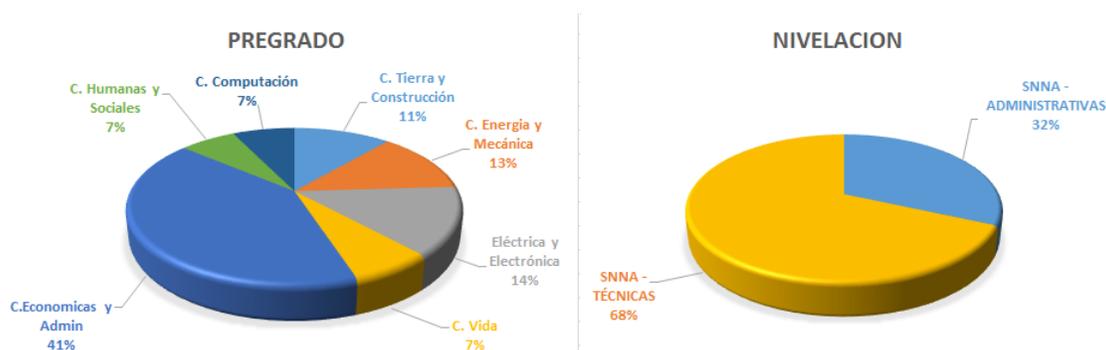


Figura 16. Estudiantes matriculados en Pregrado y en Nivelación.

E. Aulas

El Modelo de Evaluación del Mandato Constituyente No.14 referente a la infraestructura de la Instituciones de Educación Superior dice:

Infraestructura de la IES, incluye tres indicadores representativos de las instalaciones adecuadas para facilitar a estudiantes y docentes el desarrollo de las actividades académicas: las facilidades de Acceso y movilidad para personas discapacitadas, la existencia de Espacios de bienestar que permitan, de una manera razonable, calificar a las instalaciones de una IES como un campus universitario, y las facilidades que la IES ofrece para el desarrollo de las labores de su planta docente tiempo completo (Oficinas)...

La Universidad, posee 6 bloques (edificios) de Aulas con un total de 193 aulas, las cuales están compartidas por todos los cursos de todas las carreras. Los Bloques denominados A, B, C y D

son edificios de aulas de cuatro pisos y se utilizan para dictar las clases teóricas de las asignaturas de cada una de las mallas curriculares de las diferentes carreras. Los Bloques G y H, también de cuatro pisos, son edificios destinados para laboratorios especializados de computación.

Una consideración particular es que, en los Bloques C y D, algunas de las aulas son utilizadas para otras actividades, tales como: oficinas, aulas de postgrados, bodegas, laboratorio de educación infantil y laboratorio de multimedia. Adicionalmente, existen bloques de aulas destinadas para el Instituto de Idiomas y CAFDER, con 7 y 9 aulas, respectivamente. Además, existen bloques destinados a laboratorios especializados de los Departamentos DEEE, DECEM, DECV, DECTC y DECE.

La Tabla 7 muestra el detalle del numérico de aulas de cada uno de los bloques con que cuenta la Universidad. De las 193 aulas efectivas, 128 son aulas grandes, con una superficie promedio de $65 m^2$, cuya capacidad permite entre 30 a 38 estudiantes; 65 son aulas pequeñas, con una superficie promedio de $42 m^2$, cuya capacidad varía de 17 a 22 estudiantes. Además, se cuenta con Salas Auditorio que en ningún caso son utilizadas para clases de pregrado. Con las consideraciones realizadas para la asignación de aulas destinadas a clases teóricas, en los bloques A, B, C y D, se cuenta con un total de 141 aulas de las cuales 92 son aulas grandes y 49 son aulas pequeñas.

Tabla 7

Número de Aulas por bloque y características

BLOQUE	No. AULAS REALES	No. AULAS EFECTIVAS	No. AULAS GRANDES	No. AULAS PEQUEÑAS	No. AULAS OTROS USOS
BLOQUE A	41	41	28	13	0
BLOQUE B	35	35	26	9	0
BLOQUE C	42	39	24	15	3
BLOQUE D	34	26	14	12	8
BLOQUES G y H	36	36	36	0	0
CAFDER (E)	7	7	0	7	0
LENGUAS (L)	9	9	0	9	0
TOTAL:	204	193	128	65	11

En la Figura 17, que hace referencia a la utilización de aulas durante el período octubre 2015 – febrero 2016, se presentan ejemplos de la subutilización de las aulas en los bloques mencionados. A partir de esta consideración podemos señalar los siguientes casos:

- a) Aulas que son totalmente utilizadas o que tienen sólo 2 o cuatro horas libres durante la semana, por ejemplo A-106 y B-113.
- b) Aulas que están siendo medianamente utilizadas, por ejemplo, A-102 y B-118.
- c) Aulas escasamente utilizadas, ejemplo, D-109, D-308, C-111 y C-405.

Los ejemplos mostrados evidencian el desperdicio del recurso físico, sobre todo en los Bloques C y D. La utilización de todas las aulas de la Institución, en los bloques mencionados, durante el período octubre 2015 – febrero 2016, se puede visualizar mediante este tipo de gráficas en el ANEXO 2.

						LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES								
						07:15-09:15	2319	1526	2345	1526	2244							
						09:30-11:30	2471	1531	2471	1531	1824							
AULA A-106 34							12:00-14:00	2289	2289	1312	1312	1312						
							14:00-15:00											
							15:00-17:00	2855	3935	4036	2833	2833						
							17:15-19:15	3425	2690	1158	2690	1158						
							19:30-21:30	2864	2796	3429	2796	4109						
						07:15-09:15	2293	4059	1683	4059	2149							
						09:30-11:30	1676	1560	3026	1560	3020							
						12:00-14:00	3030	2290	2160	1681	1681							
						14:00-15:00				1676								
						15:00-17:00	2853	2738	2183	2738								
						17:15-19:15		2729	3936	2729	3936							
						19:30-21:30	3963	2709	3963	2709	2694							

(a) Aulas totalmente utilizadas durante semana laboral.

						LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES								
						07:15-09:15	1136	1136	2312	2302								
						09:30-11:30		2263	4065		2263							
AULA A-102 22							12:00-14:00	2283	2262		2262	2276						
							14:00-15:00	2279	2279	1601								
							15:00-17:00											
							17:15-19:15	4180	3989									
							19:30-21:30	4294										
						07:15-09:15			1661									
						09:30-11:30		3327	1416	3327								
						12:00-14:00			1445		4067							
						14:00-15:00												
						15:00-17:00		3274	1961	3274	1961							
						17:15-19:15	3414	3342	3348	3342	3414							
						19:30-21:30	2891	4172	2891	4172								

(b) Aulas medianamente utilizadas durante semana laboral.

						LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES								
						07:15-09:15												
						09:30-11:30												
AULA D-109 23							12:00-14:00	2563		2563								
							14:00-15:00											
							15:00-17:00											
							17:15-19:15											
							19:30-21:30											
						07:15-09:15												
						09:30-11:30		2564		2564								
						12:00-14:00												
						14:00-15:00												
						15:00-17:00												
						17:15-19:15												
						19:30-21:30												
						07:15-09:15		4402	1064									
						09:30-11:30				4413	4402							
AULA C-111 23							12:00-14:00			2557								
							14:00-15:00											
							15:00-17:00											
							17:15-19:15											
							19:30-21:30											
						07:15-09:15												
						09:30-11:30												
						12:00-14:00			1757									
						14:00-15:00												
						15:00-17:00												
						17:15-19:15												
						19:30-21:30												

(c) Aulas escasamente utilizadas durante semana laboral.

Figura 17. Ejemplos de subutilización de aulas.

La distribución actual de aulas provoca que exista una gran movilidad tanto de docentes como de estudiantes que tienen que trasladarse de un piso a otro, en el mejor de los casos, o de un bloque a otro. Esto a más de la pérdida de tiempo evidencia una inadecuada distribución que afecta significativamente en las actividades académicas. Lo dicho se puede ratificar mediante el estudio realizado del número de aulas que ocupa cada uno de los departamentos, mismo que revela las siguientes cifras, presentadas en la Tabla 8.

Tabla 8

No. de Aulas y Bloques utilizados por Departamento, Oct/15 Feb/16

No.	DEPARTAMENTOS	GRUPOS (NRC)	BLOQUES	No. Aulas	No. Asign.
1	CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA	225	A, B, C, D	57	54
2	CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN	118	G, H	26	48
3	CIENCIAS DE LA VIDA	72	A, B, C, D	28	45
4	CIENCIAS ECON. ADMIN. Y COMERC	461	A, B, C, D, E, G, H	108	147
5	CIENCIAS EXACTAS	238	A, B, C, D, G, H	76	33
6	CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES	259	A, B, C, D, E	94	94
7	CIENCIAS TIERRA Y CONSTRUCCIÓN	138	A, B, C, D, E, G	57	98
8	ELECTRICA Y ELECTRÓNICA	187	A, B, C, D	73	65
9	LENGUAS	6	A, B	4	3
10	SEGURIDAD Y DEFENSA	44	A, B, C	23	2
	TOTAL	1748			589
11	SNNA-NIVELACIÓN		C, D	44	

Nota: Los colores respresentan a cada uno de los departamentos

En la tabla se puede observar, por ejemplo, que el CEAC, con sus cinco carreras, atiende a 461 grupos de estudiantes y utiliza un total de 108 aulas distribuidas en todos los bloques; el DECEM tiene 225 NRC (paralelos o grupos) y utiliza un total de 57 aulas repartidas en los Bloques A, B, C, y D y, el DEEE con sus dos carreras, apenas atiende a 187 grupos pero utiliza 73 aulas, de manera similar repartidas en todos los bloques. En este detalle no se incluyen los grupos que toman asignaturas de apoyo ni asignaturas que requieren de laboratorios; caso contrario, el número de aulas utilizadas por cada Departamento subiría aún más.

Capítulo 3

3. MARCO TEÓRICO Y METODOLOGÍA

3.1. Modalidad de la investigación

En el presente trabajo se realiza una investigación de enfoque cuantitativo, descriptivo y explicativo, pues a través del análisis de los datos suministrados por la Institución, generados a partir de condiciones reales, se propone una heurística para encontrar una solución factible al problema de distribución de aulas y horarios.

En base a la teoría de metodología de la investigación científica planteada por Hernández Sampieri et al [17],

- a) Esta investigación es de enfoque cuantitativo porque al analizar las bases de datos de períodos anteriores referentes a horarios y distribución de aulas en la Institución y en base a estadísticas realizadas, respecto a la utilización de aulas, por cada uno de los departamentos, se propone un método para mejorar la situación actual.
- b) Es descriptivo pues permitió identificar los problemas de programación de horarios y asignación de aulas, de cada una de las carreras de la Universidad, detectando, muchas veces, incumplimiento de las condiciones y requerimientos de la Institución, e insatisfacción de alumnos y docentes.
- c) Es explicativo porque en base al análisis de la información se pudo detectar situaciones que influyeron en la situación actual de desperdicio de recursos físicos y humanos.

3.2. Fundamentación Conceptual

Según Miranda [26], “*En su forma más simple, la programación horaria de cursos asigna cada curso a un bloque horario y sala de clase considerando una serie de requerimientos y restricciones que permiten el normal funcionamiento de estas instituciones de educación superior*”.

Dentro del tema de programación de horarios y asignación de recursos es necesario definir términos que son utilizados en el desarrollo de este trabajo, por tal motivo adoptamos algunos conceptos expuestos por Yépez [38].

Modelo. “Abstracción o representación simplificada de una parte o segmento de la realidad.”

Modelo Matemático de Optimización. “Problema de elegir los valores de las variables de decisión de forma que se maximice (minimice) la función objetivo, sujeta a las restricciones dadas.”

Optimización. “... significa buscar la mejor manera de realizar una actividad, y en términos matemáticos, hallar el máximo o mínimo de una cierta función, definida en algún dominio.”

Optimización Heurística:

Optimizar $f(x)$ sujeto a $x \in X \subseteq \Omega$,

Dónde:

x representa una solución,

$f(x)$ es la evaluación de una función objetivo arbitraria f ,

X es el espacio factible de soluciones, y

Ω es el espacio posible.

Función Objetivo. “Objetivo global de un problema de decisión expresado en forma matemática en términos de los datos y de las variables de decisión o control”.

Variable de decisión. “Cantidad cuyo valor se puede controlar y es necesario para determinar un problema de decisión”.

Parámetro. “Información conocida en un problema de decisión.”

Restricción. “Limitación sobre los valores de las variables en un modelo matemático”.

Otros términos, también necesarios para el desarrollo de este trabajo, se puntualizan a continuación:

Restricciones Duras, son condiciones o requerimientos que deben cumplir en forma obligatoria todos los actores que intervienen en el proceso.

Restricciones Suaves, son condiciones o requerimientos que en lo posible deben cumplirse, sin embargo, no son de estricto cumplimiento.

Programación Lineal Entera, es una técnica que se aplica a situaciones de optimización de funciones lineales, denominadas funciones objetivo, mismas que están sujetas a restricciones expresadas mediante inecuaciones lineales. Si las variables de decisión toman valores enteros estos problemas se conocen como problemas de programación lineal entera [33], [21], [16], [27].

Tabu Search, o Búsqueda Tabú, “Técnica meta heurística que se basa en una búsqueda local o por vecindades, moviéndose de manera iterativa a soluciones vecinas hasta conseguir satisfacer un criterio de parada” [32].

Gestión del Conocimiento, “Gestionar el conocimiento significa gestionar los procesos de creación, desarrollo, difusión y explotación del conocimiento para ganar capacidad competitiva” [4].

Grupo de Estudiantes. Estudiantes que pertenecen al paralelo p del nivel h de una carrera.

Bloque Horario, es una combinación de franjas o bandas horarias y días de la semana.

3.3. Fundamentación teórica

El modelo que se adopta para dar solución al problema planteado es un híbrido, basado en modelos de programación lineal entera, búsquedas Tabú y Gestión del Conocimiento.

Cabe indicar que muchas de las ideas desarrolladas en esta investigación se basan en los trabajos de Hernández [16], Rodríguez [32], Torres [36] y Gonzales & Trujillo[13].

3.3.1. Bases teóricas - Modelo matemático

Para modelar este tipo de problemas cada institución de educación fija su objetivo mediante una función a la que se requiere minimizar o maximizar. Esta función conocida como Función Objetivo utiliza variables de decisión que pueden ser binarias o mixtas y están sujetas a condiciones impuestas por cada institución. Estas variables generalmente representan las restricciones que se desea cumplir, pero deben estar sujetas a condiciones claramente establecidas para que la solución sea factible.

El modelo planteado que resuelve el problema de programación de horarios con asignación simultánea de docentes, busca establecer el horario de cada una de las asignaturas considerando un nivel de referencia h en un solo bloque horario, es decir, si la asignatura tiene; por ejemplo, cuatro créditos, esta se programará en la misma banda horaria en dos días no consecutivos.

Bajo las consideraciones expuestas, a continuación, se describen los siguientes conjuntos.

Conjuntos de datos

HS :	Conjunto de niveles de referencia o semestres,
AS_h :	Conjunto de asignaturas del semestre h ,
DOC :	Conjunto de docentes,
BH :	Conjunto de bloques horarios,
$DC_j \subseteq BH$:	Conjunto de bloques horarios asignados al docente j ,
BL :	Conjunto de bloques de aulas (edificios),
AB_b :	Conjunto de aulas del bloque b ,
PS_h :	Conjunto de paralelos del nivel h ,
$AP_j \subseteq AS_h$:	Conjunto de asignaturas asignadas al profesor j

Los índices definidos para estos conjuntos son:

Indices

- $h \in HS$: Índice de niveles, $h = 1, \dots, nh$
 $i \in AS_h$: Índice de asignaturas del nivel h , $i = 1, \dots, nas_h$
 $j \in DOC$: Índice de docentes, $j = 1, \dots, nd$
 $k \in BH$: Índice de bloques horarios, $k = 1, \dots, nk$
 $b \in BL$: Índice de bloques de aulas, $b = 1, \dots, 4$
 $l \in AB_b$: Índice de aulas del bloque b , $l = 1 \dots nl_b$,
 $p \in PS_h$: Índice de paralelos o secciones, $p = 1, 2, 3$

Los parámetros y variables de decisión utilizados en el modelo son los siguientes:

Parámetros

- nh : Número de niveles o semestres, $nh = 134$,
 nas_h : Número de asignaturas del nivel h , $nas_h \in \{2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$,
 nd : Número de docentes, $nd = 716$,
 nk : Número de bloques horarios, $nk = 185$,
 nl_b : Número de aulas del bloque b , $nl_b \in \{41, 35, 39, 26\}$,
 q_l : Capacidad de aulas,
 ne_{ph} : Número de estudiantes del paralelo p del nivel h .

Variables de decisión

$$X_{ipjk} = \begin{cases} 1, & \text{Si la asignatura } i \text{ del paralelo } p \text{ es dictada} \\ & \text{por el docente } j \text{ en el bloque horario } k \quad ; \quad \forall h \in HS \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Representa la decisión de programar las clases de una Asignatura de un paralelo del nivel h , con un profesor asignado, en un bloque horario determinado.

$$Y_{pl} = \begin{cases} 1, & \text{Si el grupo o paralelo } p \text{ del nivel } h \text{ se programa} \\ & \text{en el aula } l \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} ; \quad \forall h \in HS$$

Representa la decisión de programar las clases de un Grupo de estudiantes en una aula particular de un edificio determinado.

Las variables así representadas permiten asignar las distintas clases, en un bloque horario determinado y en un edificio dado. Cabe indicar que uno de los objetivos es disminuir la movilidad de estudiantes.

Función objetivo

La función objetivo se establece de la siguiente manera:

$$\text{Min}Z = \sum_i \sum_p \sum_j \sum_k X_{ipjk}; \quad \forall h \in HS$$

Restricciones

A continuación se formulan las restricciones adoptadas para este modelo:

1. Disponibilidad horaria de docentes

$$\sum_{i \in AP_j} \sum_{k \notin DC_j} X_{ipjk} = 0; \quad \forall j \in DOC$$

Esta restricción indica que un profesor no puede realizar clases durante los bloques horarios en los cuales no tiene disponibilidad.

2. Horario de docentes

$$\sum_{i \in AP_j} \sum_{k \in BH} X_{ipjk} \leq 1; \quad \forall j \in DOC, \forall p \in PS_h \wedge \forall h \in HS$$

Esta condición indica que las asignaturas dictadas por un profesor no se programen en el mismo bloque horario.

3. Programación de clases

$$\sum_p \sum_k X_{ipjk} = nas_h; \quad \forall i \in AS_h, \forall j \in DOC \wedge \forall h \in HS$$

Esta condición indica que las clases de las asignaturas de cada paralelo se realicen en algun bloque horario.

4. Cruce de asignaturas de un mismo paralelo del nivel h

$$\sum_{i \in AS_h} X_{ipjk} \leq 1; \quad \forall p \in PS_h, \forall k \in BH \wedge \forall h \in HS$$

Esta condición indica que las clases de las asignaturas de un paralelo del nivel h no deben ser programadas en el mismo bloque horario.

5. Asignación de aulas

$$\sum_{p \in PS_h} \sum_{l \in AB_b} Y_{pl} \leq 1; \quad \forall h \in HS$$

Indica que cada paralelo del nivel h no se programe en la misma aula del bloque b , predeterminado.

6. Capacidad de aulas

$$Y_{pl} \leq \left\lfloor \frac{ql_b}{ne_{ph}} \right\rfloor; \quad \forall b \in BL, \forall p \in PS_h \wedge \forall h \in HS$$

Indica que el número de alumnos del paralelo p del nivel h , no debe sobrepasar la capacidad del aula asignada.

El Modelo matemático, propuesto para la programación de horarios y asignación de aulas, se resume a continuación:

$$\text{Min}Z = \sum_i \sum_p \sum_j \sum_k X_{ipjk}; \quad \forall h \in HS$$

Sujeto a las restricciones duras:

$$\sum_{i \in AP_j} \sum_{k \notin DC_j} X_{ipjk} = 0; \quad \forall j \in DOC \quad (1)$$

$$\sum_{i \in AP_j} \sum_{k \in BH} X_{ipjk} \leq 1; \quad \forall j \in DOC, \forall p \in PS_h \wedge \forall h \in HS \quad (2)$$

$$\sum_p \sum_k X_{ipjk} = nas_h; \quad \forall i \in AS_h, \forall j \in DOC \wedge \forall h \in HS \quad (3)$$

$$\sum_{i \in AS_h} X_{ipjk} \leq 1; \quad \forall p \in PS_h, \forall k \in BH \wedge \forall h \in HS \quad (4)$$

$$\sum_{p \in PS_h} \sum_{l \in AB_b} Y_{pl} \leq 1; \quad \forall h \in HS \quad (5)$$

$$Y_{pl} \leq \left\lfloor \frac{ql_b}{ne_{ph}} \right\rfloor; \quad \forall b \in BL, \forall p \in PS_h \wedge \forall h \in HS \quad (6)$$

Considerando las siguientes restricciones suaves:

- Evitar en lo posible la movilización de estudiantes y docentes,
- Respetar disponibilidad de horarios de los docentes TP,
- Evitar en lo posible la existencia de horas libres (horas huecas) entre clase y clase de los estudiantes, y
- Las clases de un mismo paralelo deben ser programadas en una misma aula.

3.4. Diseño de la investigación

La solución que se propone en este trabajo consta de dos etapas, en la primera se desarrolla un algoritmo que da solución a la programación de horarios de cada uno de los grupos de las carreras de la Universidad, con asignación simultánea de docentes. En la segunda etapa, previamente asignado el bloque de aulas a cada carrera, y tomando como insumo el resultado de la etapa anterior, se desarrolla otro algoritmo para distribuir y asignar de manera óptima, las aulas para los diferentes grupos.

3.4.1. Primera Etapa

En esta primera etapa, en base a los planes y mallas curriculares actualizadas de cada carrera, que se pueden encontrar en el sitio web de la Institución [9] y a la información suministrada, en unos casos por la Unidad de Desarrollo Educativo (UDE) y en otros por búsqueda propia, después de un análisis sobre las bases de datos y considerando el conocimiento empírico de las autoras, se desarrolló un método heurístico que da solución al problema de la programación de horarios en la Universidad. Así, se empezó desarrollando un algoritmo que progresivamente asigna a cada una de las asignaturas, por cada nivel, de las carreras, un docente y un bloque horario; verificando en cada paso que se cumplan las condiciones impuestas, de forma que se minimice la función objetivo.

A. Descripción de datos para desarrollo del algoritmo – primera etapa

a) Semestres o Niveles de referencia - índice h

Actualmente la Universidad está estructurada en Departamentos y Carreras, todas las carreras tienen una duración de 9 semestres o niveles de referencia, a excepción de la Licenciatura CAFDER que tiene 8. Los niveles de las carreras se representan por el índice h y se enumeran desde 1 hasta 134, que viene de multiplicar 14 carreras por 9 niveles y sumar los 8 niveles de CAFDER, es decir, que el índice h a más de identificar el nivel o semestre, identifica también la carrera a la que pertenece. Por ejemplo, $h = 3$ representa el tercer nivel de Ingeniería Geográfica, $h = 25$, el séptimo nivel de Ingeniería Mecánica y $h = 78$, el sexto nivel de Ingeniería en Mercadotecnia.

En la Tabla 9 se describen los niveles de referencia h_i , $i = 1, \dots, 134$ con el orden en que se programó los horarios de cada carrera. Se consideró primero a las carreras Técnicas y luego a las Administrativas, debido a que sus horarios de funcionamiento están delimitados en la mañana ó en la tarde; sin embargo, la carrera de Ingeniería en Sistemas tiene horarios disponibles durante todo el día y es por esta razón que se la dejó al final.

Tabla 9

Indice h para representación de carreras y niveles

No.	CARRERA	NIVEL (h)
1	Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente	h: 1 - 9
2	Ingeniería Civil	h: 10 - 18
3	Ingeniería Mecánica	h: 19 - 27
4	Ingeniería Mecatrónica	h: 28 - 36
5	Ingeniería Electrónica en Control y Automatización	h: 37 - 45
6	Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones	h: 46 - 54
7	Ingeniería en Biotecnología	h: 55 - 63
8	Ingeniería Comercial	h: 64 - 72
9	Ingeniería en Mercadotecnia	h: 73 - 81
10	Ingeniería en Finanzas y Auditoría	h: 82 - 90
11	Ingeniería en Comercio Exterior	h: 91 - 99
12	Ingeniería en Administración Turística y Hotelera	h: 100 - 108
13	Licenciatura en Educación Infantil	h: 109 - 117
14	Lic. en CAFDER	h: 118 - 125
15	Ingeniería en Sistemas	h: 126 - 134

Las carreras de Ingeniería Geográfica e Ingeniería Civil tienen en su programa académico sólo asignaturas de créditos pares, lo que facilita la programación de los horarios porque se ajusta a las bandas horarias definidas, y es por esta razón que se las eligió en primero y segundo orden, respectivamente. El resto de carreras Técnicas cuentan además con asignaturas de 3 y 5 créditos, lo que requiere mayor cuidado en la programación. Las carreras Administrativas que funcionan en la tarde tienen también asignaturas de créditos pares, pero con menor concentración de grupos a programar, por lo que se cuenta con mayor número de aulas disponibles de tal forma que se minimiza el problema de asignación.

b) Datos de entrada

Los datos a ser utilizados en la programación de horarios son:

- i) Mallas curriculares actualizadas,
- ii) Matriz-Semestre $MS_{m \times n}$,
- iii) Matriz-Asignatura $MA_{m \times n}$,
- iv) Matriz-Asignatura-Docente $MAD_{m \times n}$,
- v) Matriz-Docente-Asignatura $MDA_{m \times n}$,

Matriz – Semestre

Es la primera que contiene la información de los niveles de referencia h . Para cada uno de éstos se tiene: el nombre de la carrera, número de asignaturas, número total de créditos, número de créditos teóricos, número de créditos de laboratorio o campo y número estimado de paralelos de acuerdo al histórico de alumnos. En la Figura 18 se muestra como luce la Matriz - Semestre.

SEMESTRE	CARRERA	NOMBRE	No. ASIGN	TOTAL CRED	CRED. TEOR	CRED. AUX	No. PARAL
h			nas		nct	ncl	np
1	1	Geografica	9	32	30	2	3
2	1		8	30	30	0	2
3	1		7	30	24	6	2
4	1		6	26	26	0	1
5	1		8	27	27	0	1
6	1		7	28	28	0	1
7	1		7	24	24	0	1
8	1		8	26	26	0	1
9	1		7	24	24	0	1
10	2	Civil	8	28	26	2	2
11	2		6	26	26	0	2
12	2		7	30	24	6	2
13	2		8	28	24	4	2
14	2		7	26	26	0	1

Figura 18. Matriz-Semestre.

Matriz – Asignatura

Esta contiene información de las asignaturas de cada nivel: listado de asignaturas con número de créditos, número de paralelos a programar de acuerdo a histórico de alumnos, número estimado de estudiantes, considerando el historial de los dos últimos períodos académicos, número de carreras que poseen esa asignatura, y el total de paralelos que se abrieron en el período anterior. Este último permite un parámetro de comparación respecto a la situación actual. En la Figura 19 se muestra como luce la Matriz- Asignatura.

NIVEL h	nas_h	NOMBRE	cred	paralelo	No. estud	carreras	historico paralelos	Observaciones
GEO								
1	1	Biogeografía I	4	3	54	1	3	
	2	DCB	4	3	62	1	3	
	3	Introducción Ciencias	2	3	49	1	3	
	4	Lab DCB	2	3	52	1	3	LAB
	5	Química Ambiental I	4	3	61	1	3	
	6	Calculo Diferencial e	6	3		8	24	
	7	Algebra Lineal	4	3		8	24	
	8	Estadística I	4	3		8	19	
	9	Cultura física	2	3		2		
		total cred	32					
2	1	Biogeografía 2	4	2	56	1	2	
	2	Geología / Geomorfol	4	2	55	1	2	
	3	Química Ambiental II	4	2	60	1	2	
	4	Cálculo Vectorial	6	2		8	13	
	5	Estadística II	4	2		2	3	

Figura 19. Matriz-Asignatura.

Matriz-Asignatura-Docente

Esta contiene información de los docentes que dictan cada asignatura del nivel h , el Departamento al que pertenece el nivel h , el código de la asignatura, el tipo de aula que requiere la asignatura, es decir, si es aula de clase o laboratorio, el número de horas semanales, el o los paralelos o grupos que se abrieron en el período anterior, y bloques horarios históricos asignados a cada docente que imparte dicha asignatura. Ejemplo de cómo luce esta matriz se presenta en la Figura 20.

DEPARTAMENT	CODI	ASIGNATURA	NIVE	NRC	NUM	TIPO	HORA	HORA	LUN	MA	MI	JUE	VIE	DOCENTE	NU
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1766	4	AULA	1715	1915	M		W			ALVEAR SIZA, GUILLERN	31
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	4043	4	AULA	1930	2130	M		W			ALVEAR SIZA, GUILLERN	23
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1768	4	AULA	1501	1700	M		W			ANDRANGO VICUÑA, J	27
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1764	4	AULA	1200	1400		T			F	BENITEZ BURBANO, KA	36
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1765	4	AULA	1500	1700		T	W			BENITEZ BURBANO, KA	19
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1763	4	AULA	1200	1400			W			CARRILLO PUNINA, ALV	34
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1763	4	AULA	715	915					F	CARRILLO PUNINA, ALV	34
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1767	4	AULA	1500	1700		T		R		CARRILLO PUNINA, ALV	32
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1769	4	AULA	1500	1700		T		R		CASTELLI VILLACRES, EL	31
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1762	4	AULA	1500	1700	M				F	FLORES SANCHEZ, YOLA	30
CIENCIAS ECON. AI	26014	ADM FINANCIERA	4 CUAR	1770	4	AULA	1715	1915	M		W			FLORES SANCHEZ, YOLA	20

Figura 20. Matriz-Asignatura-Docente.

c) Datos de Salida

Matriz - Docente - Asignatura

Esta contiene inicialmente solo el listado alfabético de los docentes, de la ESPE matriz, con información de su tiempo de dedicación. Una muestra de como luce al inicio del proceso esta matriz se presenta en la Figura 21.

No.	NOMBRES Y APELLIDOS	TIEMPO DEDICACION	BLOQUE HORARIO Y A SIGNATURA	BLOQUE HORARIO Y ASIGANTURA
1	ABATTA JACOME, LENIN ROMULO	TIEMPO COMPLETO		
2	ABRIL CRUZ, PATRICIA DE LAS MERCEDES	TIEMPO PARCIAL		
3	ABRIL PORRAS, VICTOR HUGO	TIEMPO COMPLETO		
4	ACOSTA BUENAÑO, FREDDY ROBERTO	TIEMPO COMPLETO		
5	ACOSTA MEJIA, ELOISA SUSANA	TIEMPO COMPLETO		
6	ACOSTA PALOMEQUE, GALO RAMIRO	TIEMPO COMPLETO		
7	ACOSTA PEREZ, TATIANA ELIZABETH	TIEMPO COMPLETO		
8	AGUIAR FALCONI, ROBERTO RODRIGO	TIEMPO COMPLETO		
9	AGUILAR CASTILLO, WILBERT GEOVANNY	TIEMPO COMPLETO		
10	AGUILAR JARAMILLO, EDWIN RENE	TIEMPO PARCIAL		
11	AGUILAR LEMA, KLEBER AUGUSTO	TIEMPO PARCIAL		
12	AGUILAR SALAZAR, DARWIN LEONIDAS	TIEMPO COMPLETO		
13	AGUILERA TAPIA, LUIS BOLIVAR	TIEMPO COMPLETO		
14	AGUIRRE YELA, VLADIMIR ALEXANDER	TIEMPO COMPLETO		
15	AGUIRRE, MARIA SOLEDAD	TIEMPO COMPLETO		
16	ALARCON TIRADO, CESAR LITVINOV	TIEMPO PARCIAL		

Figura 21. Matriz-Docente-Asignatura, inicio de proceso.

Conforme se avanza en la programación de horarios, esta matriz se va llenando con los datos de asignaturas y bloques horarios que se le asigna al docente y sirve como insumo para generar la Matriz - Horario Final Carreras. Una vez que se ha completado la programación de horarios para cada uno de los niveles, la Matriz-Docente-Asignatura luce como se muestra en la Figura 22.

BLOQUE A						BLOQUE B								
h10 p1 CIVIL						h1 p1 Geografica								
1		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	1		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	
	07:15-09:15	Mecan Rac 1 MejiaND	Dibujo Tec Ap PazmiñoME	Mecan Rac 1 MejiaND	Dibujo Tec Ap PazmiñoME	Bases Arq. AldazMA			07:15-09:15	DCB Sindel	Algebra L LeonCF	DCB Sindel	Algebra L LeonCF	Int Ciencias PerezPR
AULA A-101 34	09:30-11:30	Calculo D NaranjoA	Algebra L Portillaj	Calculo D NaranjoA	Algebra L Portillaj	Calculo D NaranjoA			09:30-11:30	Calculo D RuedaM	Biogeografia CorreosoM	Calculo D RuedaM	Biogeografia CorreosoM	Calculo D RuedaM
	12:00-14:00	Estadística I OrtegaN	COE AvilesM	Estadística I OrtegaN	Ed, Fisica				12:00-14:00	Estadística I MarinE	Quimica Amb DiazRM	Estadística I MarinE	Quimica Amb DiazRM	LDCB Sindel
	14:00-15:00	Matem Adm AulesHP	Derecho Lab ArgotiWO	Matem Adm AulesHP	Derecho Lab ArgotiWO		COMERCIAL h64p1		14:00-15:00	Contabilidad MosqueraMP		Contabilidad MosqueraMP	COE LlerenaMF	MERCADOT h73p1
	15:00-17:00	Administración HidalgoIP	Contabilidad HernandezIP	Administración HidalgoIP	Contabilidad HernandezIP	COE VillaBE	1		15:00-17:00	Matem Adm CarrascoFP	Administración VillaroeIPA	Matem Adm CarrascoFP	Administración VillaroeIPA	
	17:15-19:15		Derecho MyS GarciaSP	Comp Avanz CaizaguanoCC	Derecho MyS GarciaSP	Comp Avanz CaizaguanoCC			17:15-19:15	Comp Avanz De La TorreEA	Legislac Emp OrozcoCA	Comp Avanz De La TorreEA	Legislac Emp OrozcoCA	
	19:30-21:30								19:30-21:30					
h10p2						h1 p2								
1		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	1		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	
	07:15-09:15	Calculo D GarcesE	Algebra L CaizaguanoRE	Calculo D GarcesE	Algebra L CaizaguanoRE	Calculo D GarcesE			07:15-09:15	Calculo D LeonCF	Biogeografia PachacamaRF	Calculo D LeonCF	Biogeografia PachacamaRF	Calculo D LeonCF
AULA A-102 22	09:30-11:30	Bases Arq. AldazMA	Dibujo Tec Ap PazmiñoME	Mecan Rac 1 MejiaND	Dibujo Tec Ap PazmiñoME	Mecan Rac 1 MejiaND			09:30-11:30	Quimica Amb DuranR	Algebra L CarrascoF	Quimica Amb DuranR	Algebra L CarrascoF	Int, Ciencias PerezPR
	12:00-14:00	Ed, Fisica	Estadística I BalsecaC	COE Ribadeneirax	Estadística I BalsecaC				12:00-14:00	LDCB Sindel	DCB EcheverriaNA	Estadística I CumbalH	DCB EcheverriaNA	Estadística I CumbalH

Figura 24. Horario Final Carreras, al final del proceso.

Las matrices antes mencionadas se encuentran contenidas en un archivo Excel llamado “Datos-Etapa1”, incluido en el ANEXO 3.

B. Algoritmo de solución para la programación de horarios

Algorithm 1 PRIMERA ETAPA

```

1: Seleccionar nivel a programar  $h$ 
2: if  $h > 0$  then
3:   Leer datos del nivel  $h$ :  $nas, nct, np$ 
4:   (Matriz - Semestre)
5:    $a = 1$ 
6:   if  $a \leq nas$  then
7:     Seleccionar asignaturas a programar  $as_{hi}$ 
8:     Leer datos de la asignatura  $as, nc, np$ 
9:     (Matriz - Asignatura)
10:    Buscar bloque horario
11:    if Cumplen Restricciones then
12:      Leer datos de docente de la asignatura
13:      (Matriz-Asignatura- Docente)
14:      Asignar Docente
15:      Generar Matriz - Docente-Asignatura
16:      if Cumplen restricciones then
17:        Programar Grupo de Estudiantes
18:        Generar Matriz - Docente - Asignatura
19:         $a = a + 1$ 
20:      else
21:        Regresar a Paso 12
22:      end if
23:    else
24:      Regresar a Paso 10
25:    end if
26:  else
27:    Regresar a Paso 1
28:  end if
29: else
30:   Salir
31: end if

```

El algoritmo propuesto para dar solución al problema de programación de horarios en la Universidad, tiene los siguientes pasos:

1. Escoger el nivel de referencia (semestre h)
2. Identificar los datos del semestre h en la Matriz-Semestre:

- nas = número de asignaturas de cada nivel
- nc = número de créditos totales del nivel a programar. Sirve para consideraciones respecto a la semana laboral
- nct = número de créditos teóricos totales del semestre
- ncl = número de créditos totales de laboratorio o campo
- np = número de paralelos. Este dato es un estimado de acuerdo al histórico del número de estudiantes.

3. Para cada asignatura as_{hi} del semestre h hacer:

- En la Matriz-Asignatura identificar número de créditos para escoger el bloque horario adecuado. Luego programar el horario, y si existe más de un paralelo, programar secuencialmente todos los paralelos de esa asignatura en el nivel h .
- En la Matriz-Asignatura-Docente identificar al o a los docentes que dictan la asignatura as_{hi} , con su horario histórico, para escoger al docente que se ajuste a este bloque horario.
- Una vez escogido al docente, en la Matriz-Docente-Asignatura proceder a:
 - i) Identificar tiempo de dedicación del docente.
 - ii) Verificar si el docente ya tiene asignado otra asignatura y en qué bloque horario.
 - iii) Programar nueva asignación de bloque horario o escoger nuevo profesor. En cada paso se debe verificar el cumplimiento de las restricciones.
- Si las restricciones se cumplen, asignar horario para la asignatura y el profesor en ese bloque horario. Esta asignación se debe ver reflejada en la Matriz-Docente-Asignatura y en la Matriz- Horario Final Carreras.

4. En la Matriz-Horario Final Carreras, verificar el cumplimiento de restricciones suaves, es decir, que no existan horas huecas en horario para alumnos y en lo posible para profesores.

5. Verificado que se cumplen tanto restricciones duras como suaves, asignar en la Matriz-Horario Final Carreras para el nivel h .

6. Regresar a Paso 1.

La Figura 25 muestra el diagrama de flujo del algoritmo, que da solución a la programación de horarios en la Universidad, en la primera etapa del proceso.

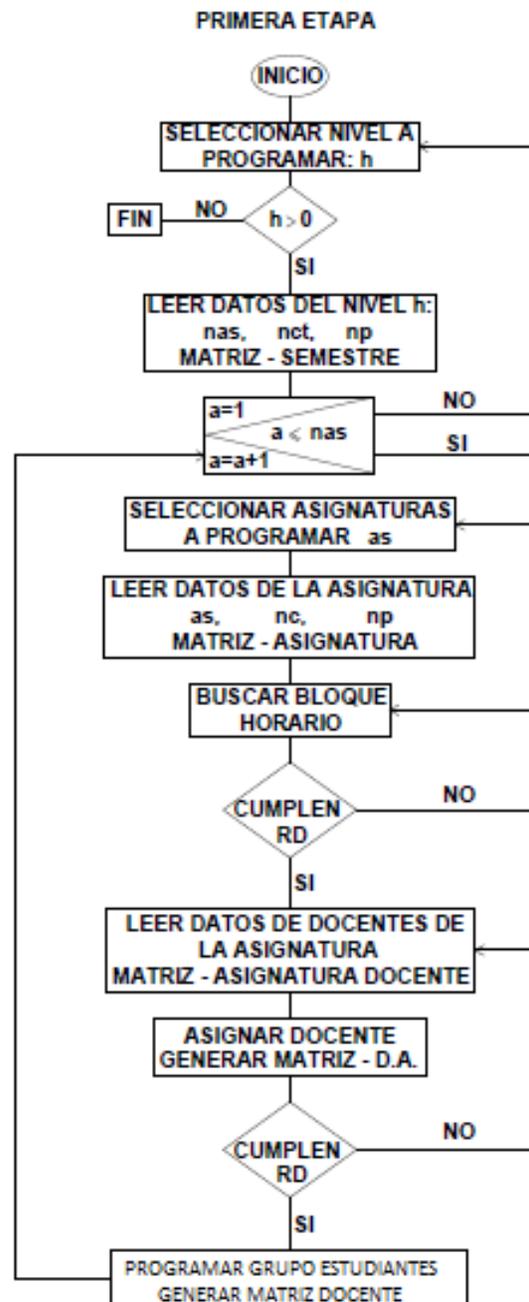


Figura 25. Diagrama de Flujo - Etapa 1.

3.4.2. Segunda Etapa

En esta segunda etapa se redistribuye y optimiza la asignación de aulas para cada una de las carreras de la Institución, en base al resultado de la aplicación del algoritmo planteado en la Etapa 1. Para la distribución y asignación de aulas este trabajo utiliza solo las aulas destinadas a clases teóricas, en los bloques A, B, C y D, considerando, en lo posible, la ubicación de las oficinas de dirección departamental y laboratorios especializados. Esta consideración ayuda a disminuir la movilidad de estudiantes y docentes; mejorando el cumplimiento de las restricciones suaves adoptadas.

A. Descripción de datos para desarrollo del algoritmo – segunda etapa

a) Bloques y pisos asignados a carreras

En base al conocimiento empírico y verificación de las ubicaciones correspondientes, se propone (ver Tabla 10) la siguiente distribución de pisos y bloques de aulas para cada una de las carreras.

Tabla 10

Distribución de Bloques y Pisos a Carreras

BLOQUE	JORNADA	CARRERA	PISOS
Bloque A	Mañana:	Biotechnología	1, 2
		Geográfica	2, 3
		Civil	3, 4
	Tarde:	Comercial	1, 2, 3
		Finanzas	2, 3, 4
Bloque B.	Mañana:	Automatización	1, 2
		Telecomunicaciones	2, 3
		Ed. Infantil	3, 4
	Tarde:	Mercadotecnia	1,2
		Comercio Exterior	3, 4
Bloque C.	Mañana:	Hotelería y Turismo	1, 4
		Mecánica	2, 3
		Mecatrónica	3, 4
Bloque D.	Mañana:	Hotelería y Turismo	1
		Sistemas	1, 2, 3
		Sistemas	1

b) Datos de entrada

Los datos que sirven de insumo para esta segunda etapa son:

- i) Matriz- Horario Final Carreras.
- ii) Información respecto al detalle de aulas.

Matriz - Horario Final Carreras

Es el resultado del algoritmo aplicado en la Etapa 1, y contiene en forma gráfica una primera aproximación de la propuesta de horarios para cada una de las carreras de la Universidad, pero sin asignación de aulas. (Ver Figura 24)

Información de aulas

Información detallada de aulas correspondientes a cada bloque, donde se incluye el código o nombre del aula, la superficie (grande - pequeña) y el número de pupitres o capacidad instalada. Un ejemplo de esta información se ve reflejada en la Figura 26.

FECHA DEL REPORTE: 15.11. 2015			
CODIGO DEL AULA	SUPERFICIE	Número de pupitres	Observaciones
C-101	70,14	34	
C-102	68,88	34	
C-107	34,34		OFICINAS SNNA
C-108	50,25	26	
C-109	68,4	34	
C-110	67,69	34	
C-111	45,13	23	
C-112	67,69	34	
C-201	67,69	34	
C-202	64,6	34	
C-203	64,6	34	
C-204	64,6	34	
C-205	42,33	22	
C-206	47,45	24	
C-207	45,62	23	
C-208	53,98	28	

Figura 26. Ejemplo del detalle de aulas correspondiente al Bloque C.

DEPARTAMENTO	CARRERA	CODIGO	ASIGNATURA	NIVEL	SECCION	NUMEI	EDIFICIO	AULA	CAPAC	HORA_IN	HORA_FI	LUNES	MARTE	MIERCO	JUEVES	VIERNES	DOCENTE	
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MCT - MEC	14039	CIENCIA DE MATERIALES I	3 TERCER NIVEL	1	0	BL001C	C310	34	930	1130						J	L000687E ANDRADE VELAS
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	10014	DIBUJO MECANICO	2 SEGUNDO NIVEL	2	3	BL001C	C206	22	815	915	L						L0007251 TUMIPAMBA TIT
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	10014	DIBUJO MECANICO	2 SEGUNDO NIVEL	2	3	BL001C	C206	22	715	915		X					L0007251 TUMIPAMBA TIT
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	10014	DIBUJO MECANICO	2 SEGUNDO NIVEL	1	3	BL001C	C205	22	1200	1300					V		L0007251 TUMIPAMBA TIT
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	10014	DIBUJO MECANICO	2 SEGUNDO NIVEL	1	3	BL001C	C205	22	1200	1400			X				L0007251 TUMIPAMBA TIT
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	10020	INTRODUCCION A LA ING. MECANICA	2 SEGUNDO NIVEL	1	2	BL001C	C205	22	715	915				J			L0006997 RODRIGUEZ PAR
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	10020	INTRODUCCION A LA ING. MECANICA	2 SEGUNDO NIVEL	2	2	BL001C	C206	22	930	1130					M		L000738E CUEVA HIDALGO
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	14039	CIENCIA DE MATERIALES I	3 TERCER NIVEL	2	0	BL001C	C210	22	715	915	L						L000732E ANDRADE YANEZ
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	10015	DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADOR	3 TERCER NIVEL	2	4	BL001H	LAB		715	915		M					L000720E CEVALLOS VAREZ
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	14040	ESTATICA	3 TERCER NIVEL	2	4	BL001C	C210	22	1200	1400		M					L0006997 RODRIGUEZ PAR
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	14037	PROYECTO INTEGRADOR I MEC	3 TERCER NIVEL	1	2	BL001C	C207	22	930	1130						V	L0010641 GUTIERREZ GUA
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	24052	CIENCIA DE MATERIALES II	4 CUARTO NIVEL	1	3	BL001C	C212	22	930	1130							L000732E ANDRADE YANEZ
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	24052	CIENCIA DE MATERIALES II	4 CUARTO NIVEL	1	3	BL001C	C212	22	930	1030						V	L000732E ANDRADE YANEZ
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	24053	DINAMICA	4 CUARTO NIVEL	1	4	BL001C	C212	22	1200	1400							L000747Z PAZMINO MORA
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	24051	MECANICA DE MATERIALES I	4 CUARTO NIVEL	1	4	BL001C	C212	22	715	915	L			X			L000709E SALAZAR TORRE
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	12070	METROLOGIA	4 CUARTO NIVEL	1	3	BL001C	C212	22	930	1130			X				L0007251 TUMIPAMBA TIT
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	12070	METROLOGIA	4 CUARTO NIVEL	1	3	BL001C	C212	22	1030	1130							L0007251 TUMIPAMBA TIT
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	21063	TERMODINAMICA (4.0)	4 CUARTO NIVEL	1	4	BL001C	C212	22	1200	1400	L			X			L0004378C DELGADO GARCO
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	21076	MECANICA DE FLUIDOS I	5 QUINTO NIVEL	1	5	BL001C	C204	34	930	1130		M				J	L0005472C CARRION MATAI
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	21076	MECANICA DE FLUIDOS I	5 QUINTO NIVEL	1	5	BL001C	C204	34	1030	1130				X			L0005472C CARRION MATAI
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	24050	MECANICA DE MATERIALES II	5 QUINTO NIVEL	1	4	BL001C	C204	34	715	915					M		L0005164E GOYOS PEREZ LU
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	20079	MECANISMOS	5 QUINTO NIVEL	1	4	BL001C	C204	34	715	915	L					X	L000698E ECHEVERRIA YAN
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	22071	PROCESOS DE MANUFACTURA I (LAB)	5 QUINTO NIVEL	1	5	BL001C	C204	34	930	1130							L00039649E SEGURA SANGUI
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	22071	PROCESOS DE MANUFACTURA I	5 QUINTO NIVEL	1	5	BL001C	C204	34	930	1130	L						L0027948E CORTEZ PAZMIN
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	22071	PROCESOS DE MANUFACTURA I	5 QUINTO NIVEL	1	5	BL001C	C204	34	930	1030						X	L0027948E CORTEZ PAZMIN
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	21090	PROYECTO INTEGRADOR II MEC	5 QUINTO NIVEL	1	2	BL001C	C204	34	715	915							L0010641 GUTIERREZ GUA
CIENCIAS DE ENERGIA Y MECANICA	MECANICA	22073	SOLIDADURA I	5 QUINTO NIVEL	1	3	BL001C	C204	34	1200	1400							L000767Z RIOFRIO VILLEN

Figura 28. Propuesta Horario Cero.

Las matrices antes mencionadas se encuentran contenidas en un archivo Excel llamado “Datos-Etapa 2”, incluido en el ANEXO 4.

B. Algoritmo para asignación de aulas

Algorithm 2 SEGUNDA ETAPA

```

1: Seleccionar Nivel  $h$ 
2: if  $h > 0$  then
3:   Distribución Bloques para nivel:  $h$ 
4:   Distribuir pisos del bloque
5:   Leer Datos de nivel y aulas:  $np, q_a$ 
6:    $p = 1$ 
7:   if  $p \leq np$  then
8:     Buscar aula disponible
9:     if Cumple Capacidad then
10:      Asignar Aula a Paralelo
11:       $p = p + 1$ 
12:     else
13:       Regresar a Paso 8
14:     end if
15:   else
16:     Regresar a Paso 1
17:   end if
18: else
19:   Salir
20: end if

```

El algoritmo propuesto para asignar las aulas a cada uno de los grupos, tiene los siguientes pasos:

1. Escoger el nivel de referencia (semestre h)
2. Considerar el bloque y pisos previamente distribuidos para la carrera a la que pertenece el nivel h ,
3. Considerar datos del nivel y de aulas, como número de paralelos programados (np) para ese nivel y capacidad de aulas previamente distribuidas.
4. Para cada uno de los paralelos o grupos del nivel h buscar aula disponible que cumpla con restricciones de capacidad.

5. Verificado que se cumplen las restricciones de capacidad de aulas, asignar aula al paralelo.
Caso contrario regresar a paso 4.
6. Regresar a Paso 1.

La Figura 29 muestra el diagrama de flujo del algoritmo, que asigna aulas a cada grupo de las carreras de la Universidad.

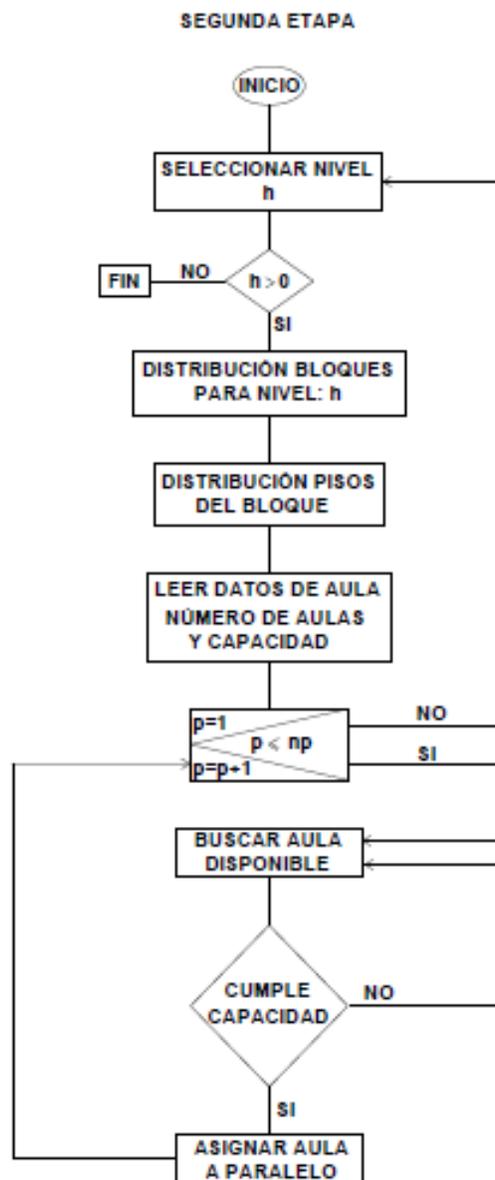


Figura 29. Diagrama de Flujo - Etapa 2.

3.4.3. Criterios de programación

A. Para la programación de los horarios en la Etapa 1, se efectuaron consideraciones adecuadas para que se cumplan las restricciones duras y suaves, con el objetivo de obtener una solución factible. Los criterios que se adoptaron para este trabajo son los siguientes:

- El estudiante o grupo de estudiantes tienen prioridad en esta programación de horarios, es decir, se busca que se cumplan criterios como movilidad, horas libres, comodidad en aulas, jornada laboral, etc.
- Se programan las asignaturas de cada nivel de las carreras de acuerdo a las mallas vigentes, sin tomar en cuenta si son horas de clase teórica o laboratorios, con la idea de establecer el horario de todas las asignaturas de ese nivel en una semana laboral (30 horas). Con este criterio se cumple la restricción dura de que no exista cruces de horarios entre asignaturas de un mismo grupo en un nivel determinado.
- No se programan horas adicionales de laboratorios fuera de la jornada laboral establecida, pues no existió la información solicitada, por tal motivo, será responsabilidad de cada uno de los Departamentos su programación.
- Se verifica el número de créditos totales del nivel para considerar o no programación de clases fuera de la semana laboral. Existen carreras que en sus mallas curriculares tienen niveles con más de 30 créditos. Específicamente, 4 carreras tienen niveles con 31 créditos, 11 carreras tienen niveles con 32 créditos y una carrera (CAFDER) tiene 1 nivel con 33 créditos, esto dificulta la programación horaria pues si son carreras de la mañana hay que programar clases en horario de la tarde con lo que se incumple con una de las restricciones suaves. De manera similar sucede con las carreras de la tarde. En la Tabla 11 se presenta el detalle del número de niveles por carrera que tienen más de 30 créditos.

Tabla 11*Carreras que tienen niveles con más de 30 créditos*

CARRERAS	No. NIVELES CON MÁS DE 30 CREDITOS
Ing. Mecatrónica	4
Ing. Mecánica	3
Ing. Electrónica Automatización.	3
Ing. Electrónica Telecomunicaciones	3
Ing. Comercial	3
Ing. Geográfica	2
Ing. Biotecnología	2
Ing. Mercadotecnia	2
Ing. Comercio Exterior	2
Lic. Actividad Física y Recreación	2
Ing. Sistemas	2
Lic. Educación Infantil	1
TOTAL	29

- Para todos los niveles restantes que tienen máximo 30 créditos, en lo posible, se respetan los horarios en la mañana para las carreras que funcionan en horario matutino y horarios en la tarde para las carreras de horario vespertino, excepto asignaturas de apoyo y algunas propias de cada carrera que se dictan fuera de horario. Esto último puede deberse a la disponibilidad de docentes TP o por disponibilidad de laboratorios.
- Existen asignaturas que tienen paralelos extras en un mismo nivel. Esto, generalmente se debe a la capacidad de los laboratorios o a que el número de alumnos es mayor al promedio en el resto de asignaturas de ese nivel. Si ocurre alguno de estos casos, se programan los paralelos extras fuera de la jornada laboral.
- Se programan primero los horarios de las carreras Técnicas, debido a que sus horarios de funcionamiento están delimitados en la mañana y hay mayor concentración de estudiantes,

es decir, mayor cantidad de grupos a programar. Una vez efectuado esto, se programan los horarios de las carreras Administrativas, que en su mayoría funcionan en la tarde. La carrera de Ingeniería en Sistemas tiene horarios disponibles durante todo el día y es por esta razón que se la programó al final.

- Dentro de las carreras Técnicas se programan primero los horarios para las carreras de Ingeniería Geográfica e Ingeniería Civil puesto que en sus mallas solo contienen asignaturas de créditos pares (excepto *Realidad Nacional* y *Geopolítica* que tiene 3 créditos), lo que facilita la programación de los horarios, pues se ajusta a las bandas horarias definidas.
- Se programa en primer lugar a docentes TP, respetando su tiempo de dedicación y su disponibilidad de horario, procurando minimizar el número de días que deben venir⁶. En lo posible se ha respetado esta disponibilidad, excepto en los casos en que el estudiante tiene muchas horas libres entre clase y clase.
- En segundo lugar se considera al docente TC, que puede estar programado en cualquier horario, es decir, se programa a los docentes TC en bloques horarios de lunes a viernes en todas las bandas horarias, dentro de su jornada laboral⁷.
- Se preferirá asignar las horas de clase al docente TC, en lugar del docente TP, cuando el primero requiera completar su carga horaria.
- Se considera que cada docente tiene establecido previamente las asignaturas de su preferencia, es decir, las que puede impartir; por lo tanto, se procura mantener esta misma asignación de cursos.
- Para asignaturas que tienen dos o tres sesiones por semana, se procura mantener al menos un día de diferencia entre clase y clase, es decir, en lo posible las clases de asignaturas con 4 o más créditos tendrán al menos un día de por medio, evitando clases a días consecutivos.

⁶La programación ha considerado la siguiente premisa: El docente TP tiene que ajustarse al horario de la Institución, y no la Institución adaptarse al horario del docente.

⁷A criterio personal de las autoras, el docente TC es quien debe ajustarse de manera que el horario del grupo de estudiantes no contenga horas libres entre clase y clase.

Con esta consideración se definen los siguientes bloques horarios de acuerdo al número de créditos de las asignaturas y, que han sido adoptados en la programación de los horarios:

- a) **Asignaturas de 4 créditos:** se programan en bloques horarios conformados por una misma franja horaria y dos días de la semana,

M – J, L – X, X – V con mayor intensidad, y L – J, L – V, M – V con menor intensidad.

En casos excepcionales y por evitar horas huecas para los estudiantes se ha programado clases de asignaturas de 4 créditos en bandas horarias distintas. Por ejemplo, la asignatura *Matemática II*, del tercer nivel de Ingeniería en Mercadotecnia, se programó J de 17:15 a 19:15 y V de 19:30 a 21:30. La Figura 30 muestra los bloques horarios para asignaturas de 4 créditos, adoptados para esta propuesta.

LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES

Figura 30. Bloques horarios - asignaturas 4 créditos.

- b) **Asignaturas de 6 créditos:** se programan generalmente en bloques horarios conformados por una misma franja horaria y tres días de la semana: L – X – V. Existen carreras que tienen más de dos asignaturas de 6 créditos en el mismo nivel.

- Si son 3 asignaturas con esa condición se buscan además otras opciones, pero en la misma banda horaria: L – X – J, L – M – J, M – X – V o M – J – V. La Figura 31 muestra los bloques horarios para asignaturas de 6 créditos, adoptados para esta propuesta.

LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES

Figura 31. Bloques horarios - asignaturas 6 créditos.

Ejemplo de esta programación, las carreras de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica tienen, en 2do. nivel, 3 asignaturas de 6 créditos, se programaron 2 asignaturas en L – X – V y la otra en M – J – V.

- Si son 4 asignaturas de 6 créditos en el mismo nivel, caso que se presenta, por ejemplo, en 2do. y 3er. nivel de las carreras de Ingeniería Electrónica, se debe escoger opciones con franjas horarias distintas. En este caso se programaron de la siguiente manera:

M – J – V de 07:15 a 09:15, L – M – J de 09:30 a 11:30, L – X – V de 12:00 a 14:00, y L de 07:15 a 09:15 y X – V de 9:30 a 11:30. La figura 32 muestra este ejemplo de 4 asignaturas de 6 créditos en el mismo nivel.

	3		h39p1	AUTOMATIZACION	
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15-09:15	Electronica I PaladinesMD	Circuitos Ele II MejiaPH	Lab Matemat MarcilloJL	Circuitos Ele II MejiaPH	Circuitos Ele II MejiaPH
09:30-11:30	Circuitos Dig RiosRA	Circuitos Dig RiosRA	Electronica I PaladinesMD	Circuitos Dig RiosRA	Electronica I PaladinesMD
12:00-14:00	Calculo V GuamanEJ	Proy Int I TorresJW	Calculo V GuamanEJ	Proy Int I TorresJW	Calculo V GuamanEJ

Figura 32. Ejemplo nivel con 4 asignaturas de 6 créditos.

c) **Asignaturas de 3 créditos:** tienen asignados a bloques horarios de 180 min. consecutivos en un solo día. Ejemplo de este hecho es la asignatura *Realidad Nacional y Geopolítica*, del DESD, que normalmente se imparte en la banda horaria de 12:00 a 15:00 horas. O tienen asignados 2 días distintos y bandas horarias distintas. En esta propuesta se utilizaron 11 bloques horarios distintos de 180 min. consecutivos en

un solo día, y 19 bloques horarios distintos conformados por dos días de la semana y bandas horarias distintas.

d) **Asignaturas de 5 créditos:** tienen asignados bloques horarios de tres o dos días con bandas horarias distintas. Así mismo en esta propuesta se utilizaron 10 bloques horarios distintos de 2 días a la semana y franjas horarias distintas de 180 y 120 minutos; y, 17 bloques horarios distintos de 3 días a la semana con 2 franjas horarias de 120 minutos y otra de 60 minutos.

- En niveles que tienen asignaturas de 3 y 5 créditos, se programa de manera que se completen bandas horarias. Pueden ser dos asignaturas de 5 créditos, o 2 asignaturas de 3 créditos, o 1 asignatura de 3 y otra de 5 créditos, en tales casos se completan bandas horarias. Ejemplo de esta programación se puede apreciar en la Figura 33.

	2		h56p1		BIOTECN
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15-09:15	Química II EscobarLA		Química II EscobarLA		BiologíaA I MartinS
09:30-11:30	BiologíaV I PaezGT	Química O II JimenezLE	BiologíaV I PG BiologíaA I M	Química O II JimenezL	QuímicaII ELA QuimO II JLE

Figura 33. Ejemplo Nivel con asignaturas de 3 y 5 créditos.

- Para las asignaturas de apoyo, estas se programan en varias carreras, en el mismo horario, con el mismo profesor, es decir se debe compartir una asignatura entre dos carreras. Este hecho fundamentalmente ocurre por la disponibilidad de los docentes o por falta del recurso humano.
- Para la programación de los horarios, se da prioridad a las asignaturas propias de carrera y luego a las de apoyo, empezando con las de 4 créditos si estas son más que las de 6 créditos; al final se programan las de 2 créditos y es el orden en que aparecen en la Matriz-Asignatura.
- En lo posible no se programan cursos de 14:00 a 15:00 horas, pues se considera este período de receso, excepto asignaturas que requieren de laboratorio o tienen 3 o 5 créditos.

B. Para la asignación de aulas en la Etapa 2, se efectuaron las siguientes consideraciones:

- Se distribuyen las aulas de bloques (edificios) para cada carrera, considerando en lo posible la ubicación de las oficinas de dirección departamental y laboratorios especializados, de forma que exista la menor movilidad para el estudiante y para el docente.
- Se asignan aulas a cada uno de los grupos de cada nivel dentro del bloque correspondiente, tomando en cuenta la capacidad de las mismas. De esta manera se cumple con la restricción de respetar la capacidad de las aulas. Cabe destacar que generalmente para los últimos niveles de cada carrera se ocupan aulas pequeñas debido a que el numérico de estudiantes es menor.
- Se programan las asignaturas, de cada grupo, de un nivel determinado en una misma aula, excepto cuando el número de créditos de ese nivel sobrepase el máximo de 30 créditos. De esta manera, una aula no puede estar asignada, al mismo tiempo, a más de un grupo o paralelo. Con esto se minimiza el desplazamiento de los estudiantes, que solo tendrán que cambiar de aula si la asignatura requiere laboratorios o es una asignatura de campo.
- Las horas adicionales de un mismo grupo, que existen por división del número de estudiantes, en alguna asignatura que requiera laboratorios o que tiene exceso de alumnos, se programan en aulas diferentes y en horarios diferentes, pero en el mismo edificio y, en lo posible, en el mismo piso; manteniendo el criterio de minimizar la movilidad.
- Se organizan las asignaturas de 3 y 5 créditos de manera de optimizar el uso de aulas, programando en su mayoría en dos sesiones de 2 y 3 horas. En ocasiones especiales, se programa en dos sesiones de 2 horas y una sesión de 1 hora.
- Si algún grupo tiene paralelos extras de alguna asignatura, este se programa en aulas compartidas con otros paralelos de la misma condición, de manera que el aula pueda ser utilizada al máximo.
- La asignación de aulas se hace, además, procurando combinar o ajustar horarios de la mañana con los de la tarde, es decir, si alguna de las carreras de la mañana tiene asignado un bloque

horario en la tarde, se busca dentro del piso previamente asignado una aula que esté libre en ese bloque horario y que esté asignada a otro grupo de la tarde. Por ejemplo, en el aula A-403 se combina el horario de los paralelos 1 y 2 de 3er nivel de Ingeniería Civil con el paralelo 1 de 5to. de Ingeniería en Finanzas; otro ejemplo, en el aula A-404 se combinan los paralelos 1 y 2 de 4to. Nivel de Ingeniería Civil con el paralelo 2 del 5to. Nivel de Ingeniería en Finanzas. De esta manera se optimiza la utilización de las aulas, con lo que se liberan aulas que inicialmente estaban subutilizadas. La Figura 34 muestra un ejemplo de aulas compartidas.

		3	9-h72p2-com	h12p1	3-h12p2	CIV
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	07:15-09:15	EDO GuamanE	Mecanica Suel BonifazHF	EDO GuamanE	Mecanica Suel BonifazHF	EDO GuamanE
AULA	09:30-11:30	F. Program RuizJA	Estruct Isost PeñaherreraE	Poteccion Amb EscobarOM	Estruct Isost PeñaherreraE	F. Program RuizJA
A-403	12:00-14:00	Reistencia Mat BolañosDR	Topog. Edif LeivaCA	Reistencia Mat BolañosDR	Topog. Edif LeivaCA	Proy. Int 1 AldasMA
	14:00-15:00					
		F. Program	RuizJA	lab	lxv9-11	
		5		h86p1		FIN
	15:00-17:00	Mecanica S BonifazH	Topog. Edif LeivaCA	Mecanica S BonifazH	Topog. Edif LeivaCA	
	17:15-19:15	Contab Gerenc SierraCE	Auditoria Fin I BerronesAV	Contab Gerenc SierraCE	Auditoria Fin I BerronesAV	
	19:30-21:30	Derecho Trib RedinHA	Admin Finan II GarciaJC	Derecho Trib RedinHA	Admin Finan II GarciaJC	
		4	5-h86p1.FIN	h13p1	4-h13p2	CIV
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	07:15-09:15	DiseñoGV 1 RomeroPE	Analisis Estr. MejiaND	DiseñoGV 1 RomeroPE	Analisis Estr. MejiaND	Ensayo Mat RobalinoIC
AULA	09:30-11:30	Liderazgo VasquezRP	Tecnicas Cons ZuñigaJO	Ingenieria Sue BonifazHF	Tecnicas Cons ZuñigaJO	Ingenieria Sue BonifazHF
A-404	12:00-14:00	Metodos N OrdoñezFM	Hidromecanica MasabandaMV	RNG MonteroO	Hidromecanica MasabandaMV	DiseñoGV 1 RomeroPE
	14:00-15:00					
		Metodos N	Ordoñez	lab	lx12-14	
		5		h86p2		FIN
	15:00-17:00	DiseñoGV 1 RomeroPE	Analisis Estr. MejiaND	Ingenieria Sue BonifazH	Analisis Estr. MejiaND	Ingenieria Sue BonifazH
	17:15-19:15	Derecho Trib RedinHA	Admin Finan II CruzMR	Derecho Trib RedinHA	Admin Finan II CruzMR	
	19:30-21:30	Contab Gerenc SierraCE	Auditoria Fin I BerronesAV	Contab Gerenc SierraCE	Auditoria Fin I BerronesAV	

Figura 34. Ejemplo de aula compartida.

- Se ubican en los Bloques G y H, las asignaturas de las distintas carreras que requieren laboratorios especializados de computación, pero sin ningún criterio específico de distribución puesto que no se conocen los equipos de cada laboratorio.

3.4.4. Subetapas para la programación de horarios y asignación de aulas.

- Con la información suministrada de los horarios vigentes en oct 2015 - feb 2016 se elabora un registro de la utilización de las aulas de la Universidad. Aquí se puede apreciar, según los horarios de cada NRC y según colores asignados a cada Departamento de la ESPE, las aulas que están siendo utilizadas en su totalidad y aquellas que están siendo subutilizadas. Este registro, sin embargo, no provee información respecto al docente asignado ni carrera a la que pertenece dicho grupo, pero sí da cuenta de que las aulas están compartidas por todos los Departamentos y, además que los grupos de cada Departamento están repartidos en todos los bloques.
- Se programa mediante el algoritmo desarrollado, el horario de cada grupo de las carreras Técnicas que funcionan en la mañana, en el orden ya explicado y contenido en la Tabla 9, verificando siempre que se cumplan las restricciones adoptadas.
- Se continua la programación de los horarios de los grupos de carreras Administrativas que funcionan tanto en la mañana como en la tarde y; finalmente, se programan los grupos de la Carrera de Ingeniería en Sistemas.
- Una vez terminado el proceso de la Etapa 1, se obtiene una primera propuesta de horario que cumple con restricciones duras y restricciones suaves, con los datos de asignaturas y bloques horarios que se le asigna al docente. Estas dos propuestas de horario están contenidas en las matrices “Horario Final - Carreras” y “Horario Final – Docentes”.
- Se realizan ajustes sucesivos para mejorar la propuesta inicial de horario de forma que se vayan cumpliendo algunas de las restricciones suaves que no necesariamente se cumplieron en la Etapa 1. Se puede verificar, por ejemplo, que existe una presencia mínima de horas huecas entre clase y clase, para los estudiantes.

- Se distribuyen las aulas de cada piso y bloque a cada carrera, de acuerdo a lo expuesto anteriormente y que está detallado en la Tabla 10.
- Se asignan las aulas a cada grupo según el número de estudiantes, de manera que se cumpla con la restricción de capacidad de las mismas, y procurando combinar o ajustar horarios de la mañana con los de la tarde. Un ejemplo de esto es, en el aula A-105 se combina el horario de 6to nivel de Ingeniería en Biotecnología con 9no de Ingeniería en Finanzas.
- Existen casos en los que sólo en una asignatura el número de estudiantes inscritos es superior a la del resto de asignaturas del nivel; esto se debe, generalmente, a la presencia de alumnos que repiten la materia, o por que ésta se comparte con estudiantes de otra carrera. En estos casos se hacen reasignaciones de aulas buscando una nueva, para esa asignatura del grupo, en el mismo bloque y en lo posible en el mismo piso.
- Se inicia la optimización de uso de aulas, procurando combinar o ajustar horarios de la mañana con los de la tarde y utilizando espacios disponibles en aulas de los Bloques A y B para liberar aulas del Bloque C, generalmente, subutilizadas en la tarde. Ejemplo de esto es, Aula C-307 de 9no nivel de Ingeniería Mecatrónica, con las asignaturas *Gestión de Calidad y Productividad*, L - X de 15:00 a 17:00, y; *Diseño y Evaluación de Proyectos*, M - J de 15:00 a 17:00, se trasladan a aulas A-103 y A-308 respectivamente. Esta optimización del espacio físico, lamentablemente, incumple la restricción de menor movilidad, pero libera de la subutilización a una aula y optimiza el uso de otra.
- Se combinan niveles de la misma carrera en una sola aula; por ejemplo, comparten Aula C-112 los niveles 4to, 5to y 8vo de Ingeniería Mecatrónica, y Aula C-407 los niveles 6to de Ingeniería Mecatrónica y, 6to y 7mo de Ingeniería Mecánica. Esto es posible por el número de estudiantes y la distribución de los horarios.
- Se distribuyen aulas en el Bloque D, para asignaturas teóricas de Ingeniería de Sistemas, que lo requieren, combinando varios niveles en una misma aula; por ejemplo, comparten Aula D-106 los niveles 6to, 8vo y 9vo de Ingeniería de Sistemas.

- Se ubican en los Bloques G y H, las asignaturas de las distintas carreras que requieren laboratorios especializados de computación, pero sin ningún criterio específico de distribución puesto que no se conocen los equipos de cada laboratorio. De esta manera las aulas de cada grupo estarán libres para ser asignadas a algún otro grupo que lo requiera, optimizando así el uso de las aulas.
- Una vez terminado el proceso de la Etapa 2, se obtiene una propuesta de horario con asignación de aulas, que cumple con restricciones establecidas, ésta se presenta en la Matriz Horario Final Aulas.

Capítulo 4

4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan los resultados que dan respuesta a las principales interrogantes de este trabajo de investigación, lo que conduce a cumplir con los objetivos específicos planteados. Se explican las reformas que se hicieron a los resultados obtenidos en la primera etapa, para mejorar la programación inicial de horarios, de manera que se verifique el cumplimiento de las restricciones propuestas. Se exponen también los ajustes sucesivos realizados en la distribución inicial de aulas, de tal forma de optimizar su uso y; finalmente, se presenta una comparación de los resultados obtenidos al final de este proceso, con la situación actual de la Institución en lo que a distribución de aulas se refiere.

4.1. Análisis de los resultados

En esta sección se hace un análisis de: la información referente a la utilización de aulas en períodos anteriores, los resultados obtenidos al aplicar los algoritmos de las Etapas 1 y 2, con lo que se logra responder a las preguntas de investigación planteadas en los objetivos específicos de este trabajo de investigación.

4.1.1. Resultados Objetivo 1.

En consideración a lo planteado en el Objetivo 1: “Identificar los problemas que tiene la Institución, en cuanto a la distribución de aulas”, se hizo un análisis de la información, en particular, se analizó el período octubre 2015 – febrero 2016, en los bloques de aulas destinados a clases teóricas y laboratorios especializados de computación. Un ejemplo del análisis se muestra en la Tabla 12,

donde se detallan los porcentajes de utilización⁸ de las aulas de los Bloques A y B, tanto en la jornada matutina como en la vespertina. Se puede observar que de las 41 aulas del Bloque A, en la mañana, 21 están siendo utilizadas al 100 %, 17 están entre el 50 y 90 % de utilización y 1 utiliza apenas el 13 % de las horas laborables, es decir, está desocupada la mayor parte del tiempo. En la tarde, por el contrario, solo hay 3 aulas utilizadas al 100 %, 30 aulas entre el 70 y 90 % de su utilización y 5 aulas cuyo uso está entre 30 y 60 %, situación se repite en las aulas del Bloque B.

Se debe considerar, sin embargo, que en los Bloques A y B hay la mayor concentración de aulas utilizadas y, sólo 4 aulas del Bloque A lo están en su totalidad durante la semana laboral, a saber A-103, A-106, A-201 y A-208. No sucede igual con los bloques C y D donde el porcentaje de desocupación es mucho mayor. La Tabla 13 puntualiza el porcentaje de utilización de las aulas en los bloques C y D, evidenciando la subocupación del recurso físico.

Se puede observar que, de las 26 aulas efectivas del Bloque D, en la mañana, ninguna se utiliza al 100 %, 14 están entre el 30 y 66,67 % de utilización y 6 utilizan menos del 30 % de las horas laborables, cabe resaltar que en este bloque solo el aula D111 está utilizada casi en su totalidad (93,33 %) y el aula D-106 por el contrario se utiliza en un 6,66 % lo que equivale a que se ocupa solo dos horas a la semana y el resto de tiempo pasa desocupada. En la tarde 14 aulas son utilizadas por el SNNA para los cursos de nivelación, situación similar que se repite en el Bloque C, donde solo el aula C-310 está ocupada en su totalidad con clases de pregrado.

En el ANEXO 2 se puede apreciar gráficamente esta subutilización de las aulas sobre todo en de los Bloques C y D. Tablas similares de la utilización de aulas detallando, además, el número de horas usadas, el número de horas desocupadas y sus porcentajes respectivos se presentan en el ANEXO 5.

⁸El porcentaje de utilización de cada aula se obtiene en base al número de horas que ésta permanece ocupada, en una semana laboral de 30 horas, sin considerar los horarios establecidos de recesos.

Tabla 12*Porcentaje de uso de aulas, Bloques A y B*

AULA	PORCENTAJE USO		AULA	PORCENTAJE USO	
	MAÑANA	TARDE		MAÑANA	TARDE
A-101	100,00	70,00	B-110	90,00	86,67
A-102	73,33	30,00	B-111	96,67	73,73
A-103	100,00	100,00	B-112	93,93	90,00
A-104	93,33	73,33	B-113	96,67	86,67
A-105	100,00	60,00	B-114	100,00	83,83
A-106	100,00	100,00	B-115	76,67	73,73
A-107	100,00	93,33	B-116	100,00	43,33
A-108	93,33	76,60	B-117	100,00	63,33
A-109	100,00	86,66	B-118	40,00	86,67
A-201	100,00	100,00	B-210	90,00	93,33
A-202	100,00	80,00	B-211	100,00	86,67
A-203	93,33	76,66	B-212	100,00	73,33
A-204	100,00	66,66	B-213	93,33	86,67
A-205	100,00	86,66	B-214	96,67	80,00
A-206	86,66	73,33	B-215	83,33	73,33
A-207	100,00	80,00	B-216	100,00	56,67
A-208	100,00	100,00	B-217	100,00	60,00
A-219	100,00	73,33	B-218	100,00	53,33
A-220	100,00	66,66	B-310	90,00	80,00
A-301	96,66	80,00	B-311	86,67	73,33
A-302	100,00	80,00	B-312	93,33	66,67
A-303	100,00	76,66	B-313	73,33	80,00
A-304	86,66	73,33	B-314	93,33	80,00
A-305	76,66	86,66	B-315	66,67	80,00
A-306	100,00	86,66	B-316	93,33	80,00
A-307	93,33	93,33	B-317	90,00	53,33
A-308	96,66	86,66	B-318	80,00	66,67
A-309	100,00	80,00	B-410	100,00	80,00
A-319-a	13,33	46,66	B-411	93,33	80,00
A-319-b	53,33	73,33	B-412	90,00	86,67
A-320	80,00	33,33	B-413	93,33	80,00
A-401	96,66	73,33	B-414	100,00	80,00
A-402	100,00	80,00	B-415	86,67	66,67
A-403	96,66	80,00	B-416	100,00	46,67
A-404	100,00	86,66	B-417	86,67	53,33
A-405	93,33	93,33			
A-406	93,33	73,33			
A-407	100,00	80,00			
A-408	96,66	86,66			

Tabla 13*Porcentaje de uso de aulas, Bloques C y D*

AULA	PORCENTAJE USO		AULA	PORCENTAJE USO	
	MAÑANA	TARDE		MAÑANA	TARDE
C-101	80,00	20,00	D-101	0,00	100,00
C-102	93,33	100,00	D-102	0,00	0,00
C-108	86,67	46,67	D-103	66,66	100,00
C-109	90,00	100,00	D-104	40,00	0,00
C-110	73,33	100,00	D-105	0,00	0,00
C-111	33,33	0,00	D-106	6,66	3,33
C-112	100,00	100,00	D-107	0,00	100,00
C-201	93,33	100,00	D-109	13,33	0,00
C-202	90,00	100,00	D-110	66,66	0,00
C-203	63,33	100,00	D-111	93,33	0,00
C-204	100,00	100,00	D-201	46,66	100,00
C-205	66,67	53,33	D-202	63,33	100,00
C-206	66,67	60,00	D-203	66,66	100,00
C-207	46,67	40,00	D-204	46,66	100,00
C-208	76,67	73,33	D-205	36,66	100,00
C-209	93,33	100,00	D-206	0,00	0,00
C-210	80,00	16,67	D-207	26,66	0,00
C-211	100,00	100,00	D-208	40,00	0,00
C-213	100,00	100,00	D-301	33,66	100,00
C-301	100,00	100,00	D-302	33,33	100,00
C-302	73,33	100,00	D-303	26,66	100,00
C-303	93,33	100,00	D-304	20,00	100,00
C-304	100,00	100,00	D-305	46,66	100,00
C-305	73,33	20,00	D-307	33,33	100,00
C-306	80,00	6,67	D-308	13,33	0,00
C-307	46,67	0,00	D-309	60,00	10,00
C-308	80,00	100,00			
C-310	100,00	100,00			
C-312	73,33	100,00			
C-401	100,00	100,00			
C-403	96,67	100,00			
C-404	66,67	100,00			
C-405	6,67	0,00			
C-406	66,67	13,33			
C-407	26,67	0,00			
C-408	80,00	16,67			
C-410	86,67	100,00			
C-411	83,33	100,00			

4.1.2. Resultados Objetivo 2.

En consideración a lo planteado en el Objetivo 2: “ Desarrollar un algoritmo que proporcione una solución al problema de programación de horarios de cada nivel de las diferentes carreras de la Universidad”, se realizó dicho algoritmo, para dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Se puede desarrollar una nueva metodología, que resuelva el problema de generación de horarios y que cumpla las restricciones y necesidades requeridas por la Universidad?

Para responder a esta pregunta de investigación se aplicó el algoritmo descrito en la primera etapa, considerando los criterios de programación y, se obtuvo la Matriz - Horario Final Carreras, que es a la vez el insumo necesario para la Etapa 2, pues contiene en forma gráfica una primera aproximación de la propuesta de horarios para cada una de las carreras de la Universidad, pero sin asignación de aulas.

En la Figura 35 se presenta un ejemplo de horario para el paralelo 2, del segundo nivel de la carrera de Ingeniería Geográfica, (IG) y para el paralelo 1 del tercer nivel de la carrera de Ingeniería en Mercadotecnia (IM), que se obtuvieron luego de aplicar el algoritmo de la Etapa 1. Cabe indicar que el segundo nivel de IG tiene 30 créditos, y 8 asignaturas, por lo cual el nivel se puede programar en una semana laboral completa; por otra parte, el tercer nivel de IM tiene en total 32 créditos y 8 asignaturas, por lo que el mismo no se puede programar en una semana laboral establecida de 30 horas, y es así que los 2 créditos restantes tienen que ser programados en la mañana.

En el ejemplo de este objetivo, en color amarillo se representa a la carrera de la mañana y en color durazno a la carrera de la tarde. Esta asignación nos permite identificar asignaturas de la mañana programadas en la tarde, lo cual puede deberse a que el número de créditos de ese nivel sobrepasa el máximo de 30 créditos o, por disponibilidad del docente o, de los laboratorios. En el caso de IM y debido a que la asignatura adicional es de computación, se incluye una nota donde indica el nombre de la asignatura, nombre del docente y bloque horario.

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	
07:15-09:15	Q. Ambiental 2 HaroMP	Fisica 1 VelascoEE	Q. Ambiental 2 HaroMP	Fisica 1 VelascoEE	Edafologia FernandezMC	
09:30-11:30	Calculo V CobaC	Geologia/geom CruzMA	Calculo V CobaC	Geologia/geom CruzMA	Calculo V CobaC	
12:00-14:00	Geografia FE PachacamaRF	Estadistca 2 GuerronR	Biogeografia 2 SimonD	Estadistca 2 GuerronR	Biogeografia 2 SimonD	
14:00-15:00						
15:00-17:00	Estadist Inf ArealoMM	Admin RH GarciaJF	Proy Int I BorsicZD	Admin RH GarciaJF	Proy Int I BorsicZD	MERC h75p1
17:15-19:15	Macroeconom BoadaPE	Matematica II VacaLS	Macroeconom BoadaPE	Matematica II VacaLS	Estadist Inf ArealoMM	
19:30-21:30	Comport Cons VegaIM	Inv Oper I HuertasWR	Comport Cons VegaIM	Inv Oper I HuertasWR	Diseño Graf NouryM	
	diseño grafico	noury	l,x-12-14			

Figura 35. Ejemplo 1 - Horario obtenido en Etapa 1.

En la parte superior del cuadro se etiqueta el nivel-paralelo y el nombre de la carrera de los grupos de la mañana, y a la derecha del mismo se etiqueta el nombre de la carrera y el nivel-paralelo de los grupos de la tarde. La etiqueta “nivel-paralelo” da información respecto al nivel, h , al que corresponde la carrera y al paralelo, p , de ese nivel. En este ejemplo $h2p2$ indica el segundo nivel ($h2$) y paralelo 2 ($p2$) de IG; por otro lado, $h75p1$ indica el tercer nivel ($h75$) y paralelo 1 ($p1$) de IM. El nivel se puede obtener consultando la Tabla 9 donde están asignados los índices h para cada carrera, ahí se puede observar que IM pertenece al intervalo $[73, 81]$ con lo que $h75$ correspondería al tercer nivel de dicha carrera. Sin embargo, una manera fácil de saber a qué nivel corresponde el índice h , siempre que se tenga clara la carrera, es sumando sus dígitos hasta obtener un número con un solo dígito, es decir,

$$7 + 5 = 12 \quad \Rightarrow \quad 1 + 2 = 3$$

Esta regla se cumple para todas las carreras excepto para Ingeniería en Sistemas (IS), en donde, se debe sumar 1 a la suma final de los dígitos; por ejemplo, $h130$ correspondería al 5to nivel de IS, pues,

$$1 + 3 + 0 = 4 \quad \Rightarrow \quad 4 + 1 = 5$$

Otro ejemplo de los horarios obtenidos al final de la Etapa 1 se muestra en la Figura 36, donde se observa el horario de los paralelos 1 y 2 del tercer nivel de Ing. Civil, es decir, h_{12p1} y h_{12p2} . En este caso el paralelo 2 está formado por las horas adicionales del mismo grupo, las cuales existen por división del número de estudiantes, en las asignaturas *Mecánica de Suelos* y *Topografía de la Edificación*. Las horas se programan en la tarde para que no existan cruces con las otras asignaturas del mismo grupo. Y para diferenciarlas del paralelo 1 se escriben en color rojo, tanto la etiqueta como los nombres de las asignaturas y sus docentes. Por otra parte, en color azul se representaran, en general, las asignaturas de computación que se dictan en laboratorios y que más tarde serán espacios disponibles en las aulas.

	3		h_{12p1}	h_{12p2}	
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15-09:15	EDO GuamanE	Mecanica Suel BonifazHF	EDO GuamanE	Mecanica Suel BonifazHF	EDO GuamanE
09:30-11:30	F. Program RuizJ	Estruct Isost PeñaherreraE	F. Program RuizJ	Estruct Isost PeñaherreraE	F. Program RuizJ
12:00-14:00	Reistencia Mat BolañosDR	Topog. Edif LeivaCA	Reistencia Mat BolañosDR	Topog. Edif LeivaCA	Proy. Int 1 AldasMA
14:00-15:00					
15:00-17:00	Mecanica S BonifazH	Topog. Edif LeivaCA	Mecanica S BonifazH	Topog. Edif LeivaCA	
17:15-19:15					
19:30-21:30					

Figura 36. Ejemplo 2 - Horario obtenido en Etapa 1.

En el ANEXO 4 se presenta la Matriz - Horario Final Carreras, con todos los horarios programados, como parte del archivo Datos Etapa 2.

4.1.3. Resultados Objetivo 3.

En consideración a lo planteado en el Objetivo 3: “Distribuir y asignar de manera adecuada las aulas de la Universidad, en base al resultado de la aplicación del algoritmo planteado”, se desarrolló también un algoritmo que da solución al problema de distribución de aulas, dando respuesta a la pregunta de investigación: ¿Se puede distribuir, en forma óptima, las aulas de los diferentes bloques

y pisos, para cada una de las carreras de la Institución, que mejore la situación actual?

Para responder a esta pregunta, aplicando el algoritmo correspondiente a la segunda etapa y considerando los criterios de programación antes detallados; así como, la asignación previa de bloques y pisos para cada carrera y la capacidad de las aulas, se obtuvo la primera versión de la distribución de aulas que aparece en la Matriz - Aulas - v0, contenida en un archivo provisional llamado “transiciones-horario”, que no se incluye en los anexos de este trabajo pues solo sirvió como base para obtener la versión “Horario Final Aulas”.

En esta primera versión solo se ubicó en los bloques y pisos correspondientes a los grupos, programados en la primera etapa, sin realizar ningún ajuste.

En las Figuras 37 y 38 se presentan ejemplos de la primera distribución de aulas en los Bloques A y B, con los colores establecidos para cada departamento. Así, en el Bloque A se distingue la etiqueta de Ingeniería en Biotecnología, en color verde y; en el Bloque B la etiqueta de Ingeniería Electrónica en Automatización y Control, en color celeste. En los Bloques C y D las etiquetas de las carreras Ingeniería Mecánica e Ingeniería en Administración Turística y Hotelera, con sus respectivos colores.

BLOQUE A							BLOQUE B						
		1	h55p1 Biotecnologia						1	h37p1 Automatizacion			
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES			LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	07:15-09:15	Quimica I JaramilloNG	Algebra L SubiaNE	Quimica I JaramilloN	Algebra L SubiaNE	Quim I -JN QuimO I -ME		07:15-09:15	COE SandovalEM	Estadistica I LeonGR	Algebra L SubiaNE	Estadistica I LeonGR	Algebra L SubiaNE
AULA A-101	09:30-11:30	Calculo Dif PortillaJ	Fisica I ChamorroWE	Calculo Dif PortillaJ	Fisica I ChamorroWE	Calculo Dif PortillaJ	AULA B-110	09:30-11:30	Calculo D TandazoJ	Fisica I MerchanPA	Calculo D TandazoJ	Fisica I MerchanPA	Calculo D TandazoJ
	12:00-14:00	lab. Biologia LoaizaMF	Quimica O I MaflaER	COE AvilesM	Quimica O I MaflaER	Educ Fisica PoncePM		12:00-14:00	F.Program NavasAR	Dibujo Tec G HidalgoAG	F.Program NavasAR	Dibujo Tec G HidalgoAG	F.Program NavasAR
	14:00-15:00							14:00-15:00					
		1	h64p1 Comercial						1	h73p1 MERCADOTECNIA			
	14:00-15:00							14:00-15:00					
AULA A-101	15:00-17:00	Matem Admir AulesHP	Derecho Lab ArgotiWO	Matem Admir AulesHP	Derecho Lab ArgotiWO		AULA B-110	15:00-17:00	Contabilidad I MosqueraMP		Contabilidad MosqueraMF	COE LlerenaMF	
	17:15-19:15	Administracio HidalgoJP	Contabilidad HernandezIP	Administracio HidalgoJP	Contabilidad HernandezIP	COE VillaBE		17:15-19:15	Matem Admir CarrascoFP	Administracio VillarroeIP	Matem Admir CarrascoFP	Administracio VillarroeIP	
	19:30-21:30		Derecho Mys GarciaSP	Comp Avanz CaizaguanoCC	Derecho Mys GarciaSP	Comp Avanz CaizaguanoCC		19:30-21:30	Comp Avanz De La TorreEA	Legislac Emp OrozcoCA	Comp Avanz De La TorreEA	Legislac Emp OrozcoCA	

Figura 37. Ejemplo 1 Aulas-v0.

BLOQUE C						BLOQUE D							
		7		h25p1		8		h107p2		h107p1		Turismo	
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES		
	07:15-09:15						Planif Menu MorenoMF	Planif Menu EspinozaPM	Planif Menu MorenoMF	Planif Menu EspinozaPM			
AULA C-211 34	09:30-11:30	Sist Hid Neu TerneusCF	Sist CAD/CAM EscobarLF	Diseño Mec IlavicencioA	Sist CAD/CAM EscobarLF	Diseño Mec IlavicencioA	Proy Prof Gr ReaMP	Gestion Vent MaciasMC	Proy Prof Gr ReaMP	Gestion Vent MaciasMC			
	12:00-14:00	Mot Comb Int CabreraAG	Sist Hid Neu CarrionLM	Diseño Termic GuasumbaSJ	Mot Comb Int CabreraAG	Diseño Termic GuasumbaSJ	Planif Estrat PazmiñoJF	Liderazgo RecaldeLA	Planif Estrat PazmiñoJF				
	14:00-15:00												
	15:00-17:00		Inv Oper I PachacamaVH	Proy Int III OrozcoGE	Inv Oper I PachacamaVH				Gestion Emp SanMartinJH		Gestion Emp SanMartinJH		
	17:15-19:15												
	19:30-21:30												

Figura 38. Ejemplo 2 Aulas-v0.

Además se distribuyó aulas en el Bloque D para asignaturas de la carrera de Ingeniería en Sistemas que lo requieren, combinando varios niveles en una misma aula; por ejemplo, comparten Aula D-106 en la mañana primer nivel paralelo 1 y en la tarde los niveles 6to, 8vo y 9vo de Ingeniería en Sistemas, lo que se puede apreciar en la Figura 39.

		1		h126p1		Sistemas	
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	
	07:15-09:15		Sist Dig B MolinaPW			Sist Dig B MolinaPW	
AULA D-106 34	09:30-11:30	Calculo D CadenaMN	Calculo D CadenaMN	Metod Inv EscobarWA	Calculo D CadenaMN	Metod Inv EscobarWA	
	12:00-14:00	Algebra L AulesHM	Electr Bas DelaCruzDR	Algebra L AulesHM	Electr Bas DelaCruzDR	COE VinuezaMC	
	14:00-15:00						
			9-h134p1	6-h131p1	8-h133p2	SIS	
	15:00-17:00		Gest Cal Prod FernandezM	Adm Finan I CarrilloAP	Gest Cal Prod FernandezM	Ingles Tec VillacisCJ	
	17:15-19:15		Dis Eval Proy CanguiRP		Dis Eval Proy CanguiRP	Adm Finan I CarrilloAP	
	19:30-21:30	Mercadotec B311-ceni	Adm Finan I AlvearGS	Mercadotec MartinezCE	Adm Finan I AlvearGS		

Figura 39. Ejemplo 3 Aulas-v0.

Se ubican en los Bloques G y H, las asignaturas de las distintas carreras que requieren laboratorios especializados de computación, pero sin ningún criterio específico de distribución, puesto que no se contó con la información oportuna y adecuada de los equipos de cada laboratorio. En la Figura 40 se observa un ejemplo de esta situación.

BLOQUES G y H

		BLOQUES G y H											
			h3p1-geo	3-h57p1-bio	4-h58p1			h20p2-mec	h48p2-tele	h40p1-auto	h75p2-merc	h20p1-mec	
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES		
	07:15-09:15		Metodos Num BernisR		Metodos Num BernisR		07:15-09:15	Regn Soft Ele AndrangoJF	Metodos Num PugarinMP	Regn Soft Ele AndrangoJF	Regn Soft Ele AndrangoJF	Metodos Num PugarinMP	
LAB G-201	09:30-11:30	F.Program ArevaloS	Metodos Num BetancourtN	F.Program ArevaloS	Metodos Num BetancourtN	F.Program ArevaloS	LAB G-301	09:30-11:30	Program I QuirozD		Program I QuirozD	Lab Matem MarcilloJL	Program I QuirozD
30	12:00-14:00		Introd. Prog. NavasA		Introd. Prog. NavasA		35	12:00-14:00	Diseño Graf NacatoG	Lab Matemat OrdoñezFM			
	14:00-15:00				3-h57p2-bio	H64P1		14:00-15:00					
	15:00-17:00	Introd. Prog. MenesesFH		Introd. Prog. MenesesFH				15:00-17:00	Comp Avanz NouryM	Comercio Elec MaldonadoSB	Comp Avanz NouryM	Comercio Elec MaldonadoSB	Diseño Graf NacatoG
	17:15-19:15							17:15-19:15					
	19:30-21:30			Comp Avanz CalzaguanoCO		Comp Avanz CalzaguanoCC		19:30-21:30					

Figura 40. Ejemplo 4 Aulas-v0.

En la Tabla 14, según el modelo propuesto, se detalla el número de aulas grandes y pequeñas de acuerdo a los requerimientos de cada carrera matutina; y, de manera similar, en la Tabla 15 para las carreras vespertinas.

Tabla 14

Número de aulas requeridas en la mañana, según modelo

h	CARRERA	No. Aulas Grandes	No. Aulas pequeñas	Total Aulas
1	Ingeniería Geográfica	4	9	13
2	Ingeniería Civil	8	3	11
3	Ingeniería Mecánica	6	7	13
4	Ingeniería Mecatrónica	9	6	15
5	Electrónica - Automatización	9	3	12
6	Electrónica - Telecomunicaciones	8	4	12
7	Ingeniería en Biotecnología	4	12	16
12	Ingeniería en Turismo y Hotelería	7	8	15
13	Licenciatura en Educación Infantil	2	9	11
15	Ingeniería en Sistemas	7	0	7
	TOTAL	64	61	118

Tabla 15

Número de aulas requeridas en la tarde, según modelo

h	CARRERA	No. Aulas Grandes	No. Aulas Pequeñas	Total Aulas
8	Ingeniería Comercial	16	2	18
9	Ingeniería en Mercadotecnia	4	10	14
10	Ingeniería en Finanzas y Auditoría	15	3	18
11	Ingeniería en Comercio Exterior	7	10	17
15	Ingeniería en Sistemas	2	0	2
	TOTAL	44	25	69

En las dos últimas tablas se puede observar que tanto en la mañana como en la tarde existen carreras que requieren más aulas pequeñas que grandes; por ejemplo, Biotecnología requiere 12 aulas pequeñas y sólo 4 aulas grandes, sucede lo mismo en Geográfica, Educación Infantil, Mercadotecnia y Comercio Exterior. La necesidad total de aulas pequeñas según el modelo es de 61 para la mañana y 25 para la tarde; sin embargo los datos que se muestran en la Tabla 7, el número total de aulas pequeñas en los Bloques A, B, C y D son apenas 48, es decir, el requerimiento de aulas pequeñas es mayor en 13 aulas. Este hecho obliga a asignar grupos pequeños en aulas grandes. La situación en la tarde no reviste ningún problema puesto que se necesitan solo 69 aulas, 44 grandes y 25 pequeñas, para cubrir con la demanda de estudiantes.

En una segunda versión de la distribución de aulas que aparece en la Matriz - Aulas-v1, del mismo archivo provisional, se realizan ajustes sucesivos a la distribución inicial de aulas, emprendiendo de esta manera el proceso de optimización en el uso de las aulas. En particular se presenta dos tipos de optimización:

- i) Se procura combinar horarios de la mañana con los de la tarde y utilizar espacios disponibles en aulas de los Bloques A y B para liberar aulas del Bloque C, subutilizadas en la tarde. Lamentablemente se incumple parcialmente la restricción de movilidad para las asignaturas de apoyo; sin embargo, las asignaturas propias de carrera se asignan a aulas del mismo bloque y en lo posible del mismo piso.

Para ejemplificar este hecho consideramos la asignatura *Diseño y Evaluación de Proyectos*,

- ii) Se combinan niveles de la misma carrera en una sola aula; por ejemplo, los niveles 4to, 5to y 8vo de Mecatrónica, y los niveles 6to de Mecatrónica y 6to y 7mo. de Mecánica, comparten las aulas C-112 y C-407, respectivamente. Esto se puede observar en la Figura 43.

		5	8-h35p2	h32p2	4-h31p2	MCT			6	7-h25p2-mec	h33p2	6-h24p2-mec	MCT
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES			LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	07:15-09:15	Mec Mat II PerezJE		Mec Mat II PerezJE	DisELMaq SL			07:15-09:15	Sist Control GuamanAV	Mecanismos EcheverriaJF	Sist Control GuamanAV		Mecanismos EcheverriaJF
AULA C-112 34	09:30-11:30	Dis Elem Mac SeguraLJ	Proc Manuf QuezadaMP	Dis Elem Mac SeguraLJ	Proc Manuf I CortezBH	Proc Man I CB	AULA C-407 22	09:30-11:30	Dis Ele Maq NarvaezCP	Vibraciones ArlaSM	Dis Ele Maq NarvaezCP	Pintura PerezKA	DisELMaq NCP
	12:00-14:00	SistCDCMCE EscobarLF	Aut Ind Mct GomezAP	Dinamica AndradeKG	Aut Ind Mct GomezAP	Dinamica AndradeKG		12:00-14:00		Sistemas Dig ZapataMA	Mot Comb In CabreraAG	Sistemas Dig ZapataMA	Mot Comb In CabreraAG
	14:00-15:00							14:00-15:00					
		SistCDCMCE	EscobarLF	lab	lxv-12-14	8-h35p2							

Figura 43. Ejemplo 3 Aulas-v1.

Ejemplos adicionales de ajustes realizados para optimizar el uso de aulas son:

- La asignatura *Diseño y Evaluación de Proyectos* de 8vo. Nivel de Mecánica, programada L – X de 15:00 a 17:00 del aula C-213 se traslada al aula B-312 de Comercio Exterior.
- La asignatura *Liderazgo* de 6to nivel de Mecánica, programada M de 15:00 a 17:00, se traslada del aula C-209 al aula B-110 de Mercadotecnia.

Estos y más refinamientos se pueden visualizar en la Matriz - Horario Final Aulas, la cual contiene en forma gráfica la propuesta de horarios para cada una de las carreras de la Universidad. En el ANEXO 4 se presenta la Matriz - Horario Final Aulas, como parte del archivo Datos Etapa 2, que contiene la propuesta final de programación de horarios y distribución de aulas en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Adicionalmente se presenta la Matriz - Propuesta Horario Cero, que contiene la información de la propuesta final de horarios y asignación de aulas, en el formato manejado por la Institución, es decir, la información ordenada por: Departamento, Carrera, Nivel, Asignatura (Ver Figura 28).

4.2. Discusión de los resultados

En esta sección se hace un análisis de la información que se tenía antes y la que se consiguió después de la aplicación del modelo propuesto, en lo que se refiere a: número de grupos o paralelos

programados, distribución y uso de las aulas, horarios de grupos de estudiantes y de docentes, así como también de los bloques horarios utilizados.

4.2.1. Número de paralelos

Se programó un número adecuado de paralelos para cada nivel de las distintas carreras de la Universidad, de acuerdo al histórico del número de estudiantes y del número de paralelos abiertos en períodos anteriores; sin embargo, en muchos casos este número debió disminuirse puesto que el numérico de estudiantes no justificaba programar el mismo número de paralelos abiertos en períodos anteriores.

Por ejemplo, para la asignatura *Microbiología I* de la carrera de Ingeniería en Biotecnología, que tenía un total de 43 estudiantes en el período octubre 2016 - febrero 2017, se abrieron 4 paralelos de 10, 12, 10 y 11 estudiantes, con el mismo profesor, y, para la asignatura *Redes Industriales* de la carrera de Ingeniería en Automatización y Control, que tenía 73 alumnos en el mismo período mencionado, se abrieron 5 paralelos de 18, 18, 13, 11 y 13 estudiantes respectivamente; sin ser asignaturas que necesiten de laboratorio, pues en la información utilizada para este proyecto estas asignaturas se dictan en aulas de los Bloques A, B y D; consideramos que, en el primer caso no es necesario abrir 4 sino solo 2 paralelos de 21 y 22 alumnos, y, para el segundo caso, así mismo, no es necesario 5 sino solo 3 paralelos de 24, 24 y 25 estudiantes. Esta posible distribución de número de alumnos puede ser la estándar en la Institución.

Situaciones similares se exponen en el ANEXO 6, donde se detalla el número de paralelos abiertos, para cada asignatura, en los períodos octubre 2015 - feb 2016, y octubre 2016 - febrero 2017, y además los paralelos necesarios según el modelo; para los Departamentos DECEM, DEEE y DECV, que presentan el mayor número de estos casos.

Consideraciones como estas provocan que exista una reducción del número de paralelos programados, lo que conlleva a una disminución de la carga horaria de muchos docentes.

4.2.2. Uso de aulas.

El estudio realizado respecto del número de aulas que ocupa cada uno de los Departamentos, detallado en la Tabla 8, revela que existe una “mala” distribución de las aulas de clases teóricas. Con la aplicación del modelo propuesto se logró reducir el número de aulas que utiliza cada uno de los Departamentos. Estas cifras del antes y después se presentan en la Tabla 16, donde se detalla la situación actual y la propuesta, respecto a los Bloques y número de aulas utilizados por Departamento.

Tabla 16

Bloques y número de aulas usadas, antes y después de la aplicación del modelo

No.	DEPARTAMENTOS	SITUACION ACTUAL		MODELO	
		BLOQUES	No. Aulas	BLOQUES	No. Aulas
1	CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA	A, B, C, D	57	C	28
2	CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN	A, B, D, G, H	26	D, G, H	7 + 12
3	CIENCIAS DE LA VIDA	A, B, C, D	28	A	16
4	CIENCIAS ECON. ADMIN. Y COMERC	A, B, C, D	108	A, B, C	82
6	CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES	A, B, C, D	94	B	11
7	CIENCIAS TIERRA Y CONSTRUCCIÓN	A, B, C, D	57	A	24
8	ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	A, B, C, D	73	B	24

Se puede ver que en todos los Departamentos se disminuyó considerablemente el número de aulas usadas, así como también que ya no están distribuidas en todos los bloques sino concentradas.

Por mencionar los casos más significativos: el DECEM, que usaba 57 aulas repartidas en todos los bloques, con el modelo utilizan 28 aulas y solo en el Bloque C. El DEEE con el modelo pasa de utilizar 73 aulas a 24 y sólo en el Bloque B. Los resultados restantes se pueden observar en la Tabla 16.

Es importante destacar que los Departamentos DECC y DECHS no tienen un parámetro real de comparación puesto que, las aulas utilizadas en el DECC incluían las usadas por otros Departamentos que requieren laboratorios, y el modelo determinó que se necesitan 7 aulas de clases teóricas y 12 aulas de laboratorio propias de la carrera. En cuanto al DECHS utilizaban 94 aulas,

pero muchas de ellas son clases de apoyo para todas las carreras; por lo tanto, no existe un número preciso de aulas que utiliza la carrera en sí, según el modelo solo requieren 11 aulas para la Licenciatura en Educación Infantil.

4.2.3. Horario de Grupos de Estudiantes

De acuerdo a lo información recopilada y analizada actualmente existe una gran movilidad de los estudiantes; con la aplicación del modelo, se puede asegurar que los nuevos horarios son compactos y prácticamente se minimiza la movilidad, puesto que cada grupo tiene asignado una sola aula y solo tienen que trasladarse para recibir asignaturas que requieren de laboratorios o trabajo de campo, y para materias que se comparten con otras carreras. Ejemplos que verifican lo mencionado se muestran en la Figura 44.

		2		h20p2		MEC
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	07:15-09:15		Fisica II MendezGD	Dibujo Mec TumipambaE	Fisica II MendezGD	Fisica II MendezGD
	09:30-11:30	Calculo V GuamanEJ	Int. Ing. Mec CuevaHM	Calculo V GuamanE	Lab Matem MarcilloJL	Calculo V GuamanE
AULA C-206 24	12:00-14:00	Program I RodriguezPM	Estadistica I LatorreO	Program I RodriguezPM	Estadistica I LatorreO	Program I RodriguezPM
	14:00-15:00					
		1		h91p2		CENI
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	15:00-17:00		Contabilidad RomoHG	Administración VillaroelPA	Contabilidad RomoHG	Administración VillaroelPA
AULA B-311 34	17:15-19:15	Comput Avanz SalazarCV	Matematica SilvaJV	Comput Avanz SalazarCV	COE LLerenaMF	Matematica SilvaJV
	19:30-21:30	Mercadotecnia MartinezCE	Microeconomía GuerronMI	Mercadotecnia MartinezCE	Microeconomía GuerronMI	

Figura 44. Horario de grupos de estudiantes.

En esta figura se puede observar el horario de los grupos:

- $h20p2$, paralelo 2 del 2do. nivel de Ingeniería Mecánica, no tienen horas huecas, reciben casi todas sus clases en el aula C-206 y solo tienen que trasladarse a los laboratorios de

computación los J de 09:30 a 11:30 y los L - X - V de 12:00 a 14:00.

- b) *h91p2*, paralelo 2 del 1er. nivel de Ingeniería en Comercio Exterior, así mismo reciben casi todas sus clases en el aula B-311 y solo se movilizan los L - X de 17:15 a 19:15 por la asignatura *Computación Avanzada*.

Existen sin embargo, grupos que tienen horas huecas, pero son solo dos casos, a saber, el 5to nivel de Ingeniería en Biotecnología que tienen 2 horas libres el lunes de 09:30 a 11:30, y el 4to nivel, también de Ingeniería en Biotecnología, que tiene una hora libre el lunes de 10:30 a 11:30, debido a la disponibilidad de los docentes. Este hecho se observa en la Figura 45.

		5		h59p2		BIO
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	07:15-09:15	Enzimología AvalosR	Diseño Exp. RomeroPJ	Enzimología AvalosR	Diseño Exp. RomeroPJ	Proy Int IIA TaípeMV
AULA A-219 34	09:30-11:30		Fitoquímica NaranjoBF	Biología Mol MedinaME	Fitoquímica NaranjoBF	Biología Mol II MedinaME
	12:00-14:00	Genética SegoviaMC	Microbiología KochAR	Genética SegoviaMC	Microbiología I KochAR	
	14:00-15:00					
		4		h58p2		BIO
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	07:15-09:15	Fisicoquímica ZuñigaRJ	Bioquímica I JimenezAL	Fisicoquímica ZuñigaRJ	Bioquímica I JimenezAL	Proyecto Int IE ProañoFW
AULA A-108 34	09:30-11:30		Metodos Num BetancourtN	Biología Mol ProañoKI	Metodos Num BetancourtN	Biología Mol I ProañoKI
	12:00-14:00	Bioseguridad FloresFJ	Estadística II A304-geo		Estadística II GuerronR	
	14:00-15:00					

Figura 45. Horas Huecas en horario estudiantes.

Una de las restricciones suaves adoptadas en el modelo fue que: “ Un estudiante no debe tener solo una clase en un día”; sin embargo, y debido muchas veces a la disponibilidad de los docentes TP, sobre todo de las asignaturas de apoyo, o porque el número de créditos del nivel programado es de 26 o 32 créditos, existen 11 grupos de estudiantes (9.3 %), de un total de 118 grupos programados, que deben asistir solo por dos horas en un día, 4 de estos por el número de créditos y 7 por

la disponibilidad del docente, es decir, apenas el 5,9 % de los grupos de estudiantes programados incumple con esta restricción. La Figura 46 muestra ejemplos de estos grupos.

		3		h102p1		TURISMO
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	07:15-09:15	Proy Int I TH MaldonadoBF	Transp Turis HuaracaLE	Proy Int I TH MaldonadoBF	Transp Turis HuaracaLE	
AULA	09:30-11:30	Bases Prod Cu JacomeMF	dministracio RualesSM	Tecn Restaur MorenoMF	dministracion RualesSM	
C-108	12:00-14:00	Bases Prod Cu JacomeMF	acroeconom MartinezSR	dmin Financ BenitezKN	acroeconom MartinezSR	dmin Financ BenitezKN
26	14:00-15:00					
		5		h113p1		ED.INF
		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
	07:15-09:15	Tec Prelec Esc PadillaGC	desarrollo Em CevallosFL	Tec Prelec Esc PadillaGC	Tec Prelec Esc PadillaGC	
AULA	09:30-11:30	Expres Plast SolisMC	lenguaje Pen RodriguezMA	Expres Plast SolisMC	lenguaje Pen RodriguezMA	Expres Plast SolisMC
B-413	12:00-14:00	Estim Tempr DelHierroSI		Estim Tempr DelHierroSI	Estim Tempr DelHierroSI	
34	14:00-15:00					

Figura 46. Ejemplos Horarios con 2 horas en un día.

En esta figura se puede observar el horario de los grupos:

- $h102p1$, paralelo 1 del 3er. nivel de Ingeniería en Administración Turística y Hotelera, tienen 26 créditos totales por lo que deben asistir solo por dos horas el día viernes.
- $h113p1$, paralelo 1 del 5to. nivel de la Licenciatura en Educación Infantil, deben asistir solo por dos horas el día viernes, por mantener misma banda horaria y cumplir la restricción de día de por medio en asignaturas que tienen más de una sesión en la semana.

4.2.4. Horario de docentes.

Se hizo un estudio de los horarios de cada uno de los 716 docentes que laboran en la ESPE matriz, observándose que sobre todo los docentes TP:

- i) debían asistir a laborar todos los días de la semana,
- ii) tenían horas libres entre clase y clase,
- iii) no se respetaba el receso de 14:00 a 15:00, y
- iv) muchas veces venían 2 horas en la mañana y dos horas en la tarde.

En este trabajo de investigación se programó a los docentes TP respetando, en lo posible, su tiempo de dedicación y su disponibilidad de horario y procurando reducir el número de días que deben asistir, pero recordando que el estudiante o grupo de estudiantes tienen prioridad en esta programación y tomando en cuenta que es el docente quien tiene que ajustarse al horario de la Institución y no la Institución adaptarse al horario del docente.

En muchos casos se logró mejorar su situación de horarios, en otros se mantuvo el mismo horario y en algunos casos se obtuvieron horarios con mayor dispersión, éste último se produce por evitar horas libres entre clase y clase para los grupos de estudiantes.

En general, se puede decir que el horario de los docentes TC permaneció sin variaciones; sin embargo, existen casos en que aparentemente se desmejora el horario de éste, pero hay que considerar que el docente TC puede estar programado en cualquier bloque horario, sin importar si tiene o no tiene horas huecas, siempre y cuando se mantenga en su jornada laboral. (Ver Figura 47)

	185 ANTES				TC	185 DESPUES				TC
	CRISANTO PERRAZO, TANIA DEL PILAR					CRISANTO PERRAZO, TANIA DEL PILAR				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15-09:15		1302 B-212	2118 B-311	2118 B-311			Quim.Amb. Bio		Quim.Amb. Bio	
09:30-11:30		1545 A-208	2131 B-412	1302 B-212		S.I.Salud.O. Mec		Bal.M.Energ. Geog.		Bal.M.Energ. Geog.
12:00-14:00		1321 B-212		1321 B-212			Bal.M.Energ. Geog.	Top.Ingen. Mct	Bal.M.Energ. Geog.	Top.Ingen. Mct
14:00-15:00			1545 A-208							
15:00-17:00										
17:15-19:15										
19:30-21:30										

Figura 47. Ejemplo Horario de Docente TC antes y después del modelo.

En este ejemplo, el docente tenía dos horas libres entre clase y clase, venía 3 días a la semana, y no se respetaba el receso de 14:00 a 15:00; ahora viene todos los días de la semana, tiene 2 horas

huecas en dos días, pero se respeta el receso y está dentro de su jornada laboral.

En las Figuras 48, 49 y 50 se muestran ejemplos de Docentes TP a quienes se les mejoró su horario después de la aplicación del modelo.

	ANTES					TP	DESPUES				
	585						585				
	RUEDA NOVOA ANGEL MAURICIO						RUEDA NOVOA ANGEL MAURICIO				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15-09:15			3401 C-101	3401 C-101	3401 C-101		CDI Bio		CDI Bio		CDI Bio
09:30-11:30	3426 B-414		3426 C-101		3426 A-208		CDI Geog		CDI Geog		CDI Geog
12:00-14:00	3493 B-417	3493 B-417	3493 B-417				CDI Telecom		CDI Telecom		CDI Telecom
14:00-15:00											

Figura 48. Ejemplo 1 - Horario de Docente TP, mejorado.

El docente en este primer ejemplo tenía que asistir los 5 días de la semana y dos días solo por dos horas. Con la propuesta se logró que asista solo 3 días con la misma carga horaria.

	ANTES					TP	DESPUES				
	417						417				
	MENESES BECERRA FAUSTO HONORATO						MENESES BECERRA FAUSTO HONORATO				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
14:00-15:00											
15:00-17:00	4094 H-205	4142 G-203	4094 H-205	4142 G-203			Int.Prog. Bio		Int.Prog. Bio		
17:15-19:15							Prog.Avanz. Sistemas		Prog.Avanz. Sistemas		
19:30-21:30	4092 G-201		4092 G-201				Ing.Sof. I Sistemas		Ing.Sof. I Sistemas		

Figura 49. Ejemplo 2 - Horario de Docente TP, mejorado.

En este ejemplo, el docente venía a laborar 4 días, tenía 2 horas libres entre clase y clase en dos días de la semana, y venía desde las 15:00 hasta las 21:30, con la propuesta se eliminan las horas huecas y viene solo 2 días a la semana de 15:00 a 21:30.

	ANTES					DESPUES				
	198					198				
	DAVILA PAZMINO, HERNAN VINICIO					DAVILA PAZMINO, HERNAN VINICIO				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
14:00-15:00										
15:00-17:00	4003 B-416	4004 B-416	3986 B-412		3986 B-412			Mat.Adm. Comercial		Mat.Adm. Comercial
17:15-19:15								Mat.Finan. Finanzas		Mat.Finan. Merc-Ceni
19:30-21:30				4004 B-416	4003 B-416			Mat.Finan. Merc-Ceni		Mat.Finan. Finanzas

Figura 50. Ejemplo 3 - Horario de Docente TP, mejorado.

Finalmente en este ejemplo, el docente laboraba todos los días, tenía horas libres entre clase y clase y, 4 días venía solo por dos horas. Con la propuesta viene solo dos días a la semana, con la misma carga horaria y ya no tiene horas libres.

En la Figura 51 se muestran ejemplos donde se evidencia una clara dispersión de los horarios del docente después de la aplicación de la propuesta, esto generalmente para obtener compatibilidad en los horarios de los grupos de estudiantes.

	ANTES					DESPUES				
	41					41				
	ANDRANGO VICUÑA, JUAN CARLOS					ANDRANGO VICUÑA, JUAN CARLOS				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
14:00-15:00										
15:00-17:00	1768 A-404	2395 A-404	1768 A-404	2395 A-404			Inst.Financ. Comer.		Inst.Financ. Comer.	
17:15-19:15	2358 B-110		2358 B-110					Adm.Finan.I Finan.		Adm.Finan.I Finan.
19:30-21:30	2357 A-309		2357 A-309			Finan.Inter. Comer.		Finan.Inter. Comer.		

	TP					TP				
	531					531				
	PORTILLA KAROLIS JORGE EDUARDO					PORTILLA KAROLIS JORGE EDUARDO				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15-09:15	3892 B-413		3892 B-312							
09:30-11:30	3384 B-112		3384 B-113		3384 B-110	CDI Bio	Algebra L Civil	CDI Bio	Algebra L Civil	CDI Bio
12:00-14:00	3666 B-214		3666 B-214		3666 B-214	CDI Geog.		CDI Geog.		CDI Geog.

Figura 51. Ejemplo de Docentes TP, con dispersión horaria.

El docente en el primer ejemplo tenía que asistir 4 días de la semana y dos días solo por dos horas. Con la propuesta lamentablemente tiene que asistir los 5 días y 4 de ellos sólo por 2 horas. En el segundo ejemplo, el docente venía solo 3 días, ahora tiene que asistir los 5 días.

La Figura 52 muestra 2 ejemplos donde se evidencia que los horarios, después de la aplicación de la propuesta, no sufrieron cambios, o los mismos no son significativos. Casos como estos se dieron porque convenía a la programación horaria de los estudiantes y cumplía también con la disponibilidad del docente y los criterios de programación adoptados. En el ANEXO 7 se presentan los horarios individuales de los docentes antes y después de la propuesta.

	112 ANTES					112 DESPUES				
	CAIZAGUANO CHIMBO, CARLOS OSWALDO					CAIZAGUANO CHIMBO, CARLOS OSWALDO				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15-09:15										
09:30-11:30										
12:00-14:00		4128 G-403	4152 G-204	4128 G-403	4152 G-204	Comp.Básica Infantil	Mant.PC Sistemas	Comp.Básica Infantil	Mant.PC Sistemas	
14:00-15:00										
15:00-17:00										
17:15-19:15										
19:30-21:30			4212 H-306		4212 H-306			Comp.Avanz. Comercial		Comp.Avanz. Comercial

	400					400				
	MARTINEZ BENITEZ, NIDIA IVONNE					MARTINEZ BENITEZ, NIDIA IVONNE				
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
07:15-09:15										
09:30-11:30		2518 C-312		2518 C-312			Macro.Econ Turismo		Macro.Econ Turismo	
12:00-14:00		2554 C-304	2577 C-303	2554 C-304	2577 C-303		Micro.Econ Turismo	Proy.Int.II Turismo	Micro.Econ Turismo	Proy.Int.II Turismo
14:00-15:00										

Figura 52. Ejemplo de Docentes TP con horario sin modificación.

Es importante resaltar que de los 716 docentes, a 615 se les asignó carga horaria en función del histórico de los períodos anteriores, pero en concordancia con los criterios de programación arriba mencionados. De lo expuesto anteriormente, con la aplicación del modelo, 113 docentes (18.4 %) mejoraron su distribución horaria, 457, (73.3 %) mantuvieron o no se modificaron significativamente y, tan solo 45 docentes (7.3 %) evidencian mayor dispersión respecto a sus horarios de períodos anteriores.

Los 101 docentes de diferencia, no constan en esta propuesta de horarios, en parte debido a que:

- no se programó docentes que dictan asignaturas de laboratorios adicionales, fuera de horario,

- se excluyeron de la programación a docentes, por la reducción de paralelos antes mencionada,
- se conoce “extraoficialmente” que se encuentran cursando maestrías y doctorados, pero no se tiene ninguna información al respecto, y
- no se consideró a los docentes que pertenecen a la Modalidad de Educación a Distancia, o a docentes que laboran en el IASA I, que, sin embargo, están incluidos en el listado de docentes de la información utilizada para este proyecto.

Como ya se mencionó, se asignó carga horaria a los docentes, en función del histórico de los períodos anteriores, pero en concordancia con los criterios de programación adoptados, es así que:

- 95 docentes no tenían carga asignada en períodos anteriores y tampoco están considerados en esta propuesta.
- 186 docentes disminuyeron su carga horaria, en parte debido a la reducción paralelos de ciertas asignaturas y, en parte, debido a que no se programaron horas adicionales de laboratorios.
- 6 docentes TP no fueron programados en esta propuesta porque no se programo laboratorios extras fuera de horario y, por la reducción de paralelos, ya que se dio preferencia a los docentes TC que debían completar su carga horaria asignada.

4.2.5. Bloques Horarios

Los bloques horarios establecidos antes de la propuesta, en lo que tiene que ver con asignaturas de 4 y 6 créditos, eran:

Una misma franja horaria y dos o tres días de la semana, los cuales podían ser a día seguido o no; bandas horarias distintas y dos o tres días de la semana, consecutivos o no. Para el modelo se adoptaron bloques horarios, que cumplan con la restricción suave “Si una clase se lleva a cabo más de una vez a la semana siempre habrá por lo menos un día en medio”, es así que:

Capítulo 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En este proyecto de investigación se desarrolló un método heurístico que cumple con las necesidades y requerimientos de la Institución, para obtener la programación de horarios y, asignar de manera óptima las aulas para cada uno de los niveles o grupos de las carreras de la Universidad.

Se realizó un análisis de los datos relacionados a horarios de tres períodos anteriores, para identificar los problemas que tiene la Institución, en cuanto a la distribución de aulas; y, se buscó dar solución a este problema de horarios en dos etapas: en la primera, mediante el desarrollo de un algoritmo que organiza las clases de cada una de las asignaturas y los docentes de cada grupo, para los diferentes niveles de cada una de las carreras; y, en la segunda, así mismo mediante el desarrollo de un algoritmo, que asigna las aulas a cada uno de los grupos programados, observando siempre el cumplimiento de las restricciones adoptadas y las condiciones requeridas por la Institución.

Luego del análisis de la información del uso de aulas, se detectó que existe una subutilización de las mismas en los diferentes bloques; así, se pudo observar que a pesar de que en los Bloques A y B hay la mayor concentración de aulas utilizadas, sólo 4 del Bloque A se utilizaban durante todo el día en la semana laboral, a saber A-103, A-106, A-201 y A-208; en el Bloque B ninguna estaba utilizada completamente y en los Bloques C y D se evidencia un claro desperdicio de los recursos físicos de la Institución. Con el modelo, sobre todo, las aulas de los Bloques A y B están casi en su totalidad ocupadas.

Antes de la aplicación del modelo solo existían 2 aulas totalmente libres, D-102 y D-206, pero muchas aulas estaban ocupadas solo por 2 o 4 horas a la semana, por ejemplo la C-405; con la aplicación del modelo se logró liberar muchas de esas aulas subutilizadas, y es así que, 5 aulas del Bloque A, 4 del Bloque B, 14 del Bloque C y, 12 del Bloque D están totalmente libres en la tarde;

y, 6 aulas en los Bloques C y D están libres durante todo el día, a saber C-408, D-304, D-305, D-307, D-308 y D-309. Además, 30 aulas de los bloques C y D están programadas para los cursos de nivelación, 8 en la mañana y 23 en la tarde.

Los horarios de todos los grupos programados, están distribuidos cada uno en una aula distinta, aún antes de iniciar el proceso de optimización de las aulas; sin embargo, se determinó que existen aulas completamente libres, con lo que se puede inferir que la Institución cuenta con el recurso físico suficiente para atender la demanda de estudiantes.

El estudio realizado respecto del número de aulas que ocupa cada uno de los Departamentos, revela que existe una “mala” distribución de las aulas de clases teóricas. Con la aplicación del modelo se logró reducir considerablemente el número de aulas que utiliza cada uno de los Departamentos y están agrupadas en uno solo Bloque.

La distribución actual de aulas provocaba que existiera una gran movilidad tanto de docentes como de estudiantes, que tenían que trasladarse de un piso a otro, o de un bloque a otro para atender a sus clases. Con la aplicación del modelo se logró que las clases de cada grupo de estudiantes se efectuara en una sola aula, ubicada en las cercanías de las oficinas de dirección departamental y laboratorios especializados, reduciendo significativamente el traslado innecesario.

En muchos casos se programaron asignaturas que debían ser compartidas entre dos carreras, debido a la falta del recurso humano de ciertas asignaturas, tanto de apoyo como de formación profesional, es así que existen 60 cursos de asignaturas compartidas, lo que provoca que se incumpla de cierta manera la restricción de movilidad.

La información de aulas y la constatación de su capacidad mediante observación in situ, determinó que hay más aulas grandes que pequeñas, pero nuestra propuesta evidencia la necesidad de más aulas pequeñas que grandes, es por esta razón que en algunos casos se programaron aulas con mayor capacidad para grupos pequeños.

Se programó un número adecuado de paralelos para cada nivel de las distintas carreras de la Universidad, de acuerdo al histórico del número de estudiantes y del número de paralelos abiertos en períodos anteriores, sin embargo, en muchos casos este número debió disminuirse puesto que

el numérico de estudiantes no justificaba programar el mismo número de paralelos abiertos en periodos anteriores.

Se asignó carga horaria a los docentes, en función del histórico de los períodos anteriores, pero en concordancia con los criterios de programación adoptados, es así que, existen docentes a quienes se les disminuyó su carga horaria debido, a la reducción de paralelos de ciertas asignaturas y, a que no se considera, en este trabajo, la programación de horas adicionales de laboratorios.

Es importante destacar que este modelo de programación de horarios seguirá cumpliendo su objetivo en caso de un rediseño curricular, puesto que sería suficiente actualizar las matrices de datos de entrada, referente a nombre de asignaturas, número de créditos, etc.; tampoco se vería alterado si hay cambios en la nómina de docentes.

Finalmente, cabe indicar que esta investigación es el resultado de las competencias adquiridas en la MEMAT y guarda coherencia con algunos de los objetivos planteados en la misma, tales como: trabajar en proyectos de investigación innovadores que buscan optimizar y tomar decisiones adecuadas; actualizarse en fundamentos teóricos y en el manejo de herramientas computacionales que permiten desarrollar algoritmos en la búsqueda de soluciones eficientes de problemas de ingeniería y otras disciplinas científicas, con el fin de potenciar la actividad del docente investigador.

5.2. Recomendaciones

La información suministrada y recopilada para este trabajo de investigación no fue completa, oportuna o confiable, razón por la que se pudo caer en errores de programación. Es recomendable que para un trabajo de esta envergadura se cuente con toda la información necesaria y que sea oportuna y confiable.

En función de los resultados del presente trabajo, se sugiere su aplicación en la planificación del nuevo período académico, con el propósito de verificar el ahorro de recursos y adaptar o mejorar el modelo, si fuese necesario, a las condiciones que se vayan dando a futuro en la Institución.

5.3. Trabajos a Futuro

Esta investigación puede ser modificada estableciendo nuevos requerimientos o condiciones de la Institución, así por ejemplo en lugar de minimizar la movilidad de estudiantes, se puede considerar disminuir la movilidad del docente.

El modelo presenta el algoritmo y diagrama de flujo con el que se programaron los horarios de los grupos de cada carrera, queda abierta la posibilidad de que a futuro se lo implemente mediante un lenguaje de programación que automatice el proceso.

ANEXOS

Anexo 1: Número de Estudiantes matriculados por cada una de las carreras

Anexo 2: Utilización de aulas en el período octubre 2015 - febrero 2016. (archivo).

Anexo 3: Archivo Datos Etapa 1.

Anexo 4: Archivo Datos Etapa 2.

Anexo 5: Porcentajes de ocupación de aulas.

Anexo 6: Número de paralelos, antes y después de la propuesta.

Anexo 7: Horarios individuales de docentes, antes y después de la propuesta.

Referencias

- [1] F. L. ALEJANDRO ARITO AND S. LUIS-ARGENTINA, *Algoritmos de optimización basados en colonias de hormigas aplicados al problema de asignación cuadrática y otros problemas relacionados*, Universidad Nacional de San Luis Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales Departamento de Informática, San Luis–Argentina, (2010).
- [2] M. V. AÑAZCO MALDONADO, C. ANTÓN, AND H. LIZARDO, *Aplicación de búsquedas tabú y grasp para la resolución de un problema de calendarización de horarios de clase en universidades*, Master's thesis, Quito, (2016).
- [3] S. E. BARRETO BARROS AND L. A. LÓPEZ VILLAVICENCIO, *Algoritmo para gestión de horarios de la facultad de ingeniería de la universidad de cuenca*, B.S. thesis, (2013).
- [4] M. BELLINZA, N. G. BARRERA, S. C. SIRTORI, AND W. R. MERCADO, *Gestión del conocimiento: Aproximaciones teóricas*, Clío América, 5 (2011), p. 257.
- [5] F. E. CANCELO, P. N. CABABIE, G. BARRERA, AND D. LÓPEZ DE LUISE, *Un nuevo enfoque para asignación óptima de múltiples recursos*, (2009).
- [6] CES, *Reglamento de carrera y escalafón docente, estatuto ufa*, (2015).
- [7] M. DELGADO AND G. HERNÁNDEZ PEÑALVER, *Juegos para colorear grafos*, (2008).
- [8] M. DORIGO, M. BIRATTARI, AND T. STUTZLE, *Ant colony optimization*, IEEE computational intelligence magazine, 1 (2006), pp. 28–39.
- [9] ESPE, *Web institucional*, (www.espe.edu.ec).
- [10] K. FLORES MUÑOZ AND G. BAQUERIZO, *Implantación de una heurística para resolver el problema de coloramiento de grafos aplicado a la planificación de horarios de una institución educativa*, (2013).
- [11] J. F. FRANCO, E. M. TORO, AND R. A. GALLEGU, *Problema de asignación óptima de salones resuelto con búsqueda tabú.*, ingeniería y desarrollo, (2008).

- [12] E. GONZALEZ AND P. CORTÉS, *Un algoritmo de búsqueda tabú para generar el calendario de exámenes de la nueva facultad de ciencias de la educación*, Departamento de organización Industrial y Gestión de empresas. Escuela técnica Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Sevilla, España, (2012).
- [13] L. J. GONZÁLEZ ROBLES AND L. A. TRUJILLO SALAZAR, *Modelo de gestión del conocimiento para la programación de horarios en universidades*, B.S. thesis, (2011).
- [14] M. A. GUERRA CUBILLOS, E. H. PARDO QUIROGA, AND R. E. SALAS RUIZ, *Problema del school timetabling y algoritmos genéticos: una revisión.*, Revista Vínculos, 10 (2013).
- [15] S. HERNANDEZ, P. MILLADO, AND M. L. IVANISSEVICH, *Optimización del espacio áulico mediante algoritmos genéticos*, in X Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, (2016).
- [16] R. A. HERNÁNDEZ CAMPOS, *Programación de horarios de clases y asignación de salas en la facultad de ingeniería de la universidad diego portales*, (2008).
- [17] R. HERNÁNDEZ SAMPIERI, C. FERNÁNDEZ COLLADO, AND P. BAPTISTA LUCIO, *Metodología de la investigación . méxico, df*, (2010).
- [18] J. D. JOHNSTON BARRIENTOS, *Aplicación de algoritmos genéticos para la asignación de carga académica en instituciones de educación superior*, PhD thesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, (2000).
- [19] O. L. LONDOÑO PALACIO, L. F. MALDONADO GRANADOS, AND L. C. CALDERÓN VILLAFÁÑEZ, *Guías para construir estados del arte*, (2014).
- [20] P. LÓPEZ, *El método de búsqueda tabú para la programación de horarios*, Universidad de Sonora, (2000).
- [21] P. MATEO AND D. LAHOZ, *Modelos de investigación operativa, programación lineal entera*, (2009).

- [22] J. M. MEJÍA AND C. PATERNINA, *Asignación de horarios de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos*, Revista Educación en Ingeniería, 5 (2012), pp. 140–149.
- [23] J. M. MEJÍA CABALLERO ET AL., *Asignación de horarios de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos.*, Master's thesis, Maestría en Ingeniería Industrial, (2009).
- [24] E. MENENDEZ ALONSO, *Metaheurística optimización colonia de hormigas*, (recuperado en 2016).
- [25] E. MERA MENENDEZ, *Algoritmos evolutivos aplicados a la generación de horarios para colegio*, Master's thesis, QUITO/EPN/1999., (1999).
- [26] A. J. MIRANDA, *Modelos de optimización para la programación de horarios y asignación de salas de clase en universidades*, (2014).
- [27] J. L. MORALES ESPINOZA, *Desarrollo de una aplicación para calendarizar el campeonato ecuatoriano de fútbol profesional por medio de una aproximación heurística utilizando programación entera*, B.S. thesis, ESPOL, (2012).
- [28] R. OJEDA, *Programación lineal para la asignación de personal a horarios de trabajo: El caso de una empresa de atención telefónica en México*.
- [29] F. PITOL REYES, *Uso de algoritmos evolutivos para resolver el problema de asignación de horarios escolares en la facultad de psicología de la universidad veracruzana*, Master's thesis, Universidad Veracruzana., (2011).
- [30] J. RAMIREZ RODRÍGUEZ, *Extensiones del problema de coloración de grafos*, PhD thesis, Universidad Complutense de Madrid, (2001).
- [31] G. E. RESTREPO AND L. F. MORENO VELÁSQUEZ, *Modelo para la asignación de recursos académicos en instituciones educativas utilizando la técnica metaheurística, búsqueda tabú*, Revista Avances en Sistemas e Informática, 8 (2011).
- [32] J. RODRÍGUEZ GARCÍA, *Análisis de algoritmos basados en colonia de hormigas en problemas de camino mínimo*, Master's thesis, (2010).

- [33] J. J. RUZ, *Introducción a la programación matemática*, Master's thesis, (2010).
- [34] A. SALDAÑA CROVO, C. OLIVA SAN MARTÍN, AND L. PRADENAS ROJAS, *Modelos de programación entera para un problema de programación de horarios para universidades*, *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 15 (2007), pp. 245–259.
- [35] P. L. SILVA ARTIEDA AND V. O. VALENCIA MOYA, *Desarrollo de un método para la resolución de problemas de calendarización utilizando el enfoque optimización de colonia de hormigas*, B.S. thesis, QUITO/EPN/2010, (2010).
- [36] C. TORRES OVALLE ET AL., *Programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias.*, Master's thesis, Universidad de la Sabana., (2013).
- [37] P. A. WOLFF ROJAS, *Modelos de programación matemática para asignación de pabellones quirúrgicos en hospitales públicos*, (2012).
- [38] V. YEPEZ PIQUERAS, *Modelos matemáticos de optimización*, (2013).