

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Chía - Cundinamarca

PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS DE CLASES UNIVERSITARIAS

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de

Magister en Gerencia de Operaciones
(Modalidad de profundización)

CAMILO TORRES OVALLE

Director:

Jairo R. Montoya Torres., Ph.D., Dr.-Hab.

Presentado públicamente el día 14 de Febrero de 2013

Jurado:

Ing. José Fernando Jiménez, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Mónica Castilla Luna, Universidad de La Sabana, Chía, Colombia

Universidad de La Sabana
Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas
Chía, Colombia
2013

CONTENIDO

	pág.
1. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	7
1.1. ENUNCIADO	7
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.3. OBJETIVO GENERAL	8
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.5. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.5.1. Justificación	9
1.5.2. Delimitación	10
1.6. ESTADO DEL ARTE	13
1.6.1. Técnicas Tradicionales	13
1.6.2. Técnicas no Tradicionales	16
2. ACERCAMIENTO AL PROBLEMA EN LA UNIVERSIDAD DE LA SABANA	21
2.1. ALCANCE PROPUESTO	21
2.2. METODOLOGÍA Y SOLUCIÓN PROPUESTA	22
2.2.1. Condiciones Generales	22
2.2.2. Formulación del Modelo	23
2.2.3. Solución Propuesta	25
2.2.4. Resultados Y Análisis	26
3. ENFOQUE DE SOLUCIÓN APROXIMATIVO	28
3.1. CONTEXTO DEL PROBLEMA EN LA UNIVERSIDAD DE LA SABANA	28
3.2. MODELO MATEMÁTICO	30
3.3. RESULTADOS	34
3.3.1. Primera Fase	36
3.3.2. Segunda Fase	40
3.3.3. Resumen del Capítulo	62
4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	64
4.1. REDUCCIÓN DE SALONES	64
4.2. CONSOLIDACIÓN DE GRUPOS	67
5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	70
5.1. CONCLUSIONES	70
5.2. PERSPECTIVAS	72
Bibliografía	74

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Pareto por Facultades, Estudiantes Matriculados en el 2012-1. Autoría Propia.	11
Figura 2. Pareto por Facultades, Estudiantes Matriculados en el 2012-1. Autoría Propia.	12
Figura 3. Ejemplo de la Programación del Séptimo Semestre del Programa de AMLI	27
Figura 4. Resultados en GAMS del Problema Completo de Programación de Horarios y Asignación de Aulas de Clase en la Universidad de La Sabana	35
Figura 5. Resultados en GAMS del Problema para la EICEA de Programación de Horarios y Asignación de Aulas de Clase en la Universidad de La Sabana	35
Figura 6. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Ingeniería Química	43
Figura 7. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de AMLI	46
Figura 8. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Ing. Informática	48
Figura 9. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Economía	50
Figura 10. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Servicios	52
Figura 11. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Gastronomía	53
Figura 12. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Ing. Industrial	55
Figura 13. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Negocios	57
Figura 14. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Administración	59
Figura 15. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Administración	61
Figura 16. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Administración	63
Figura 17. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas	66
Figura 18. Comparativo por Porcentaje de Salones	68

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Estudiantes Matriculados por Programa Académico	10
Tabla 2. Estudiantes Matriculados por Facultad	12
Tabla 3. Estudiantes Inscritos por Programa Académico - EICEA	22
Tabla 4. Horas por Semana a Programar	28
Tabla 5. Ponderación Horas u.m.	32
Tabla 6. Solución por Programas Académicos	36
Tabla 7. Resultado Programación en Gams – Programa Economía y Finanzas Internacionales	39
Tabla 8. Programación Programa Ingeniería Química – Laboratorio de Química	40
Tabla 9. Programación Programa Ingeniería Química – Laboratorio de Biología	41
Tabla 10. Programación Programa Ingeniería Química – Salón C-106	41
Tabla 11. Uso de la Capacidad Instalada I.Q.	42
Tabla 12. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - I.Q.	43
Tabla 13. Programación Programa AMLI – Salón G-113	44
Tabla 14. Uso de la Capacidad Instalada AMLI	45
Tabla 15. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - AMLI	45
Tabla 16. Uso de la Capacidad Instalada Ing. Informática	46
Tabla 17. Programación Programa Ingeniería Informática – Salón G-109	47
Tabla 18. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Informática	47
Tabla 19. Uso de la Capacidad Instalada Economía	48
Tabla 20. Programación Programa Economía – Salón G-108	49
Tabla 21. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto- Economía	49
Tabla 22. Programación Programa Servicios – Salón E-203	51
Tabla 23. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Servicios	51
Tabla 24. Programación Programa Gastronomía – Taller de Alimentos L-301	52
Tabla 25. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Gastronomía	53
Tabla 26. Programación Programa Ing. Industrial – Salón G-106	54
Tabla 27. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Industrial	55
Tabla 28. Uso de la Capacidad Instalada - Negocios	56

Tabla 29. Programación Programa Negocios Internacionales – Salón E-210	56
Tabla 30. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Negocios	57
Tabla 31. Uso de la Capacidad Instalada – Administración de Empresas	58
Tabla 32. Programación Programa Administración – Salón G-202	58
Tabla 33. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Administración	59
Tabla 34. Uso de la Capacidad Instalada Economía	60
Tabla 35. Programación Programa Ing. Agroindustrial – Lab. Procesos Agroindustriales	60
Tabla 36. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto Administración	61
Tabla 37. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto	62
Tabla 38. Comparación entre el Solución Inicial y Análisis Reducción de Salones	64
Tabla 39. Comparativo Programación Programa de Administración - Salón G-121	65
Tabla 40. Programas con Consolidación de Grupos	68

LISTA DE ANEXOS

	pág.,
Anexo 1. Flujograma Procedimiento de Programación de Salones	76
Anexo 2. Base General con la Información de loa 10 Programas / Digital: Archivo Base General	77
Anexo 3. Planes de Estudios de los 10 Programas de Pregrado / Digital: Carpeta Planes de Estudio	77
Anexo 4. Matriz con la Disponibilidad de los Docentes / Digital: Archivo Disponibilidad Docentes	77
Anexo 5. Salones Disponibles con Capacidad / Digital: Archivo Salones	77
Anexo 6. Programación de los 10 programas / Digital: Carpeta Programación por Programas	77
Anexo 7. Programación de los 10 programas, análisis de sensibilidad reducción de salones / Digital: Carpeta Programación Reducción de Salones	77

1. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. ENUNCIADO

Todas las universidades enfrentan en cada periodo académico el problema de la programación de horarios y la asignación de aulas de clase a cada una de las materias programadas en cada semestre de los diferentes programas académicos que ofrecen. Esta programación de horarios académicos desde la perspectiva de la investigación de operaciones es una caracterización del problema general de *timetabling* (Hernández, Miranda, & Pablo 2008). Por lo general, estas instituciones cuentan con recursos limitados en infraestructura y medios educativos que les permitan impartir una educación de acuerdo con estándares de calidad que manejan. Es por esto que invierten mucho tiempo en la planeación y asignación de estos recursos con el fin de aprovechar al máximo la capacidad instalada. La programación que realizan debe satisfacer una serie de condiciones que por lo general son comunes a todas las instituciones de educación superior, entre las que se encuentran:

- No puede existir más de una asignación en un mismo periodo para: una misma materia, un mismo profesor y una misma aula.
- La programación se debe realizar completa, es decir que todas las asignaturas con su respectiva intensidad horaria, de acuerdo con el plan de estudios deben tener asignado un profesor y un salón en un periodo de tiempo determinado.
- A cada profesor se le debe respetar la disponibilidad horaria de la que disponga.
- Cada profesor tiene establecido las materias que puede dictar y por lo tanto solo debe ser asignado a esas materias.
- Con el fin de evitar cruces en los horarios de los estudiantes, las materias del mismo semestre que tengan un solo grupo no pueden ser programadas en la misma franja horaria.
- El aula o laboratorio asignado debe cumplir con ciertas condiciones para poder lograr el buen desarrollo de la asignatura (equipos, salas de cómputo, audiovisuales etc.).
- Se debe respetar la capacidad de los salones.

Actualmente, el proceso de asignación de salones en la Universidad de La Sabana es realizado por el Coordinador Administrativo de la Dirección Administrativa. Este cargo es responsable de la gestión de la planta física de la universidad. Esta persona asigna las aulas de clase con base en la información que suben al sistema (ESCOLARIS) los secretarios académico-administrativos de cada Facultad. Esta información es ingresada al sistema una vez finaliza el proceso de matrículas. Posteriormente se realiza un trabajo de revisión y validación por parte de la Coordinación Administrativa. Esta labor requiere de uno a dos días por programa académico (es decir 2 a 3

semanas aproximadamente para todos los programas de pregrado de la Universidad) y se debe hacer contra-reloj para no alterar el inicio de clases. Una vez validados y asignados los salones para cada asignatura, se publican en la página web de la universidad para que tanto estudiantes como docentes conozcan la ubicación de sus respectivas clases. Dicho proceso se hace prácticamente de forma manual lo cual lo deja muy subjetivo a la experiencia de quien valida y asigna. El flujograma de este proceso fruto de esta investigación es presentado en el Anexo 1.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Fundamentado en los planteamientos anteriores, y dada la importancia para la Universidad de La Sabana en tener un buen proceso de planeación y asignación de salones y horarios de clases, se considera relevante el realizar un proceso de investigación que permita dar respuesta al siguiente interrogante:

¿En qué medida la optimización matemática permite representar y resolver de forma óptima el problema de programación de salones y horarios de clase con miras a mejorar el uso de la capacidad instalada en la Universidad de La Sabana?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Proponer una metodología basada en optimización matemática (programación lineal, métodos heurísticos) para solucionar el problema de programación de salones y horarios de clases en la Universidad de La Sabana.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características del proceso de programación de horarios y asignación de salones, propias a la Universidad de La Sabana que permita definir restricciones particulares del problema.
- Diseñar el modelo de optimización para la resolución eficiente del problema de programación de salones y horarios de clases.
- Validar los resultados del modelo, comparándolos con la programación real de un semestre cualquiera, para definir su posible aplicación en la Universidad de La Sabana

1.5. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se encuentran las principales razones por las que es importante para la academia, para la Universidad de La Sabana y para el autor, desarrollar este proyecto de investigación. Además, al final de la sección se presentan las limitaciones del trabajo.

1.5.1. Justificación

Al momento de iniciar esta investigación, la Universidad de La Sabana tenía definido en su Plan de Desarrollo Institucional al 2006 - 2015, uno de los objetivos estratégicos como la “Consolidación de la estructura organizacional, el sistema de gobierno y de planeación y autoevaluación, y la asignación de recursos”, con el fin de desarrollar una adecuada gestión. Uno de los propósitos fundamentales de este objetivo es mejorar la asignación de recursos físicos en la universidad lo cual incluye la asignación de aulas de clase y la planeación de horarios a las diferentes actividades académicas. La justificación del presente trabajo está fundamentada en este objetivo, ya que con el diseño de una herramienta que permita asignar de manera eficiente las aulas y la planificación de horarios de clases, se ayudará a mejorar el uso de los recursos contribuyendo al Plan de Desarrollo Institucional. Así mismo, esta investigación permitirá estudiar y comprender la complejidad del problema de asignación de salones y horarios de clases obteniendo un amplio conocimiento acerca del estado del arte que permita la implementación de una herramienta que ayude a mejorar la programación y que cumpla con todas las características del problema de estudio. Al momento de finalizar esta investigación, en Diciembre 2012, la Universidad de La Sabana ha revisado su Plan de Desarrollo Institucional para presentar el Plan Estratégico Institucional. En él se han reformulado los objetivos de desarrollo redefiniendo “Frentes Estratégicos”, entre los cuales se destaca el séptimo frente estratégico definido como “Implementación de nuevos modelos de gestión universitaria para apalancar el desarrollo institucional”. Allí se dice textualmente:

- *La Sabana se propone innovar en la generación y administración de los recursos para el cumplimiento de sus fines, en respuesta a los retos y complejidad que plantea el mundo cambiante.*
- *La Sabana pretende innovar en su forma de organización, generando estructuras y procesos adaptables y flexibles en correspondencia con la dinámica interna y con las tendencias del entorno.*
- *La Sabana busca innovar en los modelos de operación de la infraestructura tecnológica y de telecomunicaciones, así como en los sistemas de información para la gestión académica y administrativa*

1.5.2. Delimitación

Para definir el alcance de este proyecto, se tuvo en cuenta la información suministrada por el Departamento de Registro Académico de la Universidad de La Sabana. Esta información muestra la distribución de los estudiantes matriculados en cada programa académico. Para el primer semestre del año 2012 se cuenta con un total de 6,815 estudiantes distribuidos en 20 programas de pregrado. Con base en esto se realiza el análisis Pareto y la distribución ABC (ver tabla No.1). El programa con mayor número de estudiantes matriculados es Comunicación Social y Periodismo con 908 estudiantes que representan el 13,32% del total de estudiantes, seguido de Medicina que cuenta con 899 estudiantes, representando el 13,19%, Le sigue Administración de Negociación Internacionales con 676 alumnos (9,92% del total de estudiantes matriculados).

Tabla 1. Estudiantes Matriculados por Programa Académico

Programa	Total	% participación	% part. Acumulado	TIPO
COMUNICACIÓN SOCIAL - PERIODISMO	908	0,133236	0,133236	A
MEDICINA	899	0,131915	0,265150	A
ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS INTERNACIONALES	676	0,099193	0,364343	A
INGENIERÍA INDUSTRIAL	592	0,086867	0,451211	A
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	572	0,083933	0,535143	A
DERECHO	505	0,074101	0,609244	A
PSICOLOGÍA	454	0,066618	0,675862	A
COMUNICACIÓN AUDIOVISUAL Y MULTIMEDIOS	380	0,055759	0,731621	A
ENFERMERÍA	233	0,034189	0,765811	A
ADMINISTRACIÓN DE MERCADEO Y LOGÍSTICA INTERNACIONAL	225	0,033015	0,798826	A
GASTRONOMIA	217	0,031842	0,830668	B
INGENIERÍA QUÍMICA	212	0,031108	0,861775	B
ECONOMIA Y FINANZAS INTERNACIONALES	205	0,030081	0,891856	B
FISIOTERAPIA	203	0,029787	0,921643	B
LICENCIATURA EN PEDAGOGÍA INFANTIL	137	0,020103	0,941746	B
ADMINISTRACIÓN DE INSTITUCIONES DE SERVICIO	133	0,019516	0,961262	C
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL	131	0,019222	0,980484	C
INGENIERÍA INFORMÁTICA	79	0,011592	0,992076	C
FILOSOFÍA	34	0,004989	0,997065	C
PIU	20	0,002935	1,000000	C
Total 6815				

Fuente: Jefatura de Registro Académico – Universidad de La Sabana

Con base en el anterior análisis se concluye que los programas clasificados tipo “A” pertenecen a diferentes facultades, por lo que la información de cada programa está muy dispersa, dificultando la recopilación de la misma. Por tal motivo se organiza la información por Facultades, agrupando los programas académicos de pregrado que pertenecen a cada una y se realiza el análisis Pareto a dicha clasificación. La Figura 1 muestra el diagrama de Pareto de esta agrupación por Facultades. De esta manera se puede ver que la Escuela Internacional de Ciencias

Económicas y Administrativas (EICEA), compuesta por 6 programas académicos de pregrado cuenta con 2,028 estudiantes matriculados para el primer semestre de 2012, (esto representa el 29,76% de la población de estudiantes inscritos). En el tercer lugar de la clasificación tipo “A” está la Facultad de Ingeniería la cual cuenta con 4 programas de ingeniería, en los cuales hay 1,014 estudiantes, que representan el 14,88% del total de población. Sumando estas dos Facultades se obtiene un total de 3,042 alumnos que a su vez representan el 44,64% de los estudiantes matriculados para el semestre 2012-1. Estas dos Facultades suman un total de 10 programas académicos de pregrado (es decir el 50% del total de programas de pregrado de la Universidad de La Sabana). Adicionalmente, estos pregrados requieren una gran variedad de recursos físicos para sus asignaturas (aulas de clase, laboratorios especializados, etc.) y cuentan con gran número de asignaturas comunes, lo cual favorece la creación de múltiples grupos para una sola asignatura. Algunos de sus programas son también muy específicos y cuentan con pocos estudiantes (ejemplo el programa de Administración de Mercadeo y Logística Internacionales), lo cual favorece el análisis del modelo a proponer en cuanto al “cruce” de asignaturas de un mismo semestre.

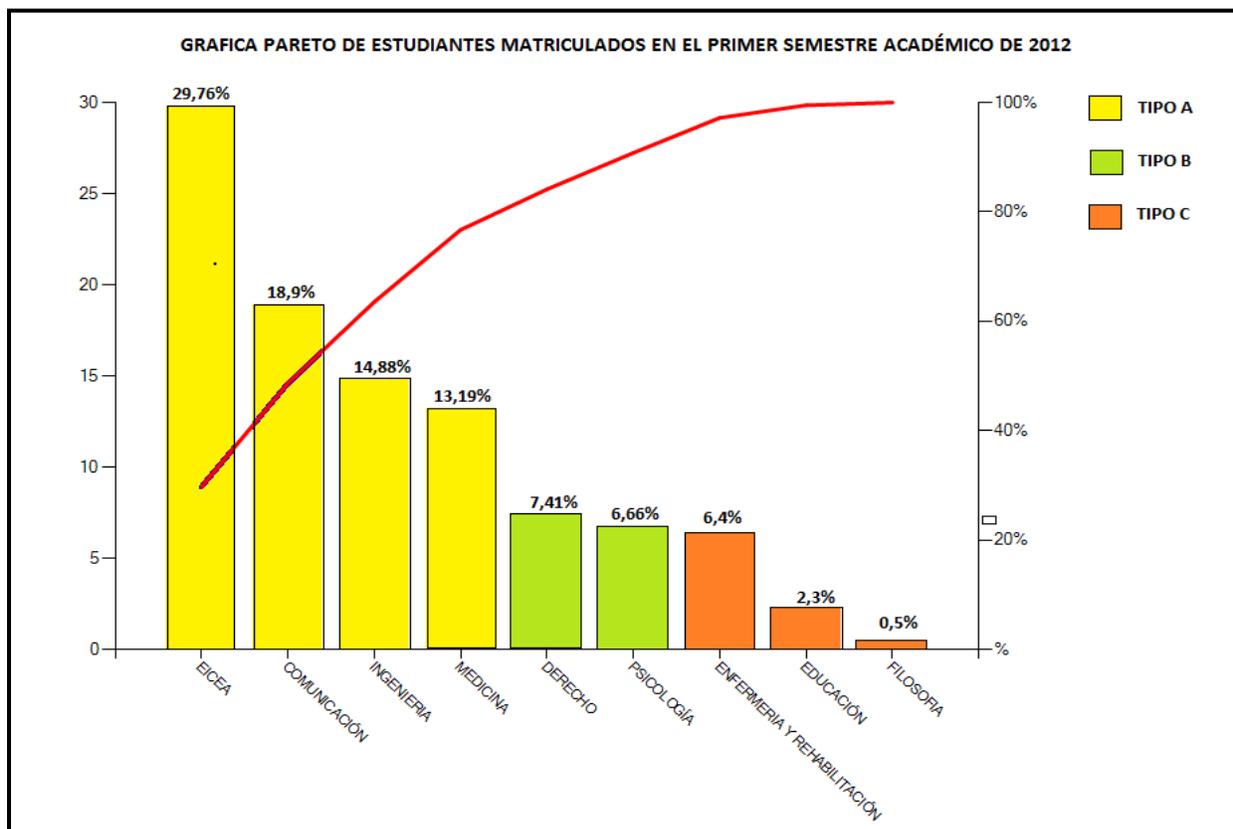


Figura 1. Pareto por Facultades, Estudiantes Matriculados en el 2012-1. Autoría Propia.
Fuente: Jefatura de Registro Académico – Universidad de La Sabana

La tabla 2 se muestra la distribución de los 6 programas académicos de pregrado que ofrece la EICEA y las 4 ingenierías de la Facultad de Ingeniería. Este es el alcance o la delimitación que se

le da al proyecto de investigación, se trabajará con base en la información recopilada de estos 10 programas, sin embargo se realiza el análisis de Pareto por asignaturas para ratificar esta decisión. Como se observó en la figura 1, la Facultad de Comunicación representa el 18,9% del total de estudiantes de la Universidad. Sin embargo ésta se excluye del presente estudio puesto que solo tiene 2 programas de pregrado y apenas cuenta con el 11,46% del total de asignaturas de la Universidad (contra 48,71% de la EICEA e Ingeniería) como se observa en la figura 2.

Tabla 2. Estudiantes Matriculados por Facultad

Programa	Total	% participación	% part. Acumulado	FACULTAD
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	572	0,083933	0,535143	EICEA
ADMINISTRACIÓN DE INSTITUCIONES DE SERVICIO	133	0,019516	0,961262	EICEA
ADMINISTRACIÓN DE MERCADEO Y LOGÍSTICA INTERNACIONAL	225	0,033015	0,798826	EICEA
ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS INTERNACIONALES	676	0,099193	0,364343	EICEA
ECONOMIA Y FINANZAS INTERNACIONALES	205	0,030081	0,891856	EICEA
GASTRONOMIA	217	0,031842	0,830668	EICEA
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL	131	0,019222	0,980484	INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL	592	0,086867	0,451211	INGENIERÍA
INGENIERÍA INFORMÁTICA	79	0,011592	0,992076	INGENIERÍA
INGENIERÍA QUÍMICA	212	0,031108	0,861775	INGENIERÍA
Total	3.042			

Fuente: Jefatura de Registro Académico – Universidad de La Sabana

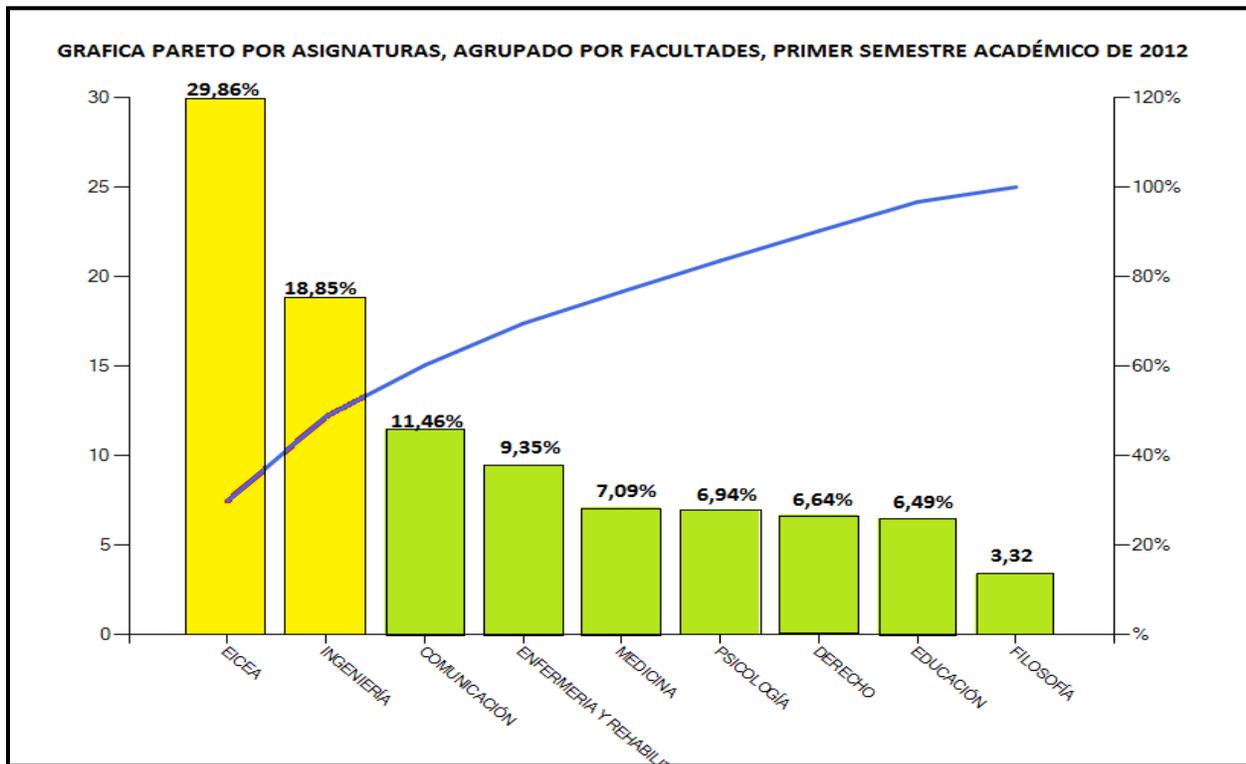


Figura 2. Pareto por Facultades, Estudiantes Matriculados en el 2012-1. Autoría Propia.

Fuente: Jefatura de Registro Académico – Universidad de La Sabana

Como se observa en la figura 3, la EICEA (con 6 pregrados) continua siendo la Facultad con mayor representación: tiene un total de 396 asignaturas (el 29,86% del total de materias), en segundo lugar se encuentra la Facultad de Ingeniería con 250 materias (18,85%) y Comunicación se ubica en el tercer lugar representando el 11,46% con 152 materias de las 1,326 asignaturas programadas en el primer semestre académico de 2012.

El anterior análisis ratifica que se han seleccionado las dos facultades con mayor representación tanto en número de estudiantes como en asignaturas programadas para el primer semestre del año 2012. Además, todos los programas tienen características y necesidades especiales, como el uso de laboratorios para los programas de Ingeniería, clases que deben programarse en salones con equipamiento especial como es el caso de *Bloomberg* o las clases en los talleres de alimentos, etc. Todo esto se abordará en la etapa de recopilación de información en la cual se deben conseguir todas las particularidades propias de cada programa académico y de cada asignatura.

1.6. ESTADO DEL ARTE

Un aspecto importante en la gestión de operaciones de las universidades es la programación de horarios de clase para los distintos cursos que se ofrecen en la misma. Al respecto Chaudhuri & Kajal (2010) indican que esta asignación es un problema complejo, de tipo NP-duro, debido a la gran cantidad de restricciones que se deben considerar. Por tal motivo en los últimos años ha recibido gran atención por parte de disciplinas como Investigación de Operaciones y la Inteligencia Artificial. El problema se puede definir como la asignación de recursos (profesores, alumnos y aulas de clase, entre otros), que se organizan en un horizonte de tiempo buscando satisfacer las restricciones de la universidad optimizando la utilización de las instalaciones y de los recursos. Desde el punto de la resolución computacional del problema, el hecho de que se trate de un problema de tipo NP-duro implica que no es posible encontrar soluciones óptimas a grandes conjunto de datos en un tiempo de cálculo razonable.

En la literatura se encuentran diferentes trabajos que describen diversas técnicas utilizadas para resolver este tipo de problemas, las cuales se pueden clasificar en dos grandes grupos: técnicas tradicionales y no tradicionales. A continuación se presentan dichos enfoques de resolución.

1.6.1. Técnicas Tradicionales

Según lo definido por Mejía Caballero & Paternina Arboleda, (2010) los métodos tradicionales para la resolución de problemas en la Investigación de Operaciones son aquellos que debido a su estrategia de búsqueda, recorren todo el espacio de soluciones. En ellos es importante tener en cuenta el número de variables que intervienen en el problema: de esto

depende el resultado alcanzado. En este grupo se encuentran herramientas como la programación entera, la programación lineal, *backtracking*, entre otras.

Programación Lineal Entera

Según Winston (2005), la Programación Lineal (PL) es una herramienta usada para la resolución de problemas de optimización, con aplicación en diferentes tipos de industrias. Dentro de la PL se encuentran varias clasificaciones como la Programación Lineal Entera (PLE); en ésta se problema que requiere que algunas variables o todas tomen valores enteros no negativos. A continuación se referencias algunos de los trabajos realizados que utilizan esta herramienta:

En el trabajo realizadó por Saldaña et al. (2007) mencionan que el problema de programación de horarios en las universidades consiste en construir un calendario de clases para un periodo determinado (usualmente semestre) que satisfaga todas las condiciones administrativas y académicas de la institución. Con este objetivo tienen en cuenta las asignaturas de cada programa académico, la intensidad horaria y especificaciones propias de la materia, los profesores necesarios, los grupos de estudiantes que se inscriben a cada asignatura, los días y periodos que dispone la institución, los salones o aulas de clases con su respectiva capacidad y entre otras las demás normas que deben cumplir según las políticas de la institución de educación del mismo sistema de educación del país.

Saldaña et al. (2007), se proponen dos modelos de programación lineal entera y para cada uno de ellos plantean una estrategia, por lo que tienen en cuenta las diferentes restricciones mencionadas. El objetivo es minimizar la asignación en periodos no deseados, buscando un balance en la carga de trabajo de los estudiantes. La estrategia para dicho modelo fue la combinación de asignación directa y la aplicación de relajación de restricciones. Esto permitió aplicar el modelo a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción en Chile, obteniendo como resultado una buena programación de horarios con un tiempo computacional razonable.

Daskalaki & Birbas (2005) proponen un modelo de programación entera para un problema de generación de horarios. El modelo considera como función objetivo una función lineal que representa las preferencias de los profesores en horarios y en salas asignadas para sus clases, también analizan cómo la definición apropiada de los coeficientes en esta función objetivo permite reducir el espacio de soluciones y vuelve tratable el problema. Ellos encontraron que la mayor limitación del problema era la programación en bloques, es decir que las materias que así lo requieran se programan en sesiones seguidas según la intensidad horaria de cada asignatura. Esta característica es propia de casi todas las materias ya que con frecuencia se deben programar en bloques de dos, tres y hasta cuatro horas, por lo cual se vieron en la necesidad de relajar estas restricciones en la primera etapa de la solución. Más adelante, en la segunda etapa se reintrodujeron las restricciones y se realizan los ajustes pertinentes para lograr las materias quedasen programadas según las restricciones propuestas.

En el trabajo de Hernández et al. (2008), se plantean la siguiente clasificación de las condiciones o requerimientos del problema de estudio:

- Restricciones unarias, aquellas que involucran un sólo evento, como por ejemplo, las clases de un curso no pueden ser programadas un día lunes.
- Restricciones binarias, aquellas que involucran dos eventos. Un ejemplo típico son las restricciones de toques de horarios para un curso que requiere un mismo recurso: profesor, sala de clases, etc.
- Restricciones de capacidad, como por ejemplo, las que se imponen al asignar cursos a salas de clase con capacidad suficiente.
- Restricciones de separación de eventos, aquellas que requieren que las actividades estén separadas o siguiendo algún patrón en el tiempo. Algunos ejemplos son las impuestas por políticas de la institución de respetar asignaciones de horarios en patrones predefinidos o las condiciones de no existencia de horas intermedias vacías.
- Restricciones asociadas a los agentes, como son las limitaciones en los horarios asignados para cumplir con las preferencias de los profesores.

Para Hernández et al. (2008) estas restricciones se puede dividir en dos grupos: las de requerimientos fuertes (que deben cumplirse por completo) y las de requerimientos suaves (aunque no son obligatorias sí son deseables por lo que se tienen en cuenta para buscar la solución). Los autores definen la asignación de horarios en las instituciones educativas como un problema de optimización matemática el cual se considera un problema complejo y NP- difícil enmarcado dentro del área conocida como *Timetabling* o Programación de Horarios.

En el trabajo realizado por Al-Yakoob, Sherali, & Al-Jazzaf (2010) presentan los modelos mixtos de programación entera para un problema de horarios del examen aplicado en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Kuwait (KU). Los autores definen que en este problema, (así como en otros problemas) la programación de horarios como la programación de clases, de profesores y ayudante de cátedra, son tareas complejas y desafiantes que enfrentan las universidades relativamente grandes. Además, la naturaleza altamente combinatoria de este tipo de problemas hace que las instrucciones de educación realicen su proceso de programación de horarios de clases con grandes costos y con frecuencia acompañado por las graves deficiencias, dando lugar a conflictos o cruces de clase y exámenes, como consecuencia genera insatisfacción de los estudiantes y docentes. El enfoque del modelo propuesto en dos etapas en este trabajo se desarrolla para los horarios en general y para el problema de asignación de docentes. En la primera etapa desarrollan, un modelo de programación entera mixta, (ETM), por medio del cual realizan la asignación de los horarios de clases y horarios de exámenes teniendo en cuenta los

requisitos propios de cada evento. La asignación de los profesores a cada evento (clases o exámenes) la manejan a través de otra programación entera mixta. Los modelos propuestos son resueltos con la ayuda del aplicativo CPLEX MIP (Versión 9.0). Los buenos resultados del modelo y el aumento de la satisfacción de los usuarios motivaron el desarrollo de un procedimiento iterativo heurístico para el modelo original, en el que la integridad de sólo un subconjunto de las variables enteras se aplica en cualquier dado iteración. Los resultados obtenidos superaron por lejos el procedimiento manual que en su momento era utilizado en la Universidad de Kuwait.

1.6.2. Técnicas no Tradicionales

Las técnicas no tradicionales conocidas como Metaheurísticas no encuentran todas las posibles soluciones al problema, ya que acotan el espacio de búsqueda. Para Duarte Muñoz, Pantrigo Fernández, & Gallego Carrillo (2007) el término está compuesto por las palabras “Meta” y “Heurística”. Este último significa encontrar una solución al problema mediante métodos no rigurosos y “Meta” que traduce más allá de ó en un nivel superior. Debido a que estas herramientas no continúan la búsqueda en caso de quedar atrapados en un óptimo local, el método heurístico se considera limitado. Es por esto que en el año 1986 aparece otros algoritmos de búsqueda más inteligentes, que en la medida de lo posible evitan el quedar atrapados en óptimos locales. “Las Metaheurísticas son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas difíciles de optimización combinatoria, proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de la inteligencia artificial, la evolución biológica y mecanismos estadísticos”. En este grupo se pueden encontrar algunos de los siguientes tipos: recocido simulado (*Simulated Annealing*), algoritmos evolutivos (*Evolutionary Algorithms*), búsqueda tabú (*Tabu Search*), colonia de hormigas (*Ant Colony*) algoritmos voraces (*GRASP*), redes neuronales (*Neuronal Networks*), entre otras, a continuación de revisan algunos de los trabajos realizados con estas técnicas para resolver el problema de asignación de salones.

Algoritmos Evolutivos

Mejía Caballero et al. (2010) aplicaron los algoritmos evolutivos para resolver el problema de asignación de horarios en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Guajira, Colombia. Los autores propusieron las siguientes actividades:

- Diseñar el algoritmo
- Analizar y valorar los resultados del algoritmo
- Configurar los parámetros del algoritmo
- Documentar los resultados obtenidos por la algoritmo

Con base en esto y una vez definidas las condiciones generales del problema particular de la Facultad de Ingeniería realizaron el modelamiento matemático del problema para luego trabajarlo bajo la técnica de algoritmos genéticos. De acuerdo con Granada Ecreverría (2009), estos algoritmos imitan los principios evolutivos naturales para construir procedimientos de búsqueda y optimización, partiendo del hecho observado en la naturaleza por medio del cual los organismos poseen una destreza para resolver los problemas cotidianos, Además, esto les permite obtener habilidades nuevas. Las nuevas generaciones nacen de las interacciones que realizan en el proceso del algoritmo, a partir de estas generaciones se aplican operaciones a cada individuo de la población con el fin de mejorar y producir nuevas nuevas poblaciones.

Con esta técnica definen el conjunto de elementos necesarios como la población, la descripción del individuo y representación de los operadores genéticos, entre otros, los cromosomas que son la población inicial los representan en una matriz tridimensional en la que incluyen los periodos académicos, los días de la semana y los semestres del programa académico, los genes son representados en otra matriz bidimensional con las variables de los docentes, salones y materias del programa académico, finalmente definen el procedimiento y el código que emplean, con lo cual obtienen un software que permite resolver el problema en un tiempo computacional adecuado y cumpliendo con las expectativas y calidad deseable.

Mumford (2010), en su trabajo muestra la aplicación de marco multi-objetivo utilizado para resolver el problema de horarios. En este estudio se centró en dos objetivos: 1. Minimizar la longitud del calendario académico. 2 Optimizar el tiempo de extensión de los exámenes individuales para los estudiantes. Para la solución se emplean a un algoritmo Memético multi-objetivo para programar los exámenes, y un algoritmo voraz utilizado para construir los horarios libres de violación de las restricciones. La función del algoritmo multi-objetivo es iterativa, busca mejorar una población. Los objetivos propuestos utilizan diversas mutaciones heurísticas y reordenamiento. Las soluciones a este tipo de problemas que afectan a múltiples objetivos se caracterizan por conjuntos óptimos de soluciones alternativas, conocidas como conjuntos Pareto, en lugar de buscar satisfacer un solo óptimo global. Este tipo de soluciones se caracteriza por mejorar el valor de cualquiera de los objetivos propuestos, sin afectar la calidad de uno o más de los otros objetivos.

El marco multi-objetivo opera en cuatro fases:

- Inicialización
- Optimización de los dos objetivos
- Centrarse en los costos de proximidad (es decir, extensión de los exámenes)
- Búsqueda local.

Posteriormente se aplicaron dos operadores de mutación para proporcionar la diversidad adicional en la búsqueda. La primera operación utilizada la mutación de inserción, conocida como mutación de posición. Esta operación consiste simplemente en seleccionar dos exámenes al azar de una lista de permutación y coloca la segunda antes de la primera. La segunda mutación es más compleja y tiene como objetivo intercambiar entre los grupos de exámenes pares de franjas horarias, para esto tiene en cuenta el no violar las restricciones duras.

Busqueda Tabú

Según Franco, Toro, & Gallego (2008), la búsqueda tabú es una técnica de optimización combinatoria que proviene de la inteligencia artificial y usa conceptos de memoria adaptativa y exploración sensible. Glover & Melián (2003), dicen que es una metaheurística que orienta o guía al proceso heurístico de búsqueda local para explorar el espacio de solución más allá del óptimo local.

El trabajo desarrollado por Franco et al. (2008) muestra una solución el problema usando esta técnica metaheurística. Para el diseño del modelo se basaron en el utilizado por la comunidad científica del Reino Unido estos autores plantearon una serie de restricciones duras u obligatorias y otro conjunto de restricciones blandas que son de deseable cumplimiento. Al satisfacer las restricciones duras se dice que la propuesta es factible y se puede dar inicio al cronograma académico. Por otra parte plantean las restricciones blandas que aunque no son obligatorias buscan brindar más comodidad a los estudiantes.

Colonia de Hormigas

Duarte et al. (2007) indican que la optimización por colonias de hormigas (ACO) es un sistema de múltiples agentes inspirado en el comportamiento de las hormigas reales, basado en la comunicación indirecta producida por medio de los rastros de la feromona artificial, la cual fluye entre un conjunto de individuos llamados hormigas artificiales. Dicha feromona actúa como información numérica distribuida en el sistema y es usada por los agentes para encontrar una solución tomando decisiones de forma probabilística. De esta manera cada hormiga artificial contribuye iterativamente añadiendo componentes a la solución. Para Upadhyaya & Setiya (2009), (ACO) es una familia de algoritmos de optimización basados en el comportamiento real de las colonias de hormigas, quienes son capaces de encontrar el camino más corto al alimento.

Es así como en la investigación realizada por Peñuela, Franco, & Toro (2008), se presenta el trabajo de Programación Óptima de horarios de clases aplicando la técnica de colonia de hormigas. El problema es formulado, como la programación de horarios de clases definiendo la hora y el aula de clase para cada evento o asignatura. Con el fin de almacenar la información

suministrada diseñan una serie de matrices con las características de de cada uno de los conjuntos de datos del problema.

Saber, Ayob, Kendall, & Qu (2012) proponen una variación del algoritmo de optimización colonia de hormigas, al cual llaman algoritmo de miel de abejas. Lo utilizaron en la solución de problemas de horarios en la educación. Este algoritmo está inspirado en la naturaleza que simula el proceso real de las abejas de apareamiento. En este trabajo, el rendimiento del algoritmo propuesto es probado a lo largo de dos problemas, que son el examen (Carter's un-capacitated datasets) y el curso (Socha datasets), en ambos casos se trata de problemas de horarios. Las ventajas de este algoritmo están en la capacidad para explorar y aprovechar el espacio de búsqueda. Sin embargo, al igual que otros algoritmos de Metaheurísticas, el principal inconveniente es el número de parámetros que deben fijarse para que el método de optimización encuentre una solución al problema propuesto.

Algoritmos Voraces

De acuerdo con Suárez, Alva, Alama, & Bejarano (2010), el algoritmo voraz conocido como *GRASP* de las siglas en inglés *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures*, es un algoritmo metaheurístico introducido por Feo y Resende en 1995. Este procedimiento iterativo consiste en que en cada fase se realiza un procedimiento de construcción y uno de mejora. En la primera fase de construcción se encuentra una solución factible al problema, utilizando un procedimiento voraz, el cual consiste en encontrar en cada interacción un elemento del universo, el cual es agregado a la solución. En la segunda fase del *GRASP* se realiza una mejora a la primera fase aplicando un algoritmo de búsqueda local, que en este caso es Búsqueda Tabú.

Al respecto Montoya-Torres (2008) menciona que el método constituyen una solución al problema de forma secuencial, tomando decisiones en cada etapa del procedimiento. Indica que el principio *greedy* es la toma de decisiones que parecen ser las mejores de momento, por lo que se considera que actúa de forma miope, no preocupándose por las consecuencias futuras y sin reparar en las decisiones tomadas. Este algoritmo se dirige lo más rápido posible en búsqueda de una solución. Debido a la voracidad de su apetito, no es muy seguro que el algoritmo consiga una solución óptima, pero los resultados pueden ser buenos y se obtienen en un tiempo rápido, también dice que reconocen beneficios del método *greedy* para resolver problemas de combinatorios tipo NP- complejos.

Algoritmos Heurísticos

El trabajo realizado por Constantino, Marcondes, & Landa-Silva (2010) utiliza tres enfoques heurísticos, cada uno consiste en la resolución iterativa de problemas de asignación. El primero se basaba en la asignación clásica. Para el segundo caso se utiliza el enfoque de cuello de botella

en el problema de asignación. Por último aplican un tercer algoritmo basado en la Metaheurística de variable Búsqueda de Vecindad (ENV).

En este trabajo se enfrentan con un problema programación de clases en el mundo real. La asignación de eventos en una Universidad, con la participación de muchos cursos y aulas de clases. Este caso particular cuenta con las siguientes características:

- La Universidad se divide en 7 Facultades y 34 departamentos administrativo.
- Se ofrecen un total de 49 programas académicos.
- Cuentan con 4,000 grupos y secciones, para 16,500 estudiantes de pregrado.
- Hay 200 aulas disponibles para clases. Además, de salones especiales y laboratorios.

El objetivo es asignar todos los grupos de todas las asignaturas y grupos en las aulas de clases, aumentando al máximo la concentración de los estudiantes del mismo grupo y dentro de la misma área geográfica, por lo tanto, buscan minimiza el movimiento de los estudiantes dentro del campus y al mismo tiempo cumplir las restricciones antes mencionadas. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios ya que los algoritmos propuestos obtuvieron una solución factible en un tiempo y con un rendimiento computacional razonable, El tiempo de cálculo fue de 30 a 40 minutos aproximadamente. La calidad de la solución también fue buena ya que redujo la distancia entre las clases de una misma Facultad en más del 50%, al igual que la reducción del número de grupos, lo cual estaba propuesto dentro de los objetivos del trabajo.

Mecanismo Electromagnético (EM) y Gran Diluvio (GD)

La Metaheurística de EM está basada en el algoritmo de población estocástico de optimización global que se basa en la teoría de la física, la atracción y la repulsión de la simulación de puntos de muestreo en el avance hacia optimización. GD es un procedimiento de búsqueda local que permite peores soluciones para ser aceptado sobre la base de un límite dado superior, Abdullah, Turabieh, McCollum, & McMullan (2012). En este trabajo, el método propuesto se ha aplicado a una gama de cursos universitarios con problemas horarios encontrados en la literatura especializada.

Al igual que otros casos mencionados, el problema abordado por Abdullah et al. (2012) consiste en la asignación de franjas horarias para eventos de conferencias y salas temáticas con una gran variedad de limitaciones duras y blandas. Las restricciones duras representan un absoluto requisito, que deben cumplirse a cabalidad. Un calendario que satisface las restricciones duras que se conoce como un factible. El objetivo es satisfacer las restricciones duras y minimizar la violación de las restricciones blandas.

2. ACERCAMIENTO AL PROBLEMA EN LA UNIVERSIDAD DE LA SABANA

Este trabajo es una investigación aplicada al problema de programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias en la Universidad de La Sabana, para esto en el primer corte de la Maestría en Gerencia de Operaciones, en las asignaturas de Módelos de Decisión y Administración de Operaciones se realizó un primer acercamiento al problema. A continuación se realiza referencia de dicho trabajo el cual fue presentado como sustentación de dichas materias y posteriormente en la Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2012)[†].

2.1. ALCANCE PROPUESTO

La Universidad de La Sabana ubicada en el Campus Universitario del Puente del Común, Km. 7, Autopista Norte de Bogotá Chía, Cundinamarca, Colombia, cuenta con un área total de 779.060 metros cuadrados, de los cuales 30.524 están construidos, distribuidos en 16 edificios, dentro de los cuales se encuentran 86 aulas de clase y 52 talleres laboratorios para las diferentes prácticas y cátedras que se realizan en el Campus, tanto las aulas de clase como los laboratorios cuentan con los recursos técnicos y audiovisuales necesarios para el normal funcionamiento y la adecuada prestación de los servicios educativos. El caso de estudio se aplicó para el programa de Administración de Mercadeo y Logística Internacional, perteneciente a la Facultad de Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas (EICEA).

Como se aprecia en la Tabla 3, en el segundo semestre del año 2011 (2011-2), en la EICEA se inscribieron 2.028 estudiantes distribuidos en los 6 programas académicos que brinda a la comunidad, esto representa el **29.76%** de la población inscrita en los diferentes programas de pregrado de la Universidad de La Sabana, lo que conlleva al uso de una buena parte de la capacidad instalada de la universidad. Del total de la EICEA el programa de Administración de Mercadeo y Logística Internacional aporta un 11.09% de los estudiantes.

[†] A. Sarmiento-Lepesqueur, C. Torres-Ovalle, C.L. Quintero-Araújo, J.R. Montoya-Torres. “Programación y asignación de horarios de clases universitarias: un enfoque de programación entera”. *Proceedings of the Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference (LACCEI'2012), Megaprojects: Building Infrastructure by fostering engineering collaboration, efficient and effective integration and innovative planning*. Panama City, Panama, July 23-27, 2012. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions (LACCEI Inc), Boca Raton, Florida, USA, 2012. (ISBN: 13 978-0-9822896-5-5). CD-ROM, paper 027.

Tabla 3. Estudiantes Inscritos por Programa Académico - EICEA

PROGRAMA	ESTUDIANTES	% Participación
1. Administración de Empresas	572	28,21%
2. Administración de Instituciones de Servicio	133	6,56%
3. Administración de Mercadeo y Logística Internacional	225	11,09%
4. Administración de Negocios Internacionales	676	33,33%
5. Economía y Finanzas Internacionales	205	10,11%
6. Gastronomía	217	10,70%
TOTAL ESTUDIANTES EICEA	2.028	

Fuente: Registro Académico

2.2. METODOLOGÍA Y SOLUCIÓN PROPUESTA

A continuación se presentan las generalidades del problema, el modelo matemático utilizado y la propuesta de solución.

2.2.1. Condiciones Generales

La programación que se realice para la Universidad debe satisfacer la siguiente serie de condiciones:

- No puede existir más de una asignación en un mismo periodo para una misma materia ni una misma aula.
- La programación se debe realizar completa, es decir que todas las asignaturas con su respectiva intensidad horaria deben tener asignado un salón en un periodo de tiempo determinado.
- Es necesario respetar la disponibilidad horaria de cada profesor.
- Las materias del mismo semestre que tengan un solo grupo no pueden ser programadas en la misma franja horaria.
- Se debe respetar la capacidad de los salones
- Una materia se puede dictar en bloques de 3 horas máximo cada día.
- Si una materia se dicta en bloque no debe cambiar de salón.

Algunas otras características particulares a tener en cuenta para la programación de clases del programa de Administración de Mercadeo y Logística Internacional son:

- Como entrada al modelo (parámetros) se conoce el número de asignaturas y el número de grupos de cada una a programar. 44 asignaturas y se sabe a qué semestre pertenece cada asignatura.

- Se conoce el número de estudiantes esperado en cada grupo a programar y la intensidad horaria requerida de cada grupo.
- Se conoce el profesor asignado a cada grupo de cada asignatura y la disponibilidad horaria de cada profesor: se cuenta con 36 profesores para dictar las 44 asignaturas.
- Se conocen los salones disponibles para realizar la asignación y la capacidad de los mismos: 47 salones.
- Se conocen las franjas horarias en las cuales se pueden programar clases. En total son 64 franjas que equivalen a franjas de 1 hora de lunes a jueves desde las 7:00 am hasta las 6:00 pm y viernes y sábados desde las 7:00 am hasta las 2:00 pm.

El modelo debe lograr la asignación del total de las asignaturas de acuerdo con su disponibilidad horaria y cumpliendo con las condiciones exigidas por el programa. Para reducir el tiempo computacional del modelo se crean parámetros auxiliares que reducen el número de variables los cuales se explicarán en la formulación del modelo.

2.2.2. Formulación del Modelo

El modelo de programación lineal entera que permite resolver el problema de programación de horarios se presenta continuación.

Conjuntos Principales

I = Franjas horarias {F1, F2, ...F64}

J = Materias (cada elemento hace referencia a una materia y su grupo {1,2,...44})

L = Salones disponibles {L1, L2,...L47}

Conjuntos Auxiliares

K = Profesores disponibles {P1, P2,..P36}

M = Semestre al que pertenece una materia {S1, S2, ...S9}

N = Días hábiles {D1,D2,...D6}

Parámetros

INTH(J) = Número de franjas horarias que debe tener la materia J.

TG(J) = Número de estudiantes esperados en la materia J .

TS(L) = Capacidad instalada (en número de estudiantes) del salón L.

MS(J,M) = Matriz de 1 y 0; 1 si la materia J pertenece al semestre M, 0 sino.

MP(J,K) = Matriz de 1 y 0; 1 si la materia J la dicta el profesor K, 0 sino

FD(I,N) = Matriz de 1 y 0; 1 si la franja es del día N, 0 sino.

FM(I,J) = Matriz de 1 y 0; 1 si en la franja I se puede dictar en la materia J, 0 sino.

FP(I,K) = Matriz de 1 y 0; 1 si en la franja I se cuenta con el profesor K, 0 sino.

CFM(I,J) = Matriz con la ponderación de las franjas horarias, con valores entre 10 y 50.

PB(J) =Parámetro de 1 y 0 si la materia j se puede dictar en máximo bloques de 3 horas 0 sino.

Variables de Decisión

$$X_{IJL} = \begin{cases} 1 & \text{si en la franja horaria I asigno la materia J al salón l} \\ 0 & \text{si en la franja horaria I NO asigno la materia J al salón l} \end{cases}$$

Modelo Matemático

Con la definición de los conjuntos, parámetros y variables anteriores la formulación del modelo es la siguiente:

$$\min \sum_{I \in CFM} \sum_{J \in FM} \sum_L [CFM_{(I,J)} X_{IJL}] \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_J X_{IJL} \leq 1 \quad \forall I, \forall L \quad (2)$$

$$\sum_L X_{IJL} \leq 1 \quad \forall I \in FM, \forall J \quad (3)$$

$$\sum_{I \in FM} \sum_L X_{IJL} = INT H_J \quad \forall J \quad (4)$$

$$X_{IJL} T G_J \leq T S_L \quad \forall I \in FM, \forall J, \forall L \quad (5)$$

$$\sum_{J \in MP} \sum_L X_{IJL} \leq 1 \quad \forall K \in FP, \forall I \quad (6)$$

$$\sum_{J \in MSUFM} \sum_L X_{IJL} \leq 1 \quad \forall M, \forall I \quad (7)$$

$$\sum_{I \in FD} \sum_L X_{IJL} \leq 3 \quad \forall N, \forall J \in PB \quad (8)$$

$$\sum_L X_{IJL} + X_{I+3JL} \leq 1 \quad \forall I \in FM, \forall N \in FD, \forall J \in PB \quad (9)$$

La ecuación (1) expresa la función objetivo, la cual busca minimizar la suma de todas las posibles asignaciones multiplicada por la matriz de costos de las franjas horarias (CFM). Esta matriz representa la ponderación que tiene cada franja en cada materia según la preferencia de los docentes. Los conjuntos de ecuaciones (2) y (3) buscan garantizar que cada salón en una franja horaria solo se puede asignar máximo una vez y que una misma materia no se programe dos veces en la misma franja horaria. El conjunto de restricciones (4) impone que cada materia se programe según la intensidad horaria semanal de la misma. El conjunto de restricciones (5) garantiza que no se exceda la capacidad de los salones disponibles. Con el fin de que las asignaturas dictadas por el mismo docente no se programen en la misma franja horaria se ha establecido la ecuación (6). Las restricciones (7) imponen que las materias del mismo semestre queden programadas a diferentes horas y así los estudiantes del mismo semestre académico podrán asistir a todas las materias pertenecientes a su semestre. Por último, las restricciones (8) y (9) garantizan que si una materia se dicta el mismo día máximo se dicta en tres franjas horarias y estas franjas deben ser consecutivas (bloques). En el modelo existen nueve restricciones iguales a la expresión (9) pero que garantizan que se cumpla a lo largo de todo el día.

2.2.3. Solución Propuesta

Debido a la complejidad del problema, el desarrollo del modelo se llevó a cabo en dos fases. La primera fase buscaba encontrar en qué franja horaria asignar cada materia cumpliendo con las restricciones impuestas. Al solucionar este modelo se pudo establecer qué materias era conveniente dictar en bloque. Sin embargo, se presentó el inconveniente de que estas materias no se dictaban en el mismo salón (por ejemplo, la asignatura de Matemática Financiera quedó programada en un bloque de tres horas pero en este lapso, cambiaba de salón en dos oportunidades). Por tal razón, se diseñó la segunda fase del modelo que se explicará más adelante. Otro inconveniente encontrado en la primera etapa fue el hecho de que no era posible cumplir la restricción (8) la cual buscaba que máximo se programaran sesiones de 3 horas de la misma materia en un día. Analizando las razones de este comportamiento del modelo en la primera fase se encontró que existe una materia en la que el profesor que la dicta solo tiene

disponibilidad horaria para un día y la intensidad de la misma es de 4 horas, por tal razón fue necesario relajar esta restricción y excluir de la misma a esta materia creando el parámetro PB_j .

En la segunda etapa, partiendo del conocimiento de las materias que era conveniente dictar en bloque y en qué franja horaria se debían dictar, se adicionan al modelo restricciones que garanticen que estos bloques se dictarán en el mismo salón. De esta manera se evitan desplazamientos innecesarios que provocarían pérdidas de clase y dispersión de los estudiantes. Dicha restricción se muestra en la ecuación (10), garantizando que para toda franja y materia que se dicte en bloque (esta información la dará el parámetro $MB_{(i,j)}$) el salón donde se ofrecerá cada materia será el mismo.

$$X_{IJL} = X_{I+1JL} \quad \forall I \in MB, \forall J \in MB, \forall l \quad (10)$$

El modelo se soluciona nuevamente arrojando como resultado que algunas de las materias que habían quedado programadas en días diferentes (no en bloque), ahora aparecen en bloque, con esto se evidencia que el modelo cambia las variables básicas para garantizar un mismo costo final. Sin embargo, esto hace que franjas no consideradas en bloque se dicten ahora en bloque y sea necesario actualizar el parámetro $MB_{(i,j)}$ para que estas nuevas materias se asignen al mismo salón. Este proceso se realiza tantas veces como sea necesario, hasta que cada materia que se dicte en bloque se dicte en el mismo salón.

2.2.4. Resultados Y Análisis

El desarrollo de las dos fases del modelo se realizó a través del sistema general de modelaje algebraico (GAMS), versión 23.5, el cual está diseñado específicamente para modelar problemas de programación lineal, no lineal o de entera mixta. Para resolver el caso bajo estudio, se utilizó una computadora personal con Procesador Intel(R) Core™ 2 Duo con memoria RAM de 4 GB. El tiempo de resolución del problema en el programa fue de 4 segundos aproximadamente para cada una de las corridas.

Una vez realizado el proceso completo (primera y segunda fase) se logró tener una programación completa de las 44 asignaturas pertenecientes al programa AMLI que cumpliera con todas y cada una de las condiciones impuestas por la Universidad. El costo asociado a esa asignación es de 1300 u.m. Se debe recordar que la función objetivo y este costo están relacionados al hecho de asignar los horarios de acuerdo a las preferencias horarias de los profesores. De las 44 asignaturas que conforman el programa, 13 materias que representan el 29.55%, no fueron programadas en bloque, 21 asignaturas (el 47.73% del total) fueron programadas en bloques de dos horas, mientras que en bloques de tres horas se programó un total de 9 asignaturas (el 20.45% del total). Como se mencionó anteriormente, solamente una materia

(llamda Marketing Electrónico) fue programada en un bloque de 4 horas debido a la disponibilidad del profesor asignado. La información obtenida de los resultados permite concluir que la ocupación de los salones es de tan solo el 4.12%, esto ocurre porque como parámetro de capacidad se tomaron los salones ubicados en los edificios E y G de la universidad con un total de 18 y 29 salones respectivamente. Como se cuenta con un total 64 franjas horarias, esto da un total de 3008 franjas disponibles por semana. Según la intensidad horaria del programa AMLI se cuenta con 124 franjas para programar en este periodo, por tal motivo la ocupación es tan baja. Por lo cual podemos concluir que la capacidad instalada que se tuvo en cuenta para la realización del modelo es mucho mayor a la que realmente se necesita.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de la programación obtenida por el modelo propuesto para el séptimo semestre del programa de Administración de Mercadeo y Logística Internacional, donde se puede ver como el modelo programó las asignaturas en bloques cumpliendo con las restricciones impuestas.

	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
7:00	BRANDING E 107		C. CONSUMIDOR 1 E 103			LOGISTICA DEL TRANS MARY PORT. E 104
8:00	ECO. DEL TRANSPORTE E 105		C. CONSUMIDOR 1 E 103			LOGISTICA DEL TRANS MARY PORT. E 104
9:00	ECO. DEL TRANSPORTE E 105	BRANDING E 107	C. CONSUMIDOR 1 E 103	GERENCIA DE MERCADEO E 102		GERENCIA DE LOGISTICA E 104
10:00	C. CONSUMIDOR 2 E 101	BRANDING E 107				GERENCIA DE LOGISTICA E 104
11:00			MERCADEO SEMIOTICO G 220			GERENCIA DE LOGISTICA E 104
12:00			MERCADEO SEMIOTICO G 220			
13:00						
14:00	GERENCIA DE MERCADEO E 107	MDEO RESPON SOCIAL CORPORATIVA E 103				
15:00	GERENCIA DE MERCADEO E 107	MDEO RESPON SOCIAL CORPORATIVA E 103				
16:00		MDEO RESPON SOCIAL CORPORATIVA E 103		LOGISTICA INVERSA E 103		
17:00	DIRECCIONAMIENTO ESTRATEGICO E 106		C. CONSUMIDOR 2 E 101	LOGISTICA INVERSA E 103		
18:00	DIRECCIONAMIENTO ESTRATEGICO E 106		C. CONSUMIDOR 2 E 101	DIRECCIONAMIENTO ESTRATEGICO E 106		

Figura 3. Ejemplo de la Programación del Séptimo Semestre del Programa de AMLI

3. ENFOQUE DE SOLUCIÓN APROXIMATIVO

Con base en el trabajo expuesto en el capítulo anterior y principalmente en el modelo matemático y su respectiva solución en el software de modelaje algebraico (GAMS), se presenta a continuación la propuesta de solución para el problema de asignación de salones y horarios de clases universitarias en la Universidad de La Sabana.

3.1. CONTEXTO DEL PROBLEMA EN LA UNIVERSIDAD DE LA SABANA

Teniendo en cuenta que el alcance definido para este trabajo de investigación aplicada son las Facultades de Ingeniería y de la Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas, en la tabla 4 se muestra la distribución de los 697 grupos de asignaturas por cada uno de los 10 programas académicos de pregrado. La información fue suministrada por la Dirección de Registro Académico y corresponde a la programación real del primer semestre del año 2012 (2012-1). Se tuvieron en cuenta las asignaturas propias de cada programa, es decir que son de carácter obligatorio, las materias denominadas transversales dentro de las que se encuentran las ofrecidas por la Facultad de Filosofía y Ciencias Humanas, el Departamento de Lenguas Extranjeras y el Instituto de la Familia, no se tomaron como entrada del modelo ya que dichas asignaturas son abiertas para toda la comunidad universitaria y en los diferentes grupos se pueden inscribir estudiantes de diferentes semestres y programas. La información detallada por programa, por materia y por grupo se encuentra en el Anexo 2 (Base General).

Tabla 4. Horas por Semana a Programar

Nombre del Programa	Número de Grupos	Horas por Semana
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	108	315
ADMINISTRACIÓN DE INSTITUCIONES DE SERVICIO	52	158
ADMINISTRACIÓN DE MERCADEO Y LOGÍSTICA INTERNACIONAL	44	118
ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS INTERNACIONALES	105	358
ECONOMIA Y FINANZAS INTERNACIONALES	48	162
GASTRONOMIA	68	216
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL	117	360
INGENIERÍA INDUSTRIAL	75	180
INGENIERÍA INFORMÁTICA	45	113
INGENIERÍA QUÍMICA	35	86
TOTAL	697	2.066

Fuente: Registro Académico

Se cuenta con un total de 2,066 horas de estudio de 60 minutos cada una, para programar en una semana, esto resulta de multiplicar los 697 grupos de materias por la intensidad horaria de cada asignatura.

La base de datos entregada por la Dirección de Registro Académico correspondiente a la programación real del primer semestre de 2012 y proporciona entre otras la siguiente información:

- Nombre de la materia y programa al que pertenece
- Número de grupos abiertos
- Tamaño del grupo
- Docente que tiene programado cada grupo
- Salón o laboratorio donde es dictado cada grupo
- Fecha y hora que es programado cada grupo

Esta información se complementó con la intensidad horaria y el semestre al que pertenece cada asignatura, para esto se trabajó con los planes de estudio que se encuentran en el sitio web de la Universidad de La Sabana y que se presentan en el anexo 3 (Carpeta Planes de Estudio).

También se obtuvo en las respectivas facultades la disponibilidad de los docentes de cátedra, para los profesores de planta se utilizó un horario de 7 a.m. a 5 p.m. de lunes a jueves y los viernes de 7 a.m. a 2 p.m., se cuenta en total con 276 maestros. Toda esta información se organizó en la matriz disponibilidad docentes (disponible en el anexo 4). Para la capacidad instalada se acudió a la Dirección Administrativa quien es el responsable de su administración, se obtuvo la información del total de los salones, laboratorios y talleres, sin embargo sólo se incluyen el modelo los salones de los edificios G (27 aulas) y E1 (10 aulas), más los 5 talleres de alimentos ubicados en el tercer piso del edificio L, el salón L203 que es la sala Bloomberg, 6 laboratorios de la Facultad de Ingeniería y 3 salones del edificio C, para un total de 60 aulas de estudio, es importante mencionar que no se incluyen todos los laboratorios con los que cuenta la Facultad de Ingeniería ya que revisando la programación real sólo se encontró programación de materias en estos 5 laboratorios, seguramente porque para el 2012-1, no se había terminado la adecuación de los nuevos laboratorios para la Facultad de Ingeniería en los edificio B y C. La información de las aulas utilizadas se puede ver en el anexo 5 (Salones).

Todas las aulas de clases, laboratorios y talleres están completamente dotadas con recursos audiovisuales (CPU, Video Beam, Telón y sonido), además, para las clases que requieren algún tipo de equipo de cómputo la Universidad cuenta con aproximadamente 400 computadores portátiles ubicados estratégicamente en cada edificio para préstamo a los estudiantes, para esto previamente el docente debe informar a la Facultad para que sean solicitados a la Coordinadora Administrativa quien programa la entrega de los equipos con el personal de apoyo audiovisual. Por lo tanto los recursos audiovisuales no se tienen en cuenta como restricción del problema.

3.2. MODELO MATEMÁTICO

Para dar respuesta al problema planteado se toma como base el modelo matemático expuesto en el capítulo anterior, ya que la formulación del mismo cumple con todas las restricciones propias del problema de programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias, a este modelo se le realizan los siguientes cambio que permiten obtener la solución al problema planteado.

Conjuntos principales

I = franjas horarias {F1, F2, ..., F64}

J = materias (cada elemento referencia un grupo de cada materia {M1, M2, M3 ... }

L = Salones disponibles {L1, L2, ..., L53}

Conjuntos auxiliares

K = profesores disponibles {P1, P2, ..., P276}

M = semestre al que puede pertenecer una materia {S1, S2, ..., S10}

N = Días hábiles {D1, D2, ..., D6}

Parámetros

Los parámetros relacionados a continuación en su gran mayoría han sido identificados en el proceso de investigación y con base en el trabajo realizado con el personal involucrado en la programación de horarios en las diferentes unidades académico administrativas en la Universidad de La Sabana, otros se han construido con base en los parámetros existentes y el parámetro CFM, se construyó para ponderar las franjas horarias pensando en las preferencias de los profesores. En algunos casos para facilitar el manejo de los datos y su respectivo ingreso en GAMS los índices cambian de orden con relación al modelo original, de esta manera tanto la recopilación, ingreso al modelo y análisis se realiza más fácilmente.

INTH_(J) = Número de franjas horarias que debe tener la materia J

TG_(J) = Número de estudiantes esperados en la materia J

TS_(L) = Capacidad instalada (en número de estudiantes) del salón L

MS_(J,M) = Matriz de 1 y 0; 1 si la materia J pertenece al semestre M 0 sino

$\mathbf{MP}_{(J,K)}$ = Matriz de 1 y 0; 1 si la materia J la dicta el profesor K 0 sino

$\mathbf{FD}_{(I,N)}$ = Matriz de 1 y 0; 1 si la franja I es del día N 0 sino

$\mathbf{FM}_{(J,I)}$ = Matriz de 1 y 0; 1 si en la franja I se puede dictar la materia J 0 sino

$\mathbf{FP}_{(I,K)}$ = Matriz de 1 y 0; 1 si en la franja I se cuenta con el profesor K 0 sino

$\mathbf{CFM}_{(J,I)}$ = Matriz con la ponderación de las franjas horarias con valores entre 2 y 9

$\mathbf{MA}_{(J,L)}$ = 1 si la materia j se puede dictar en estos salones, 0 sino

Este último parámetro se crea e incluye en la segunda fase del modelo, se utiliza de la siguiente manera:

- Se obtiene la primera solución con el modelo base
- Se identifican las asignaturas que se programan en bloque y que cambian de salón
- En la matriz $\mathbf{MA}_{(J,L)}$ se habilita solamente las materias al salón donde más se repite alguna materia
- Para las materias que no son programadas en bloques se habilitan las opciones para que sea programada en cualquier aula disponible
- Se obtiene la solución completa en la segunda fase, garantizando cumplimiento de todas las restricciones y para las que se programan en bloque, éstas ya no cambian de salón.

Variables de decisión

$$X_{I,J,L} = \begin{cases} 1 & \text{si en la franja horaria I asigno la materia J al salón l} \\ 0 & \text{si en la franja horaria I NO asigno la materia J al salón l} \end{cases}$$

Función objetivo

$$\text{MIN} = \sum_{I \in \text{CFM}} \sum_{J \in \text{FM}} \sum_L \text{CFM}_{(I,J)} * X_{IJL} \quad (1)$$

La ecuación (1) expresa la función objetivo, ésta busca minimizar la suma de todas las posibles asignaciones multiplicada por la matriz de costos de las franjas horaria, esta matriz representa la ponderación que tiene cada franja en cada materia según la disponibilidad de los docentes, para construir esta matriz se trabajó con la siguiente ponderación en la cual se da un peso porcentual a cada una de las franjas con base en el peso expresado en u.m. de las horas del día, dando un peso bajo a las franjas más deseables para programar y por el contrario un peso alto a las franjas donde no se desea programar.

Tabla 5. Ponderación Horas u.m.

HORA	PESO
7:00 AM	2
8:00 AM	2
9:00 AM	3
10:00 AM	3
11:00 AM	4
12:00 PM	7
1:00 PM	7
2:00 PM	5
3:00 PM	2
4:00 PM	2
5:00 PM	3
6:00 PM	5

Fuente: Autoría Propia

La estrategia utilizada al ponderar las horas busca penalizar algunas franjas del día en las que no es deseable que se programen clases, como por ejemplo de 12 p.m. a 2 p.m., de esta manera se logra que el modelo en lo posible respete estas franjas y no realiza ninguna programación, así tanto docentes como estudiantes quedan libres para disfrutar de su hora de almuerzo, por el contrario en las horas de la mañana se da un peso menor que ayude al modelo a programar la mayor cantidad de asignaturas en las primeras horas de la mañana y después de la hora de almuerzo.

Restricciones

A continuación se relacionan las diferentes restricciones identificadas en el proceso de investigación y que se tuvieron en cuenta en la construcción del modelo.

En la ecuación (2) se tiene en cuenta que cada salón en una franja horaria solo se puede asignar máximo una vez, de esta manera se garantiza que no se programen dos materias al mismo tiempo en el mismo salón.

$$\sum_J X_{IJL} \leq 1 ; \forall I, \forall L \quad (2)$$

La ecuación (3) garantiza que una asignatura solo se pueda programar máximo una vez en una franja horaria, de esta manera la misma materia no se programará dos veces en la misma franja horaria.

$$\sum_{L \in MA} X_{IJL} \leq 1 ; \forall I \in FM, \forall J \quad (3)$$

Toda asignatura debe ser programada según su intensidad horaria semanal, esto se cumple con la ecuación (4), dando cumplimiento a lo estipulado en el plan de estudios de cada programa académico.

$$\sum_{I \in FM} \sum_{L \in FM \in MA} X_{IJL} = INT_H J ; \forall J \quad (4)$$

Los salones tomados para el modelo tienen capacidad para cierto número de estudiantes, con la ecuación (5), se garantiza que las asignaturas programadas en estos salones no excedan la capacidad de los mismos.

$$X_{IJL} * TG_J \leq TS_L ; \forall I \in MF, \forall J \in MF, \forall L \quad (5)$$

Con el fin de que las asignaturas dictadas por el mismo docente no se programen en la misma franja horaria, se ha establecido la ecuación (6), con la cual se da cumplimiento a esto, evitando que el mismo docente tenga asignados dos eventos a la misma hora.

$$\sum_{J \in MF} \sum_{L \in MA} X_{IJL} \leq 1 ; \forall K, \forall I \in MF \quad (6)$$

Es importante que las materias del mismo semestre queden programadas a diferentes horas, de esta manera los estudiantes del mismo semestre académico podrán asistir a todas las materias pertenecientes a su semestre, para esto se ha planteado la ecuación (7).

$$\sum_{J \in MS} \sum_{L \in MA} X_{IJL} \leq 1 ; \forall M, \forall I \quad (7)$$

Si una materia se dicta en bloque estos bloques no deben superar 3 horas seguidas, por lo cual se ha establecido la ecuación (8) que garantiza que esta restricción se cumpla, esto de acuerdo a lo establecido por la Dirección de La Maestría.

$$\sum_{I \in FD} \sum_{L \in MA} X_{IJL} \leq 3 ; \forall N, \forall J \in PB \quad (8)$$

3.3. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos, para esto se desarrollaron dos estrategias, la primera donde se halla la programación de todas los grupos cumpliendo con el conjunto de restricciones planteadas en el problema y que permiten identificar en que franjas horarias fueron asignadas los diferentes grupos de asignaturas y la segunda donde es necesario modificar algunas de las restricciones que permitan que el modelo realice la programación de las asignaturas en bloques en el mismo salón, de esta manera se garantiza que si una materia es programada en bloque de 2 o 3 horas durante este lapso no cambie de aula de clase, evitando desplazamientos que afectarían la adecuada prestación de las clases.

Debido a la complejidad del problema la estrategia planteada es la aplicación del modelo matemático planteado por programa académico, es decir se programa y corre el modelo en GAMS para encontrar la solución a cada uno de los 10 programas definidos en el alcance del proyecto. Esta decisión se tomó en conjunto con el Director del Trabajo de Grado, después de consultarlo con algunos docentes de la EICEA y de programar el modelo con toda la información de los 10 programas. En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos al programar el modelo

completo en el que se incluye la información de los 697 grupos de asignatura, en este caso el modelo no tiene solución factible, por lo que se decide relajar el problema y programarlo por facultades.

```

EGAMS Rev 135 Microsoft Window 12/16/12 09:10:31 Page
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE horario Using MIP From line 11359

MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS 8 SINGLE EQUATIONS 873096
BLOCKS OF VARIABLES 2 SINGLE VARIABLES 2157121
NON ZERO ELEMENTS 8981236 DISCRETE VARIABLES 2157120

GENERATION TIME = 21.351 SECONDS 401.1 Mb WIN211-135

EXECUTION TIME = 21.351 SECONDS 401.1 Mb WIN211-135
EGAMS Rev 135 Microsoft Window 12/16/12 09:10:31 Page
General Algebraic Modeling System
Solution Report SOLVE horario Using MIP From line 11359

S O L V E S U M M A R Y
MODEL horario OBJECTIVE Z
TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE
SOLVER CPLEX FROM LINE 11359

**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS 10 INTEGER INFEASIBLE
**** OBJECTIVE VALUE 0.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 35.120 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000

GAMS/Cplex Jun 2, 2003 WIN.CP.CP 21.1 023.025.041.VIS For Cplex 8.1
Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Problem is integer infeasible.

```

Figura 4. Resultados en GAMS del Problema Completo de Programación de Horarios y Asignación de Aulas de Clase en la Universidad de La Sabana

En la siguiente figura están los resultados del modelo al programar solamente la información de la EICEA donde se incluyen 431 grupos, es decir un 61,8% del total de los grupos a programar, sin embargo aunque se reduce sustancialmente la información del modelo, el resultado es similar al anterior no se encuentra solución factible.

```

EGAMS Rev 135 Microsoft Window 12/16/12 09:10:31 Page
General Algebraic Modeling System
Model Statistics SOLVE horario Using MIP From line 11359

MODEL STATISTICS
BLOCKS OF EQUATIONS 8 SINGLE EQUATIONS 873096
BLOCKS OF VARIABLES 2 SINGLE VARIABLES 2157121
NON ZERO ELEMENTS 8981236 DISCRETE VARIABLES 2157120

GENERATION TIME = 21.351 SECONDS 401.1 Mb WIN211-135

EXECUTION TIME = 21.351 SECONDS 401.1 Mb WIN211-135
EGAMS Rev 135 Microsoft Window 12/16/12 09:10:31 Page
General Algebraic Modeling System
Solution Report SOLVE horario Using MIP From line 11359

S O L V E S U M M A R Y
MODEL horario OBJECTIVE Z
TYPE MIP DIRECTION MINIMIZE
SOLVER CPLEX FROM LINE 11359

**** SOLVER STATUS 1 NORMAL COMPLETION
**** MODEL STATUS 10 INTEGER INFEASIBLE
**** OBJECTIVE VALUE 0.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 35.120 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 0 10000

GAMS/Cplex Jun 2, 2003 WIN.CP.CP 21.1 023.025.041.VIS For Cplex 8.1
Cplex 8.1.0, GAMS Link 23
Cplex licensed for 1 use of lp, mip and barrier.

Problem is integer infeasible.

```

Figura 5. Resultados en GAMS del Problema para la EICEA de Programación de Horarios y Asignación de Aulas de Clase en la Universidad de La Sabana

3.3.1. Primera Fase

La matriz general se ordena en primer lugar por programa académicos, luego por semestre y finalmente por asignatura, de esta manera es más fácil la manipulación de los datos, ya que es necesario aplicar filtros por programa académico y en algunos casos se trabajó por semestre.

Para resolver el problema en GAMS se trabajó por programas académicos, programando y resolviendo el problema uno por uno. La metodología utilizada fue iniciar la programación con los programas de menor número de grupos a programar, cuando el problema se volvía más complejo debido al número de grupos del programa, se resuelve el problema por semestre académico, por ejemplo el programa de Administración de Empresas que por ser un programa con 108 asignaturas el software no tiene los recursos necesarios para resolverlo, pues la solución era interrumpida por superar el número de iteraciones, este caso se dio para los programas de Administración, Negocios Internacionales e Ingeniería de Producción Agroindustrial.

A continuación se muestra en la tabla 6 la distribución de programas con número de asignaturas y grupos de estudio, además, de la solución aplicada para cada programa académico.

Tabla 6. Solución por Programas Académicos

ID	Nombre del Programa	Número de Materias	Número de Grupos	Solución Completa	Solución por Semestres
1	INGENIERÍA QUÍMICA	29	35	X	
2	ADMINISTRACIÓN DE MERCADEO Y LOGÍSTICA INTERNACIONAL	41	44	X	
3	INGENIERÍA INFORMÁTICA	34	45	X	
4	ECONOMIA Y FINANZAS INTERNACIONALES	36	48	X	
5	ADMINISTRACIÓN DE INSTITUCIONES DE SERVICIO	52	52	X	
6	GASTRONOMIA	45	68	X	
7	INGENIERÍA INDUSTRIAL	40	75	X	
8	ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS INTERNACIONALES	46	105		X
9	ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	53	108		X
10	INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL	39	117		X
TOTAL		415	697		

Fuente: Registro Académico

En primera fase se obtiene la solución completa de siete programas académicos con hasta 75 grupos de estudio, los cuales logran resolverse completos cumpliendo con todo el conjunto de restricciones, mientras que 3 programas, los de mayor número de grupos se deben resolver por semestres, también cumpliendo con todas las restricciones.

La siguiente es la información de cada uno de 10 los programas y el orden en que se resolvieron en la primera fase.

- El primer programa académico en programarse en GAMS es Ingeniería Química que cuenta con 35 grupos correspondientes a 29 asignaturas propias del programa y que están distribuidas en 8 semestres.
- En segundo lugar en GAMS se programan y resuelven los 44 grupos de las 41 asignaturas correspondientes al programa de Administración de Mercadeo y Logística Internacional.
- El tercer programa académico en programarse y encontrar solución factible en GAMS fue Ingeniería Informática, el cual cuenta con 45 grupos para 34 asignaturas que pertenecen a 7 semestres.
- Posteriormente se programan los 48 grupos las 36 asignaturas del programa de Economía y Finanzas Internacionales, las cuales se encuentran distribuidas en 10 semestres.
- El quinto programa en programarse en GAMS fue Administración de Instituciones de Servicios que cuenta con 52 materias, en este caso no se presentan grupos es decir cada asignatura no cuenta con subdivisiones en grupos como si pasa en los demás programas.
- El programa de Gastronomía que cuenta con 68 grupos pertenecientes a 45 asignaturas fue programado en sexto lugar, estas materia están distribuidas en 8 semestres.
- El programa de Ingeniería Industrial tiene 40 asignaturas y 75 grupos de estudio los cuales están distribuidos en 9 semestres, este programa se programó en GAMS en séptimo lugar.
- El octavo programa en resolverse a través de la programación en GAMS fue Administración de Negocios Internacionales, que cuenta con 105 grupos que pertenecen a 46 asignaturas distribuidas en 8 semestres. Debido al gran número de grupos, para encontrar la solución a este problema fue necesario resolverlo por semestres, es decir se programaron en GAMS cada semestre por separado, de esta manera se relajaba el problema y fue posible hallar una solución factible. En este caso se encuentra la solución al primer semestre, luego el problema se divide en otro grupo conformado por los grupos de los semestres 2, 3, 4 y 5 y finalmente se programa y encuentra solución a los semestres 6,7 y 8, con esto se da una solución efectiva a la programación de este programa académico.

- Para el programa de Administración de Empresas fue necesario realizar el mismo procedimiento del programa anterior, ya que Empresas cuenta con 108 grupos que pertenecen a 53 asignaturas distribuidas en 10 semestres académicos, lo cual hace más complejo el problema. Al programarlo por semestres se encuentra solución factible.
- El último programa en montarse en GAMS fue Ingeniería de Producción Agroindustrial, el cual cuenta con 117 grupos pertenecientes a 39 asignaturas distribuidas en 10 semestres académicos. Como este programa tiene gran cantidad de grupos fue necesario resolverlo de forma individual, al programar separadamente los semestres en GAMS se obtienen una solución factible al problema.

A continuación se muestra la programación obtenida en esta fase para el programa de Economía y Finanzas Internacionales, en este caso se trabajo la solución inicial con el conjunto de salones conformado por las aulas E108, E109, G107, G108, G09 Y L203, ésta última fue necesario utilizarla porque este programa cuenta con asignaturas como Finanzas Aplicadas a Bloomberg (sala dotada con equipos que permiten ver indicadores económicos en tiempo real y realizar simulaciones especializadas).

En la tabla 7 se muestra una parte de la programación obtenida en la primera fase para este programa, dicha programación cumple con el conjunto de restricciones impuesta en el problema, sin embargo las materias que programa en bloques cambian de aula de clases, por ejemplo la asignatura codificada como M312 que es programada en un bloque de 2 horas en las franjas F49 y F50 cambian de aula, pasando del salón L25 al L51, otro ejemplo es la materia con el código M314 que tiene una intensidad horaria de 3 horas a la semana es programada en las franjas F3, F4 y F5, pero inicia en el salón L51, pasa al salón L25 y vuelve al aula L51, esto mismo ocurre con otras asignaturas, por lo que es necesario realizar la segunda fase del proyecto y garantizar que las materias programadas en bloques no cambien de espacio físico.

Tabla 7. Resultado Programación en Gams – Programa Economía y Finanzas Internacionales

FRANJA	MATERIA	L1	L2	L3	L24	L25	L51
F2	M310			1			
F25	M310	1					
F37	M310				1		
F1	M311		1				
F13	M311		1				
F14	M311		1				
F40	M311						1
F10	M312	1					
F27	M312						1
F44	M312						1
F45	M312	1					
F21	M313				1		
F49	M313					1	
F50	M313						1
F3	M314						1
F4	M314					1	
F5	M314						1
F15	M315						1
F57	M315						1
F59	M315					1	
F26	M316					1	
F38	M316	1					
F39	M316						1
F14	M317						1
F37	M317						1
F38	M317					1	
F10	M318			1			
F39	M318	1					
F9	M318	1					
F1	M319						1
F33	M319					1	
F49	M319			1			
F25	M320						1
F26	M320	1					
F50	M320		1				
F2	M321	1					
F27	M321			1			
F4	M321				1		
F52	M321		1				
F11	M322						1
F34	M322	1					
F46	M322					1	

Fuente: Archivo Resultados 4 – Economía Primera Fase.lst

3.3.2. Segunda Fase

En la segunda fase se logra que las materias que sean programadas en bloque no cambien de salón, de esta manera se consigue una programación compacta en un solo espacio físico sin tener que desplazarse a otra aula lo cual causaría pérdidas de tiempo. Para esto se rmodifican las restricciones explicadas en el modelo matemático, donde se involucra el parámetro $MA_{(J,L)}$ en todas las restricciones que realizan sumatoria sobre los salones (L), y se incluye la matriz de materias salones $MA_{(J,L)}$ como entrada al modelo.

La siguiente es la programación obtenida en la segunda fase, dentro de la cual se plantearon algunos indicadores de uso de los salones y utilización de las franjas, además, de realizar un comparativo con la programación real (2011-2), este análisis se realiza programa por programa debido a que cada uno tiene características diferentes. El orden de solución fue el mismo utilizado en la primera fase, también se aplica la misma metodología.

- **Programa de Ingeniería Química**

Para resolver el programa de Ingeniería Química se trabajó con los laboratorios de Química y Biología, además del salón C106, ubicado en el edificio C, el mismo donde se encuentran los laboratorios de la Facultad de Ingeniería. Las siguientes tablas muestran la programación obtenida para este programa, donde se programaron en total 86 horas de estudio utilizando 3 aulas entre laboratorio y salones.

Tabla 8. Programación Programa Ingeniería Química – Laboratorio de Química

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M693	LAB. DE INGENIERIA QUIMICA III	M674	EMPREDIMIENTO Y NEGOCIACION	M673	METODOS NUMERICOS			M691	ING. DE SISTEMAS PROCESOS Y PRODUCTOS II		
08:00 a.m.	M695	PETROQUIMICA	M674	EMPREDIMIENTO Y NEGOCIACION	M673	METODOS NUMERICOS	M692	LAB. DE INGENIERIA QUIMICA III	M691	ING. DE SISTEMAS PROCESOS Y PRODUCTOS II		
09:00 a.m.	M669	FENOMENOS DE TRANSPORTE	M664	TALLER DE PENSAMIENTO Y METODO CIENTIFIC	M671	LAB. ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO	M674	EMPREDIMIENTO Y NEGOCIACION	M683	LAB. DE INGENIERIA QUIMICA II		
10:00 a.m.	M669	FENOMENOS DE TRANSPORTE	M664	TALLER DE PENSAMIENTO Y METODO CIENTIFIC	M691	ING. DE SISTEMAS PROCESOS Y PRODUCTOS II	M692	LAB. DE INGENIERIA QUIMICA III	M683	LAB. DE INGENIERIA QUIMICA II		
11:00 a.m.			M695	PETROQUIMICA			M669	FENOMENOS DE TRANSPORTE	M678	LAB. INGENIERIA QUIMICA I		
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.												
03:00 p.m.	M690	DINAMICA DE PROCESOS Y CONTROL	M684	LAB. DE INGENIERIA QUIMICA II	M666	TERMODINAMICA DEL EQUILIBRIO	M693	LAB. DE INGENIERIA QUIMICA III				
04:00 p.m.	M690	DINAMICA DE PROCESOS Y CONTROL	M679	LAB. INGENIERIA QUIMICA I	M666	TERMODINAMICA DEL EQUILIBRIO	M671	LAB. ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO				
05:00 p.m.	M690	DINAMICA DE PROCESOS Y CONTROL	M678	LAB. INGENIERIA QUIMICA I	M666	TERMODINAMICA DEL EQUILIBRIO	M679	LAB. INGENIERIA QUIMICA I				
06:00 p.m.												

Fuente: Autoría Propia

En la tabla número 8 se presenta la programación del laboratorio de Química, en el que se programaron en total 35 horas y donde las materias que fueron programas en bloques quedaron asignadas en el mismo salón, por ejemplo la asignatura de Termodinámica del Equilibrio de cuarto semestre que tiene una intensidad horaria de 3 horas semanales quedó programada el día miércoles en un bloque de 3 horas iniciando a las 3 p.m. y finalizando a 6 p.m.

Tabla 9. Programación Programa Ingeniería Química – Laboratorio de Biología

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M681	EVALUACION TEC ECO DE PROYECTOS Y GES DE PROYECTOS	M694	MODELACION Y SIMULACION ING. QUIMICA	M696	PROFUNDIZACION II	M694	MODELACION Y SIMULACION ING. QUIMICA	M681	EVALUACION TEC ECO DE PROYECTOS Y GES DE PROYECTOS		
08:00 a.m.	M665	CIENCIA DE LOS MATERIALES	M694	MODELACION Y SIMULACION ING. QUIMICA	M696	PROFUNDIZACION II	M670	FENOMENOS DE TRANSPORTE	M668	BIOLOGIA GENERAL		
09:00 a.m.	M665	CIENCIA DE LOS MATERIALES	M672	LAB. BIOLOGIA GENERAL	M696	PROFUNDIZACION II	M670	FENOMENOS DE TRANSPORTE	M668	BIOLOGIA GENERAL		
10:00 a.m.	M682	ING. DE SISTEMAS DE PROCESOS Y PRODUCTO I	M689	CONTAMINACION AMBIENTAL	M668	BIOLOGIA GENERAL	M670	FENOMENOS DE TRANSPORTE	M672	LAB. BIOLOGIA GENERAL		
11:00 a.m.	M675	INGENIERIA DE FENOMENOS DEL TRANSPORTE					M689	CONTAMINACION AMBIENTAL				
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.												
03:00 p.m.	M665	CIENCIA DE LOS MATERIALES	M697	SEMINARIO PROYECTO DE GRADO II	M688	BIOTECNOLOGIA	M675	INGENIERIA DE FENOMENOS DEL TRANSPORTE				
04:00 p.m.	M682	ING. DE SISTEMAS DE PROCESOS Y PRODUCTO I	M697	SEMINARIO PROYECTO DE GRADO II	M688	BIOTECNOLOGIA	M675	INGENIERIA DE FENOMENOS DEL TRANSPORTE				
05:00 p.m.	M682	ING. DE SISTEMAS DE PROCESOS Y PRODUCTO I	M687	SEMINARIO DE PROYECTO GRADO I			M687	SEMINARIO DE PROYECTO GRADO I				
06:00 p.m.												

Fuente: Autoría Propia

En la tabla numero 9 se muestra la programación del laboratorio de Biología, en el que se programaron en total 33 horas y en la tabla 10 está la programación del salón C-106 con un total de 18 horas programadas, en ambas aulas se programan materias en bloques sin que cambien de salón.

Tabla 10. Programación Programa Ingeniería Química – Salón C-106

HORA	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M676	INGENIERIA DE LAS REACCIONES QUIMICAS	M685	OPERACIONES DE SEPARACION Y NUEVAS TECN	M677	INGENIERIA DE LAS REACCIONES QUIMICAS	M676	INGENIERIA DE LAS REACCIONES QUIMICAS				
08:00 a.m.	M667	ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO	M667	ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO	M685	OPERACIONES DE SEPARACION Y NUEVAS TECN	M676	INGENIERIA DE LAS REACCIONES QUIMICAS	M685	OPERACIONES DE SEPARACION Y NUEVAS TECN		
09:00 a.m.									M680	SEMINARIO DE ING. QUIMICA		
10:00 a.m.									M680	SEMINARIO DE ING. QUIMICA		
11:00 a.m.												
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.												
03:00 p.m.	M677	INGENIERIA DE LAS REACCIONES QUIMICAS	M663	TALLER DE PENSAMIENTO Y METODO CIENTIFIC	M667	ANALISIS QUIMICO CUANTITATIVO	M686	SALUD SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE				
04:00 p.m.	M677	INGENIERIA DE LAS REACCIONES QUIMICAS	M663	TALLER DE PENSAMIENTO Y METODO CIENTIFIC			M686	SALUD SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE				
05:00 p.m.												
06:00 p.m.												

Fuente: Autoría Propia

En cada salón o laboratorio se pueden programar como máximo 64 horas de estudio, con el fin de medir el uso de la capacidad instalada, en cada programa se ha planteado un indicador que mida que tanto se está utilizando la capacidad de cada una de las aulas. Para el caso del programa de Ingeniería Química, se presenta la tabla 11 donde se aprecia que el laboratorio de Química se utiliza un 54,69% con 35 horas, seguido por el laboratorio de Biología con 51,56% y finalmente el salón C-106 tan solo tiene 18 horas programadas lo que indica que se utiliza un 28,13%.

Tabla 11. Uso de la Capacidad Instalada I.Q.

Salón	H/ Semana	% Ocupación
LAB. QUIMICA	35	54,69%
LAB. BIOLOGÍA	33	51,56%
L45 - C106	18	28,13%

Fuente: Autoría Propia

Para la comunidad universitaria es importante contar con tiempo libre para disfrutar de la hora de almuerzo, compartir con los compañeros y aprovechar la gran ventaja de trabajar o estudiar en un campus universitario, por esta razón el modelo matemático logra realizar una programación que cumpla con esta restricción blanda, que aunque no hace parte fundamental del problema si se vio necesario involucrarla dentro de la programación.

En la figura 6 se realiza un comparativo del uso de las franjas entre la programación real y los resultados del modelo propuesto, ahí se aprecia que la programación obtenida por el modelo deja libres las franjas comprendidas entre las 12 p.m. y 2 p.m., mientras que la programación real tiene programados 4 grupos a las 12 p.m. y 3 grupos a la 1 p.m. Además, la programación del modelo propuesto tiene la mayor concentración en las horas de la tarde, después de almuerzo y en las primeras franjas de la mañana, la hora que mayor número de asignaturas tiene programas es la franja de las 3 p.m., sin embargo hay que tener en cuenta que dicha franja solo está presente en 4 días (lunes a jueves) porque el día viernes y sábado la programación finaliza a las 2 p.m., por lo menos para el caso de los programas de pregrado, ya que en la Universidad el día viernes en la tarde inicia toda la operación de los posgrados y finaliza el sábado en la tarde, razón por la cual en este lapso se procura no realizar programación, a no ser que los docentes que dicten estas materias solo tengan disponibilidad en estas franjas, también se encuentra que la programación real tiene programada la asignatura de Laboratorio de Ingeniería Química I el viernes a las 3 p.m. franja que para el modelo no te tuvo en cuenta.

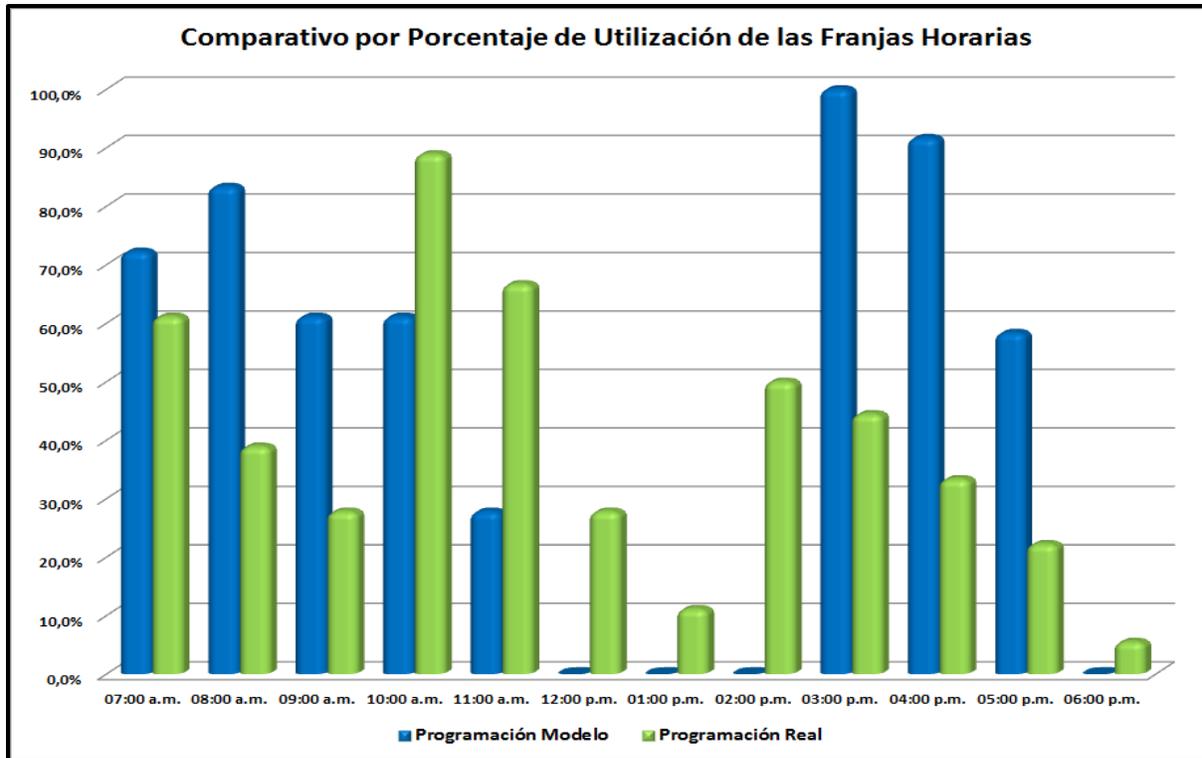


Figura 6. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Ingeniería Química

Finalmente se realiza un cuadro comparativo en la tabla 12, donde se muestra el valor de la solución (para hallar el valor de la programación real se utiliza la misma metodología de ponderación de franjas utilizada en el modelo), en el caso de la solución real el valor es de 288 u.m., entre tanto la solución del modelo que es de 211 u.m., ésta solución mejora en un 26,7% en comparación con la programación real, lo que indica que la solución y la metodología propuesta es más eficiente que la programación real. También se comparan la cantidad de materias que son programadas en bloques de 2, 3 y 4 horas y las que no son programadas en bloques, en el caso de la programación real se encuentra que 34 de las 35 asignaturas son programadas en bloques de 2 horas y solamente una no es programada en bloque, mientras que el modelo programa 19 materias en bloques de 2 horas, 5 materias en bloques de 3 horas y 11 asignaturas no son programadas en bloques.

Tabla 12. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - I.Q.

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	1	2,9%	11	31,4%
Bloque de 2 Horas	34	97,1%	19	54,3%
Bloque de 3 Horas	0	0,0%	5	14,3%
Bloque de 4 Horas	0	0,0%	0	0,0%
Valor de la Solución	288		211	

Fuente: Autoría Propia

- **Programa de Administración de Mercadeo y Logística Internacional.**

El conjunto de salones pre asignado al programa de Administración de Mercadeo y Logística Internacional (AMLI) está conformado por los salones E-104 (L4), E-105 (L5), E-106 (L6) y G-113 (L30), este programa cuenta con 41 asignaturas distribuidas en 44 grupos y de acuerdo a su intensidad horaria se programaron 117 horas de estudio en la semana.

Tabla 13. Programación Programa AMLI – Salón G-113

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M165	AUDITORIA DE SERVICIO	M183	LOGISTICA DE DISTRIBUCCION	M170	FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS	M199	NEGOCIOS Y COMERCIO INTERNACIONAL	M183	LOGISTICA DE DISTRIBUCCION	M163	MICROECONOMIA
08:00 a.m.	M199	NEGOCIOS Y COMERCIO INTERNACIONAL	M183	LOGISTICA DE DISTRIBUCCION	M170	FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS	M199	NEGOCIOS Y COMERCIO INTERNACIONAL	M183	LOGISTICA DE DISTRIBUCCION	M192	LOGISTICA DEL TRANSPORTE MARITIMO Y PORTUARIO
09:00 a.m.			M165	AUDITORIA DE SERVICIO	M176	FUNDAMENTOS JURIDICOS	M199	NEGOCIOS Y COMERCIO INTERNACIONAL				
10:00 a.m.	M189	ECONOMIA DEL TRANSPORTE			M176	FUNDAMENTOS JURIDICOS	M191	GERENCIA DE MERCADEO				
11:00 a.m.	M189	ECONOMIA DEL TRANSPORTE			M176	FUNDAMENTOS JURIDICOS	M191	GERENCIA DE MERCADEO				
12:00 p.m.	M166	AUDITORIA DE SERVICIO										
01:00 p.m.												
02:00 p.m.	M191	GERENCIA DE MERCADEO										
03:00 p.m.	M191	GERENCIA DE MERCADEO	M163	MICROECONOMIA	M193	LOGISTICA INVERSA	M163	MICROECONOMIA				
04:00 p.m.			M163	MICROECONOMIA	M193	LOGISTICA INVERSA						
05:00 p.m.	M185	BRANDING			M196	MERCADEO SEMIOTICO						
06:00 p.m.	M185	BRANDING	M170	FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS	M196	MERCADEO SEMIOTICO						

Fuente: Autoría Propia

En la tabla #13 se muestra un ejemplo de la programación obtenida como resultado del modelo en GAMS, donde en el salón (L30) G-113 se programan en total 34 horas de estudio, en este caso se programan 11 bloques de 2 horas, 2 bloques de 3 horas para las materias de Fundamentos Jurídicos (M176) y Negocios y Comercio Internacional (M199), y 6 horas que se programan de manera individual, el porcentaje de ocupación es de 53,13% y las franjas que mayor ocupación tiene son las 7 a.m., 8 a.m. y 3 p.m., mientras que la franja de menor uso es la de la 1 p.m. con cero programación. La programación completa se encuentra en los anexos.

El porcentaje de utilización de la capacidad de los salones utilizados en el programa de Administración de Mercadeo y Logística Internacional se muestra en la siguiente tabla, el salón de mayor uso es G-113 con un 53,13%, le sigue el aula E-114 en el que se programan 33 horas con un porcentaje de uso del 51,56%, en el salón E-105 se programan 31 horas que representan un porcentaje de uso del 48,44%, finalmente en la aula E-106 se utiliza el 29,69% del total de las horas que podrían programarse, es decir solamente se utilizan 19 horas de las 64 posibles.

Tabla 14. Uso de la Capacidad Instalada AMLI

Salón	H/ Semana	% Ocupación
L4 - E104	33	51,56%
L5 - E105	31	48,44%
L6 - E106	19	29,69%
L30 - G113	34	53,13%

Fuente: Autoría Propia

El valor de la solución del modelo matemático propuesto y su respectivo resultado en GAMS para el programa de AMLI es de 315 u.m., mientras que el valor obtenido al calcular la programación real de es 395 u.m., lo que indica que la solución propuesta mejora en un 20,3% con respecto a la programación original. Comparando el número de bloques se aprecia que la programación real del 2012-1 tiene más materias programadas en bloques de 2 y 3 horas con respecto a la programación del modelo, además, también se programa un mayor número de materias individualmente pasando de 2 a 9 materias, en cuanto al bloque de 4 horas se mantiene en ambos casos la asignatura de Marketing Electrónico (M201), esto se debe a que el docente solo tiene disponibilidad el día sábado.

Tabla 15. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - AMLI

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	2	4,5%	9	20,5%
Bloque de 2 Horas	33	75,0%	29	65,9%
Bloque de 3 Horas	8	18,2%	5	11,4%
Bloque de 4 Horas	1	2,3%	1	2,3%
Valor de la Solución	395		315	

Fuente: Autoría Propia

Los resultados muestran que el uso de las franjas respeta las horas del mediodía en las que no es deseable realizar programación, a no ser que sea estrictamente necesario, es por eso que el modelo programa las materias de Fundamentos de Mercadeo (M167) y Auditoria de Servicio (M166) a las 12 p.m. y Fundamentos de Mercadeo (M167) a la 1 p.m., en comparación con la programación real se da uso a las franjas de mayor preferencia, mientras que en la programación original se da un uso casi uniforme a todas las franjas posibles, también se encuentra programada la materia de Retailing el sábado a las 3 p.m.

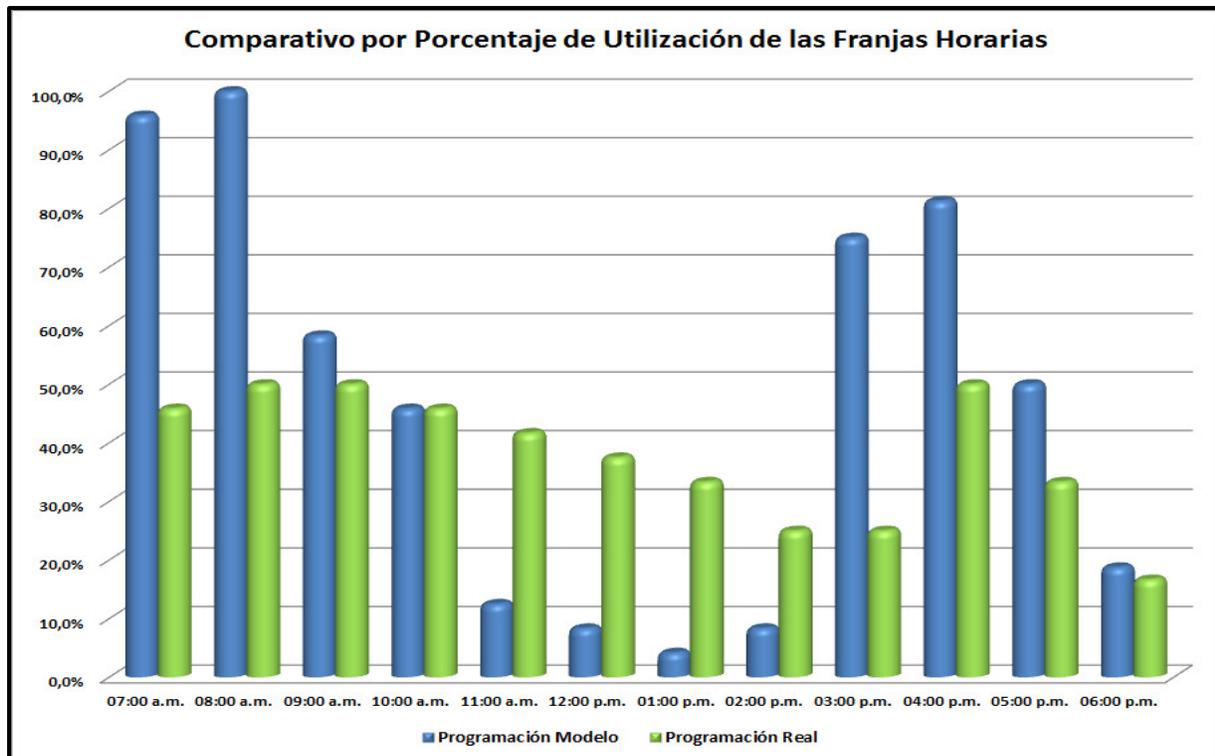


Figura 7. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de AMLI

- **Programa de Ingeniería Informática**

Para el programa de Ingeniería Informática se pre-assignaron los salones de G-109 (L26), G-110 (L27), G-111 (L28) y G-112 (L29), donde se realizó la programación los 45 grupos que de acuerdo a su intensidad horaria tienen 111 horas para programar. En la siguiente tabla se muestra el uso de la capacidad de los salones utilizados. El aula con mayor ocupación es el G-119 con 37 horas programadas y el de menor uso es el G-112 con 23 horas que equivalen al 35,94%.

Tabla 16. Uso de la Capacidad Instalada Ing. Informática

Salón	H/ Semana	% Ocupación
L26 - G109	37	57,81%
L27 - G110	23	35,94%
L28 - G111	28	43,75%
L29 - G112	23	35,94%

Fuente: Autoría Propia

A continuación se presenta un ejemplo de la programación para el programa de Ingeniería Informática realizada en el salón G-109, el porcentaje de uso de esta aula es del 57,81%, se aprecia como las franjas de las 2 p.m. y 3 p.m. tienen la mayor ocupación, al igual que en la mañana, en este caso el modelo programó el grupo de Micro controladores (M657) el sábado a las 2 p.m. esto debido a la disponibilidad del docente.

Tabla 17. Programación Programa Ingeniería Informática – Salón G-109

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M650	REDES Y COMUNICACION DE DATOS I	M630	CIRCUITOS Y SISTEMAS	M643	ARQUITECTURA DE HARDWARE	M625	INTRODUCCION A LA PROGRAMACION	M625	INTRODUCCION A LA PROGRAMACION		
08:00 a.m.	M650	REDES Y COMUNICACION DE DATOS I	M626	INTRODUCCION A LA PROGRAMACION	M643	ARQUITECTURA DE HARDWARE	M646	EFICIENCIA ENERGIA CON ENFASIS EN EL USO DE ENERGIAS ALTERNA	M650	REDES Y COMUNICACION DE DATOS I		
09:00 a.m.	M622	INTRODUCCION A LA PROGRAMACION	M659	REDES Y COMUNICACION DE DATOS II			M626	INTRODUCCION A LA PROGRAMACION	M656	LAB. FISICA III		
10:00 a.m.	M622	INTRODUCCION A LA PROGRAMACION	M659	REDES Y COMUNICACION DE DATOS II			M646	EFICIENCIA ENERGIA CON ENFASIS EN EL USO DE ENERGIAS ALTERNA	M651	SISTEMAS DE INFORMACION I		
11:00 a.m.									M659	REDES Y COMUNICACION DE DATOS II		
12:00 p.m.					M657	MICROCONTROLADORES			M660	SISTEMAS DE INFORMACIÓN II		
01:00 p.m.			M653	DISEÑO Y PROGRAMACION VISUAL								
02:00 p.m.			M653	DISEÑO Y PROGRAMACION VISUAL	M660	SISTEMAS DE INFORMACIÓN II					M657	MICROCONTROLADORES
03:00 p.m.	M643	ARQUITECTURA DE HARDWARE	M658	PREPARACION Y EVAL. DE PROYECTOS	M645	ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES	M623	INTRODUCCION A LA PROGRAMACION				
04:00 p.m.	M643	ARQUITECTURA DE HARDWARE	M655	INTELIGENCIA DE NEGOCIOS II	M651	SISTEMAS DE INFORMACIÓN I	M623	INTRODUCCION A LA PROGRAMACION				
05:00 p.m.	M630	CIRCUITOS Y SISTEMAS	M655	INTELIGENCIA DE NEGOCIOS II	M650	REDES Y COMUNICACION DE DATOS I						
06:00 p.m.	M657	MICROCONTROLADORES										

Fuente: Autoría Propia

Comparando el resultado de la solución del modelo con el cálculo de la programación real se encuentra que la primera mejora en 52 unidades que equivalen al 17,3% con relación a la programación real. En la tabla 18 se comparan la cantidad de materias que son programadas en bloques de 2 y 3 horas y no bloques, los resultados del modelo disminuyen el número de bloques programados y aumenta de 4 a 15 horas programadas de forma independiente, esto indica que aunque la solución no es tan compacta como la programación del 2012-1, la solución en conjunto es mejor ya que el modelo busca programar de acuerdo con las preferencias en horarios.

Tabla 18. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Informática

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	4	8,9%	15	42,9%
Bloque de 2 Horas	34	75,6%	26	57,8%
Bloque de 3 Horas	7	15,6%	4	8,9%
Bloque de 4 Horas	0	0,0%	0	0,0%
Valor de la Solución	352		300	

Fuente: Autoría Propia

En la figura número 8 se puede ver el comparativo realizado en cuanto al uso de las franjas horarias, encontrando que la programación real tiene mayor número de eventos en la mañana siendo las 7 a.m. y las 8 a.m. las franjas de mayor uso, para el resto del día la programación se podría decir que guarda uniformidad principalmente después de las 12 p.m., mientras que el modelo concentra su programación en la mañana y en las franjas de las 3 p.m. y 4 p.m.

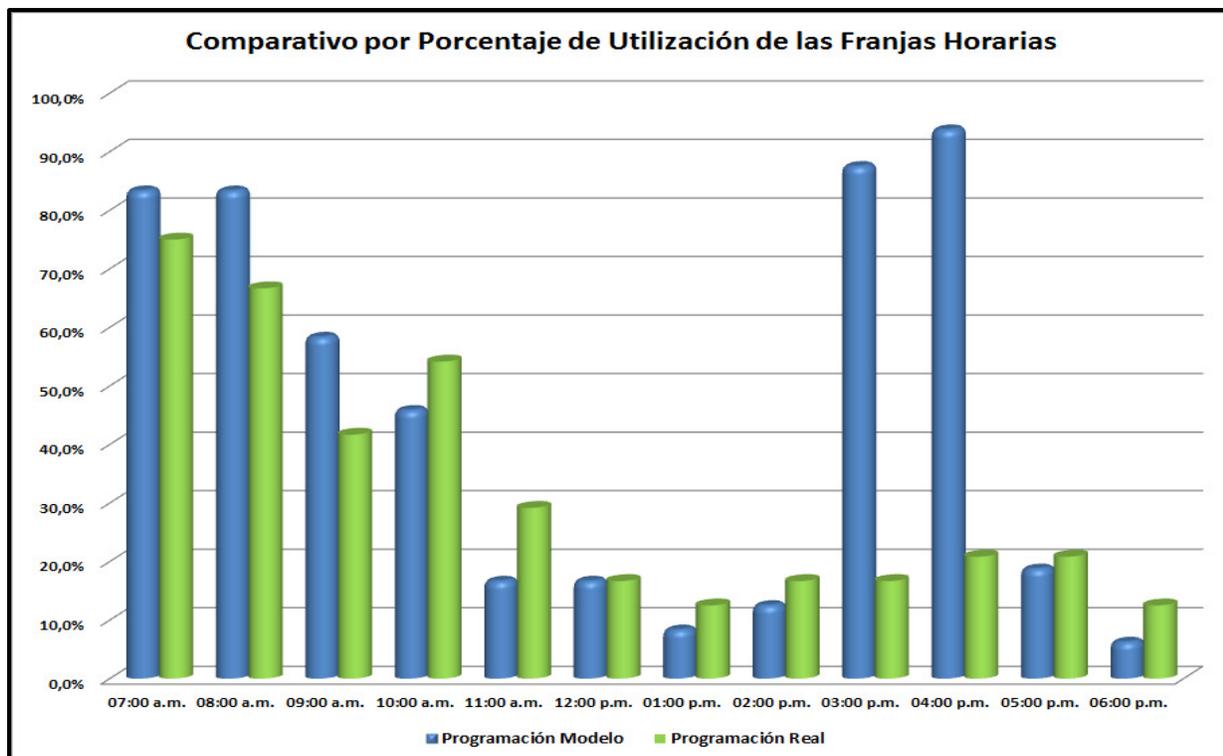


Figura 8. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Ing. Informática

- **Programa de Economía y Finanzas Internacionales**

El conjunto de salones pre-asignado a este programa está compuesto por los salones E-108 (L1), G-107 (L24), G-108 (L25) y L203 (L51), la mayor ocupación está dada por la programación en el salón E108 con 49 horas de las 64 posibles, en general las aulas son ocupadas en un más de un 55%, se incluyó la sala Bloomberg porque el programa de Economía cuenta con asignaturas que deben darse en este salón debido a las herramientas con las que cuenta.

Tabla 19. Uso de la Capacidad Instalada Economía

Salón	H/ Semana	% Ocupación
L1 - E108	49	76,56%
L24 - G107	35	54,69%
L25 - G108	43	67,19%
L51 - L203	35	54,69%

Fuente: Autoría Propia

La tabla 20 presenta la programación obtenida por el modelo matemático para el salón G-108 el cual es ocupado con 43 horas, es decir que es ocupado un 67,19%, es importante resaltar que la ocupación es baja debido a que no se programa ninguna materia en la franja de medio día entre las 12 p.m. y 2 p.m.

Tabla 20. Programación Programa Economía – Salón G-108

HORA	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M334	STATA WORKSHOP	M328	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA I	M338	MACROECONOMIA II	M349	SEMINARIO DE INVESTIGACION MATEMATICAS	M339	MICROECONOMETRIA	M315	INTRODUCCION A LA ECONOMIA COLOMBIANA
08:00 a.m.	M349	SEMINARIO DE INVESTIGACION MATEMATICAS	M339	MICROECONOMETRIA	M355	SEM. INVESTIGACION ECONOMIA APLICADA II	M316	INTRODUCCION A LA ECONOMIA COLOMBIANA	M339	MICROECONOMETRIA	M315	INTRODUCCION A LA ECONOMIA COLOMBIANA
09:00 a.m.	M346	DESARROLLO ECONOMICO	M339	MICROECONOMETRIA	M327	MACROECONOMIA I	M316	INTRODUCCION A LA ECONOMIA COLOMBIANA	M346	DESARROLLO ECONOMICO	M315	INTRODUCCION A LA ECONOMIA COLOMBIANA
10:00 a.m.	M346	DESARROLLO ECONOMICO	M349	SEMINARIO DE INVESTIGACION MATEMATICAS	M327	MACROECONOMIA I	M316	INTRODUCCION A LA ECONOMIA COLOMBIANA	M355	SEM. INVESTIGACION ECONOMIA APLICADA II		
11:00 a.m.	M346	DESARROLLO ECONOMICO	M349	SEMINARIO DE INVESTIGACION MATEMATICAS	M334	STATA WORKSHOP	M327	MACROECONOMIA I	M327	MACROECONOMIA I		
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.							M338	MACROECONOMIA II	M321	MICROECONOMIA I		
03:00 p.m.	M355	SEM. INVESTIGACION ECONOMIA APLICADA II	M353	TALLER MACROECONOMETRIA	M321	MICROECONOMIA I	M338	MACROECONOMIA II				
04:00 p.m.	M355	SEM. INVESTIGACION ECONOMIA APLICADA II	M353	TALLER MACROECONOMETRIA	M328	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA I	M338	MACROECONOMIA II				
05:00 p.m.	M321	MICROECONOMIA I			M328	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA I	M312	CONTABILIDAD				
06:00 p.m.	M321	MICROECONOMIA I					M312	CONTABILIDAD				

Fuente: Autoría Propia

En la programación real las materias programadas en bloques de 2 horas son 38, en cuanto al modelo se programan 29 asignaturas en bloque de 2 horas, otro cambio importante son los bloques de 3 horas, pasando de 8 materias en la programación del 2012-1 a 13 en el modelo. El valor de la solución disminuye en 152 unidades, lo que indica que la programación del modelo mejora en un 33,9% con respecto a la programación real.

Tabla 21. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto- Economía

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	1	2,1%	6	12,5%
Bloque de 2 Horas	38	79,2%	29	60,4%
Bloque de 3 Horas	8	16,7%	13	27,1%
Bloque de 4 Horas	1	2,1%	0	0,0%
Valor de la Solución	600		448	

Fuente: Autoría Propia

El comportamiento del uso de las franjas en el modelo propuesto es similar a los resultados de los programas anteriores, donde la concentración de la programación está presente en las franjas entre las 7 a.m. y 11 a.m. y las franjas de la tarde de 3 p.m. a 6 p.m., mientras que en la programación real su comportamiento es más uniforme ocupando todas las franjas incluidas las del medio día de 12 p.m. a 2 p.m., también se encuentran dos materias programadas a las 7 p.m. y

una el viernes a las 3 p.m., esto muestra que la programación obtenida por el modelo conserva las preferencias en cuanto a horarios favoreciendo a estudiantes y docentes.

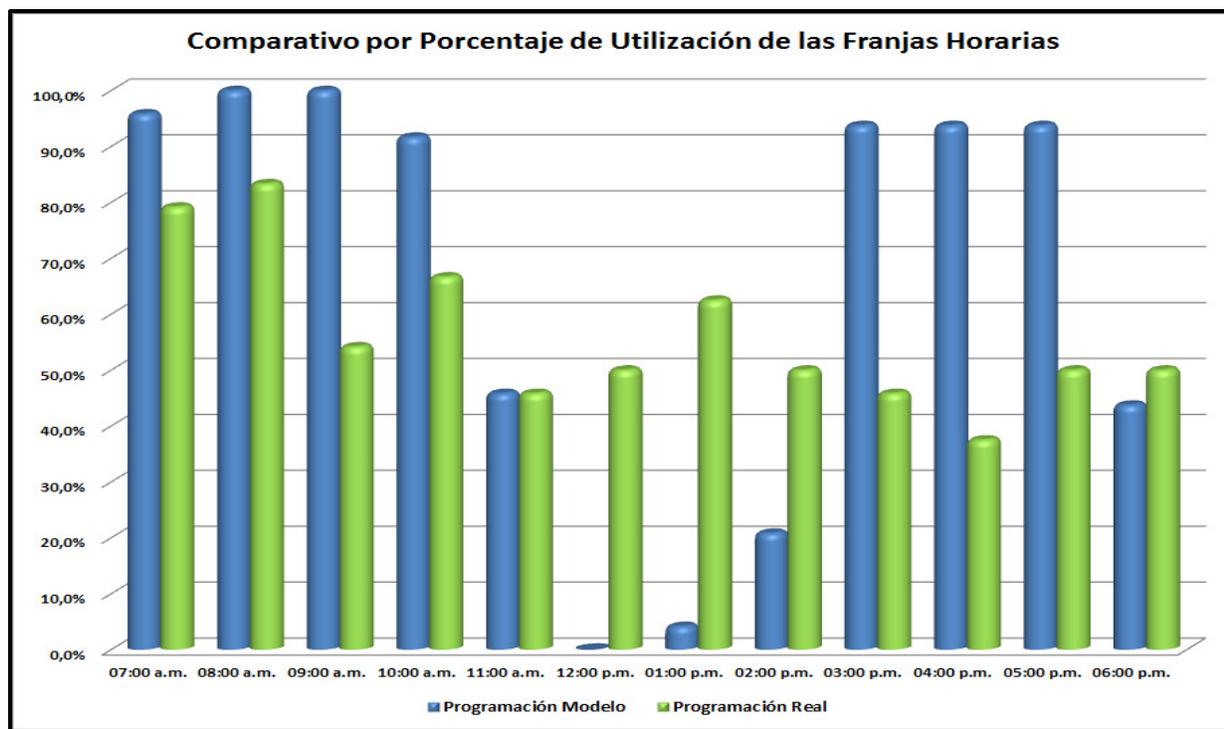


Figura 9. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Economía

- **Programa de Administración de Instituciones de Servicios**

Para el programa de Administración de Instituciones de Servicios que cuenta con 52 materias con un total de 158 horas semanales a programar, se pre-asignaron los salones E-107 (L7), E-201 (L8), E-201 (L9) y E-203 (L10), estos 4 salones se ocuparon en promedio 61,7% con la programación de las asignaturas de este programa, siendo las aulas E-107 y E-201 las de mayor ocupación con 45 horas semanales cada una, que equivalen a un 70,3% y la de menor uso con 30 horas fue el aula E-202, es decir un 46,88%.

A continuación se presenta un ejemplo de la programación obtenida por el modelo en el salón E-203, el cual fue ocupado con la programación de 38 horas de estudio de las 64 posibles, esto representa el 59,38%, se aprecia como la programación respeta en su totalidad las franjas del medio día y se encuentran entre otras materias como Seis Sigma (M160) y Énfasis Empresariado II (M149) las cuales fueron programadas en bloques de 3 horas.

Tabla 22. Programación Programa Servicios – Salón E-203

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M123	SISTEMAS DE GESTION DE MERCADEO	M153	GESTION DEL CONOCIMIENTO	M125	CONTABILIDAD Y COSTOS	M117	MICROECONOMIA	M132	GESTION DE CALIDAD Y SERVICIO I	M117	MICROECONOMIA
08:00 a.m.	M123	SISTEMAS DE GESTION DE MERCADEO	M117	MICROECONOMIA	M114	TALLER DE MACROECONOMIA	M117	MICROECONOMIA	M132	GESTION DE CALIDAD Y SERVICIO I	M160	SEIS SIGMA
09:00 a.m.	M141	MERCADEO ESTRATEGICO	M123	SISTEMAS DE GESTION DE MERCADEO	M118	TALLER DE MICROECONOMIA	M154	GESTION SOCIAL	M130	FOR. ESTRATEGICA EMPRESAS DE SERVICIO	M160	SEIS SIGMA
10:00 a.m.	M141	MERCADEO ESTRATEGICO	M141	MERCADEO ESTRATEGICO			M134	NUTRICION	M118	TALLER DE MICROECONOMIA	M160	SEIS SIGMA
11:00 a.m.												
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.							M149	ENFASIS EMPRESARIADO II				
03:00 p.m.	M132	GESTION DE CALIDAD Y SERVICIO I	M136	ENFASIS DE HOTELERIA	M138	FINANZAS CORPORATIVAS	M149	ENFASIS EMPRESARIADO II				
04:00 p.m.	M125	CONTABILIDAD Y COSTOS	M136	ENFASIS DE HOTELERIA	M138	FINANZAS CORPORATIVAS	M149	ENFASIS EMPRESARIADO II				
05:00 p.m.	M125	CONTABILIDAD Y COSTOS	M139	GESTION DE CALIDAD Y SERVICIO II	M146	HABILIDADES DE DIRECCION	M139	GESTION DE CALIDAD Y SERVICIO II				
06:00 p.m.	M138	FINANZAS CORPORATIVAS	M139	GESTION DE CALIDAD Y SERVICIO II								

Fuente: Autoría Propia

Teniendo en cuenta que el cálculo del valor de la programación real disminuye en 130 u.m. se puede afirmar que en cuanto al valor de la solución el modelo propuesto mejora en un 28,5%, sin embargo el modelo programa más materias de forma individual pasando de 3 a 12, también disminuye los bloques de 2 y 3 horas, en la siguiente tabla se muestran los resultados.

Tabla 23. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Servicios

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	3	5,8%	12	23,1%
Bloque de 2 Horas	37	71,2%	34	65,4%
Bloque de 3 Horas	9	17,3%	6	11,5%
Bloque de 4 Horas	3	5,8%	0	0,0%
Valor de la Solución	586		456	

Fuente: Autoría Propia

Revisando el comportamiento presentado en la figura 10 del uso de las franjas del modelo propuesto con respecto a la programación real se encuentra que el programador del semestre 2012-1 programó gran cantidad de materias en los bloques del medio día ya que entre 12 p.m. y 2 p.m. el promedio de ocupación es del 61%, mientras que los resultados del modelo solo ocupan esta franja en un 8,3% debido a que se programan en estas franjas las materias de Énfasis Empresariado I (M143) y Negocios Internacionales (M155), esto como consecuencia de la disponibilidad del docente.

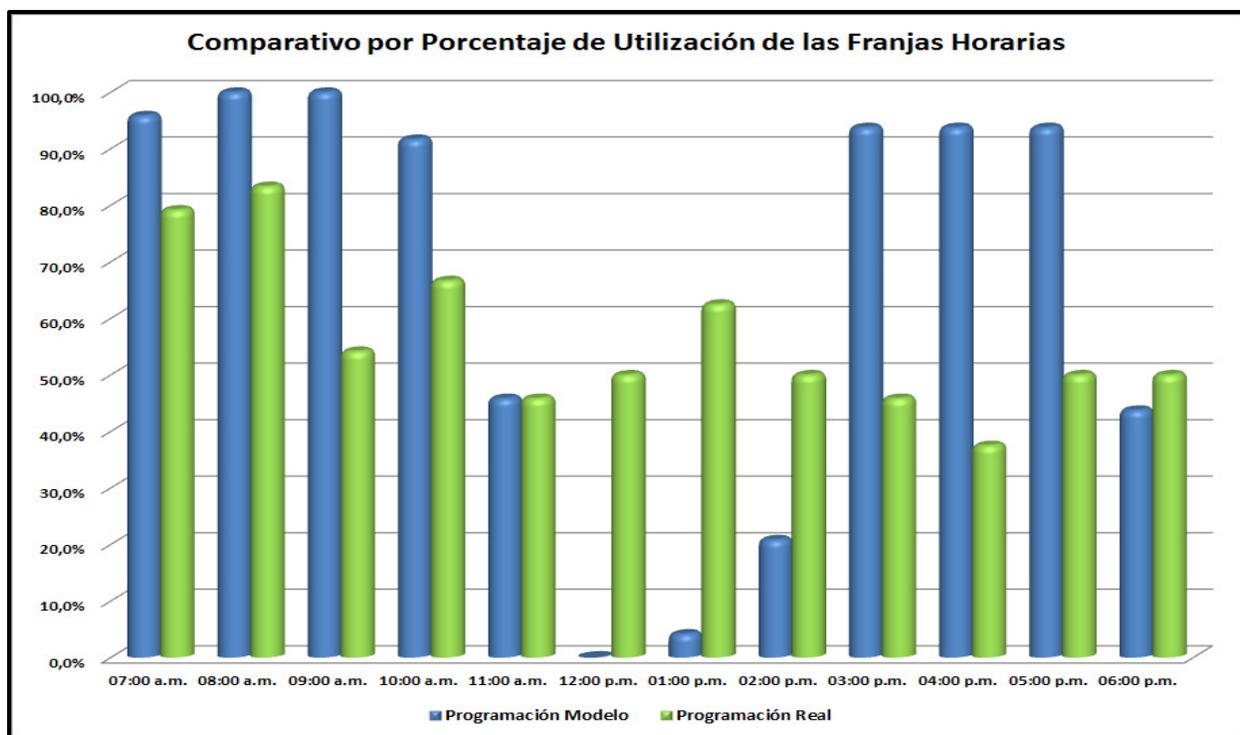


Figura 10. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Servicios

- Programa de Gastronomía

Tabla 24. Programación Programa Gastronomía – Taller de Alimentos L-301

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M414	TALLER CULTURA GASTRONOMICA DE EUROPA	M369	COCINA BASICA	M422	TALLER CULTURA GASTRONOMICA DE ASIA	M422	TALLER CULTURA GASTRONOMICA DE ASIA	M380	LAB. CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS	M359	CADENAS AGROALIMENTARIAS
08:00 a.m.	M414	TALLER CULTURA GASTRONOMICA DE EUROPA	M369	COCINA BASICA	M369	COCINA BASICA	M422	TALLER CULTURA GASTRONOMICA DE ASIA	M380	LAB. CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS	M359	CADENAS AGROALIMENTARIAS
09:00 a.m.	M363	MANIPULACION DE ALIMENTOS	M368	COCINA BASICA	M369	COCINA BASICA	M413	SEMINARIO RUTA GASTRONOMICA 4	M380	LAB. CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS	M359	CADENAS AGROALIMENTARIAS
10:00 a.m.	M363	MANIPULACION DE ALIMENTOS	M368	COCINA BASICA			M413	SEMINARIO RUTA GASTRONOMICA 4	M374	CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS		
11:00 a.m.	M375	COCINA INTERMEDIA	M368	COCINA BASICA	M375	COCINA INTERMEDIA	M413	SEMINARIO RUTA GASTRONOMICA 4	M374	CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS		
12:00 p.m.					M395	TALLER DE CULTURA GASTRONOMICA COLOMBIANA			M374	CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS		
01:00 p.m.			M387	COCINA AVANZADA								
02:00 p.m.			M387	COCINA AVANZADA	M414	TALLER CULTURA GASTRONOMICA DE EUROPA	M408	TALLER SEMINARIO RUTA GASTRONOMICA 3	M380	LAB. CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS		
03:00 p.m.	M422	TALLER CULTURA GASTRONOMICA DE ASIA	M387	COCINA AVANZADA	M414	TALLER CULTURA GASTRONOMICA DE EUROPA	M408	TALLER SEMINARIO RUTA GASTRONOMICA 3				
04:00 p.m.	M360	CREATIVIDAD E INNOVACION	M388	COCINA AVANZADA	M368	COCINA BASICA	M390	CULTURA GASTRONOMICA COLOMBIANA				
05:00 p.m.	M360	CREATIVIDAD E INNOVACION	M408	TALLER SEMINARIO RUTA GASTRONOMICA 3	M388	COCINA AVANZADA	M390	CULTURA GASTRONOMICA COLOMBIANA				
06:00 p.m.			M408	TALLER SEMINARIO RUTA GASTRONOMICA 3	M388	COCINA AVANZADA						

Fuente: Autoría Propia

Por su naturaleza el programa de Gastronomía requiere que cerca del 85% de sus materias sean programadas en los talleres de alimentos, por esto el conjunto de salones pre-asignado a este programa está compuesto por los 5 talleres de alimentos ubicados en el tercer piso del edificio L y las aulas de clase G-217, G-218 y G-219, en estas últimas se programaron asignaturas que no requieren de ningún tipo de actividad propia del adiestramiento del programa. El taller de mayor ocupación es el L-301 con 48 horas programadas, los otros 4 talleres en promedio fueron ocupados en un 48%. En la anterior tabla #24, se presenta la programación obtenida por el modelo para el taller de alimentos L-301, el cual tiene un ocupación del 75%, se programan 7 bloques de 3 horas, 12 bloques de 2 horas y 10 horas individuales.

En la siguiente tabla se encuentra el valor de la solución que para la programación real es de 763 y el resultado del modelo es de 575, en este caso el modelo mejora el valor de la solución en un 37,9%. En cuanto a las materias programadas en bloques se encuentra que la programación real tiene 10 bloques de 4 horas, mientras que el modelo no programa materias en este tipo de bloques, otro cambio significativo es que pasa de 16 bloques de 3 horas en la programación del 2011-2 a 24 bloques en el modelo propuesto.

Tabla 25. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Gastronomía

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	5	4,6%	5	7,4%
Bloque de 2 Horas	37	34,3%	39	57,4%
Bloque de 3 Horas	16	14,8%	24	35,3%
Bloque de 4 Horas	10	9,3%	0	0,0%
Valor de la Solución	793		575	

Fuente: Autoría Propia

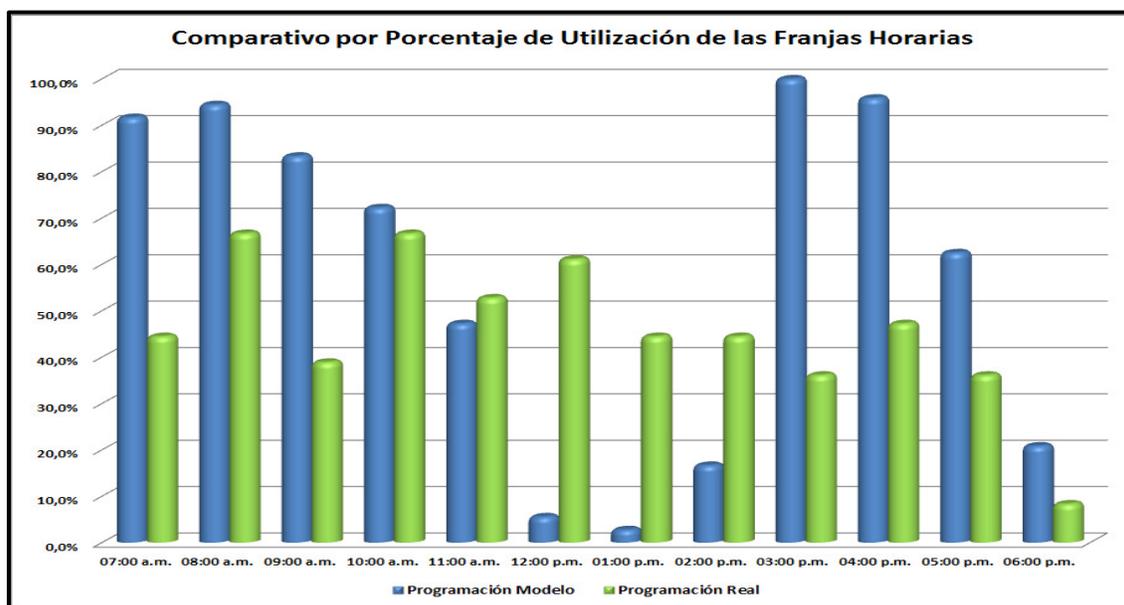


Figura 11. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Gastronomía

En la figura 11 se encuentra en comparativo de uso de las franjas, ahí se aprecia como el modelo matemático programa principalmente en las horas de la mañana y después de las 2 de la tarde, mientras que la programación real tiene materias programadas en todas las franjas del día.

- **Programa de Ingeniería Industrial**

El conjunto de salones pre-asignado al programa de Ingeniería Industrial está conformado por los salones G-103 (L20), G-104 (L21), G-105 (L22), G-106 (L23) y G-114 (L31), en promedio estas aulas son ocupadas en un 56,2% y la mayor ocupación está dada por la programación en el salón G105 con 39 horas. La tabla 26 está la programación obtenida por el modelo matemático para el salón G-106 en el cual se programan 36 horas, lo que indica que es ocupado un 56,25%.

Tabla 26. Programación Programa Ing. Industrial – Salón G-106

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M543	ADMINISTRACION	M572	MERCADEO	M604	LOGISTICA II	M610	GP CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD	M555	FISICA III	M572	MERCADEO
08:00 a.m.	M543	ADMINISTRACION	M572	MERCADEO	M604	LOGISTICA II	M610	GP CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD	M617	PREPARACION Y EVALUACION DE PROYECTOS	M572	MERCADEO
09:00 a.m.	M615	TECNOLOGIA DEL PROCESAMIENTO II	M572	MERCADEO	M555	FISICA III	M612	GP GESTION AMBIENTAL	M617	PREPARACION Y EVALUACION DE PROYECTOS		
10:00 a.m.	M615	TECNOLOGIA DEL PROCESAMIENTO II	M584	INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES I	M609	GP CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD	M552	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA II	M589	PROCESOS II		
11:00 a.m.			M594	AUTOMATIZACION Y CONTROL DE PROCESOS			M611	GP GESTION AMBIENTAL				
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.												
03:00 p.m.	M552	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA II	M602	INVESTIGACION DE OPERACIONES II	M614	GP MANTENIMIENTO Y H S	M609	GP CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD				
04:00 p.m.	M552	PROBABILIDAD Y ESTADISTICA II	M602	INVESTIGACION DE OPERACIONES II	M543	ADMINISTRACION	M570	INGENIERIA DE REQUERIMIENTOS				
05:00 p.m.	M611	GP GESTION AMBIENTAL	M580	CONTABILIDAD, COSTOS Y PRESUPUESTOS	M543	ADMINISTRACION	M570	INGENIERIA DE REQUERIMIENTOS				
06:00 p.m.												

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 27 se presenta un comparativo de las materias programadas en bloques, uno de los cambios importantes es que la programación real tiene el 93,% de las materias en bloques de 2 horas y solo 2 de forma independiente, el modelo programa 45 horas en bloques de 2 horas, y en bloques de 3 horas y 23 de forma independiente, indicando que el programador de la Universidad programa la mayor cantidad de materias posibles en bloques de 2 horas. El valor de la solución mejora en 163 u.m. es decir un 25,9% con respecto al valor de la programación real.

Tabla 27. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Industrial

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	2	2,7%	23	30,7%
Bloque de 2 Horas	70	93,3%	45	60,0%
Bloque de 3 Horas	3	4,0%	7	9,3%
Bloque de 4 Horas	0	0,0%	0	0,0%
Valor de la Solución	629		466	

Fuente: Autoría Propia

La programación real mantiene el uso de las franjas de manera uniforme, disminuyendo una pequeña proporción al medio día y con el mayor uso del 60% en las primeras horas de la mañana y las horas de 1 p.m. a 2 p.m., entretanto el modelo programa 2 materias a las 12 p.m. y ninguna en la franja entre la 1 p.m. y las 4 p.m.

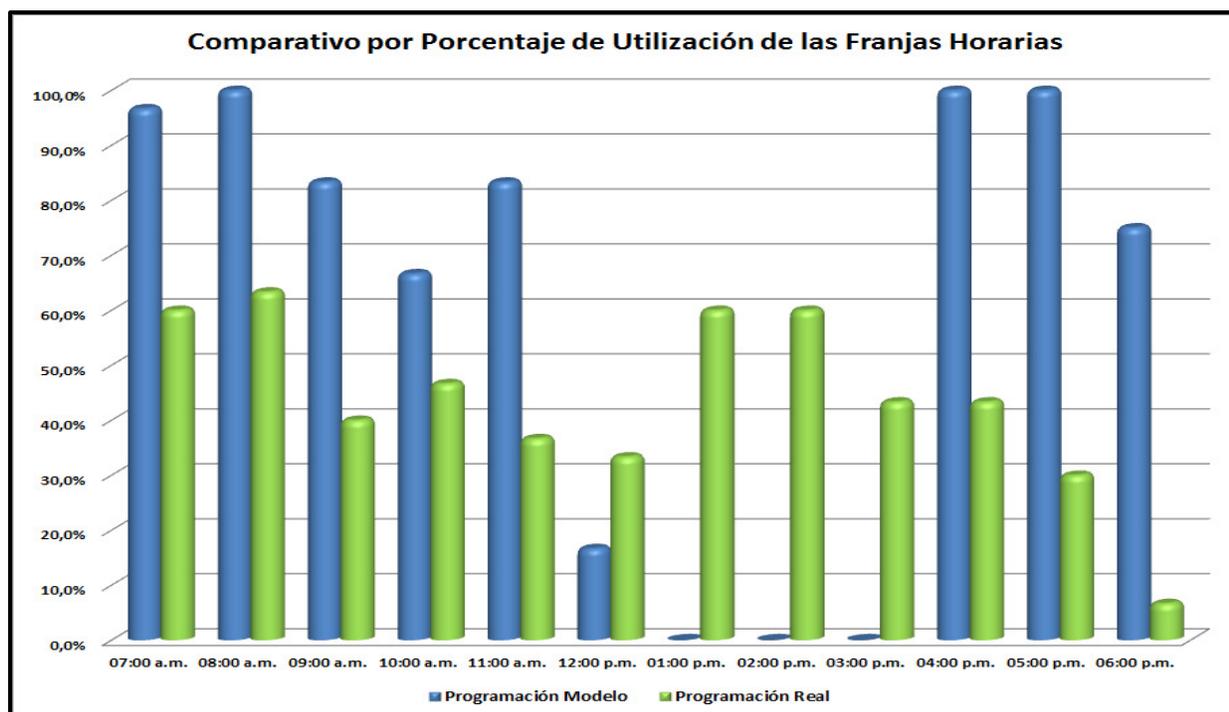


Figura 12. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Ing. Industrial

- **Programa de Administración de Negocios Internacionales**

Al programa de Administración de Negocios Internacionales, que cuenta con 105 grupos que pertenecen a 46 asignaturas distribuidas en 8 semestres se pre-asignaron 12 salones, en la tabla 28

se encuentran las aulas utilizadas para la programación de las 358 horas de estudio en la semana, en promedio estos salones tienen una ocupación del 46,48%.

Tabla 28. Uso de la Capacidad Instalada - Negocios

Salón	H/ Semana	% Ocupación	Salón	H/ Semana	% Ocupación	Salón	H/ Semana	% Ocupación
L1 - E101	27	42,19%	L13 - E206	31	48,44%	L17 - E210	33	51,56%
L2 - E102	28	43,75%	L14 - E207	31	48,44%	L18 - E211	30	46,88%
L11 - E204	37	57,81%	L15 - E208	34	53,13%	L19 - G102	15	23,44%
L12 - E206	27	42,19%	L16 - E209	28	43,75%	L45 - G219	36	56,25%

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 29 se presenta la programación obtenida por el modelo en el salón E-210 el cual se programan con 33 horas, con una ocupación del 51,56%, y se puede ver como la mayor concentración de la programación se encuentra en la mañana.

Tabla 29. Programación Programa Negocios Internacionales – Salón E-210

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M288	PROYECTO I	M285	COSTEO DE EXPORTACIONES E IMPORTACIONES	M289	PROYECTO I	M290	PROYECTO I	M289	PROYECTO I	M285	COSTEO DE EXPORTACIONES E IMPORTACIONES
08:00 a.m.	M292	RELACIONES FRONTERIZAS COLOMBIANAS	M287	MERCADO DE DIVISAS Y DERIVADOS	M291	RELACIONES FRONTERIZAS COLOMBIANAS	M292	RELACIONES FRONTERIZAS COLOMBIANAS	M287	MERCADO DE DIVISAS Y DERIVADOS	M285	COSTEO DE EXPORTACIONES E IMPORTACIONES
09:00 a.m.	M292	RELACIONES FRONTERIZAS COLOMBIANAS	M287	MERCADO DE DIVISAS Y DERIVADOS	M291	RELACIONES FRONTERIZAS COLOMBIANAS	M288	PROYECTO I	M287	MERCADO DE DIVISAS Y DERIVADOS	M285	COSTEO DE EXPORTACIONES E IMPORTACIONES
10:00 a.m.	M286	MANEJO DE TESORERIA	M288	PROYECTO I	M291	RELACIONES FRONTERIZAS COLOMBIANAS	M288	PROYECTO I	M290	PROYECTO I		
11:00 a.m.	M293	TALLER PRACTICO COMERCIO INTERNACIONAL	M286	MANEJO DE TESORERIA			M286	MANEJO DE TESORERIA	M286	MANEJO DE TESORERIA		
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.												
03:00 p.m.	M290	PROYECTO I					M293	TALLER PRACTICO COMERCIO INTERNACIONAL				
04:00 p.m.	M289	PROYECTO I					M293	TALLER PRACTICO COMERCIO INTERNACIONAL				
05:00 p.m.	M289	PROYECTO I					M293	TALLER PRACTICO COMERCIO INTERNACIONAL				
06:00 p.m.												

Fuente: Autoría Propia

El modelo matemático mejora el valor de la solución en 355 u.m. lo que indica que entrega una mejor solución por un 37,7% con respecto a la programación real, el mayor cambio se encuentra en los bloques de 3 horas, pasando de 6 a 24 bloques en el modelo propuesto.

Tabla 30. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Negocios

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	9	8,6%	17	16,2%
Bloque de 2 Horas	89	84,8%	64	61,0%
Bloque de 3 Horas	6	5,7%	24	22,9%
Bloque de 4 Horas	1	1,0%	0	0,0%
Valor de la Solución	1,296		941	

Fuente: Autoría Propia

La figura 13 muestra el comparativo realizado por utilización de las franjas, nuevamente se aprecia que la programación real mantiene su uniformidad durante el día, mientras que el modelo concentra la programación en las horas de la mañana y de 3 p.m. a 6 p.m., con mayor intensidad en la tarde con un 85% de uso en promedio.

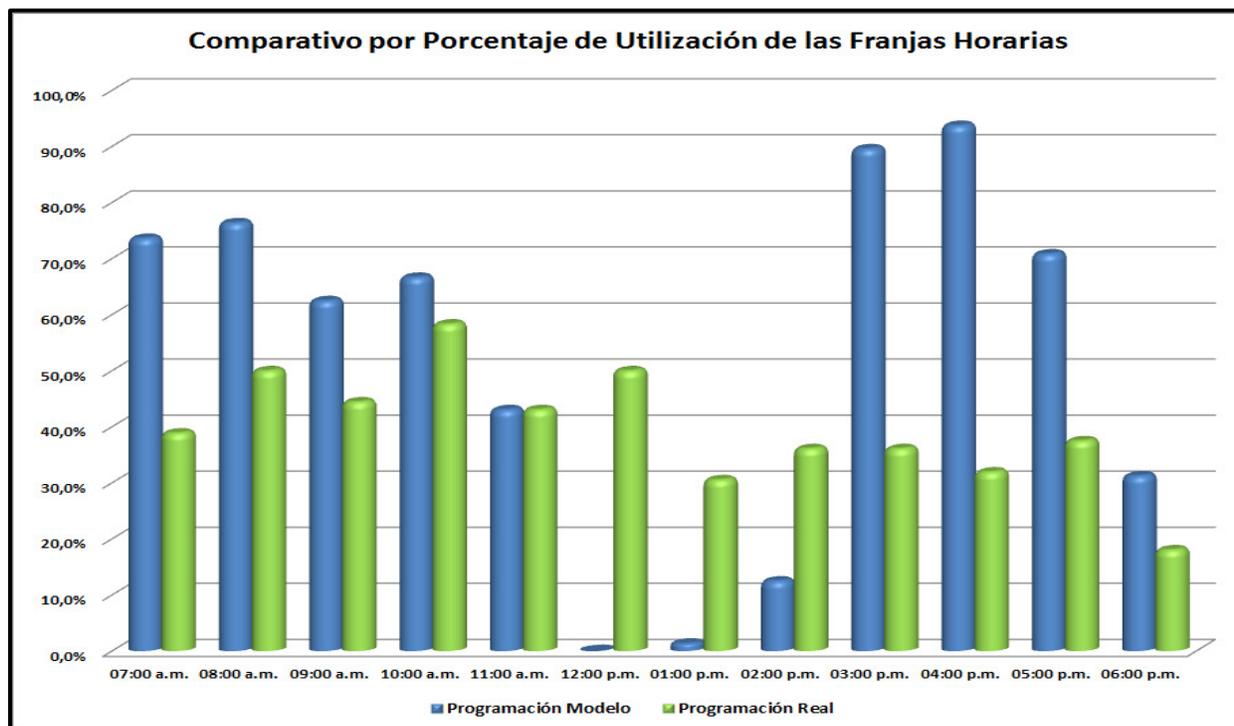


Figura 13. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Negocios

- **Programa de Administración de Empresas**

Administración de Empresas cuenta con 108 grupos que pertenecen a 53 asignaturas distribuidas en 10 semestres académicos y con 315 horas a programar, por tal motivo se pre-asignaron 8 salones que en promedio se ocuparon un 61,2%, siendo el salón G-218 el de mayor ocupación con 62 horas, le sigue el G-116 con 61 horas programadas, el de menor uso es el G-122 con tan solo 20 horas de programación.

Tabla 31. Uso de la Capacidad Instalada – Administración de Empresas

Salón	H/ Semana	% Ocupación	Salón	H/ Semana	% Ocupación
L42 - G216	61	95,31%	L38 - G121	34	53,13%
L44 - G218	62	96,88%	L39 - G122	20	31,25%
L32 - G115	40	62,50%	L40 - G201	26	40,63%
L37 - G120	23	35,94%	L41 - G202	49	76,56%

Fuente: Autoría Propia

A continuación se muestra la programación del modelo matemático para el salón G-202 donde se programaron 49 horas y en el cual quedan totalmente libres las franjas del medio día.

Tabla 32. Programación Programa Administración – Salón G-202

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M76	ECONOMIA COLOMBIANA	M101	SEMINARIO TRABAJO DE GRADO	M68	INVESTIGACION DE OPERACIONES	M70	MERCADEO	M64	GESTION HUMANA	M70	MERCADEO
08:00 a.m.	M99	ANALISIS Y DISEÑO DEL SERVICIO	M99	ANALISIS Y DISEÑO DEL SERVICIO	M43	COMPORTAMIENTO HUMANO ORGANIZACIONAL	M70	MERCADEO	M76	ECONOMIA COLOMBIANA	M104	ANALISIS DEL ENTORNO Y ESTRATEGIA
09:00 a.m.	M64	GESTION HUMANA	M99	ANALISIS Y DISEÑO DEL SERVICIO	M43	COMPORTAMIENTO HUMANO ORGANIZACIONAL	M97	POLITICA ECONOMICA	M80	INVESTIGACION DE MERCADOS	M104	ANALISIS DEL ENTORNO Y ESTRATEGIA
10:00 a.m.	M88	EMPRESA FAMILIARES	M99	ANALISIS Y DISEÑO DEL SERVICIO	M89	EVALUACION FINANCIERA DE PROYECTOS	M45	COSTOS Y PRESUPUESTO	M80	INVESTIGACION DE MERCADOS	M82	LOGISTICA
11:00 a.m.	M80	INVESTIGACION DE MERCADOS	M45	COSTOS Y PRESUPUESTO	M89	EVALUACION FINANCIERA DE PROYECTOS	M45	COSTOS Y PRESUPUESTO	M101	SEMINARIO TRABAJO DE GRADO	M82	LOGISTICA
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.	M87	EMPRESA FAMILIARES	M88	EMPRESA FAMILIARES					M70	MERCADEO		
03:00 p.m.	M87	EMPRESA FAMILIARES	M70	MERCADEO	M64	GESTION HUMANA	M68	INVESTIGACION DE OPERACIONES				
04:00 p.m.	M68	INVESTIGACION DE OPERACIONES	M62	DERECHO PARA EMPRENDEDORES	M79	FINANZAS	M43	COMPORTAMIENTO HUMANO ORGANIZACIONAL				
05:00 p.m.	M79	FINANZAS	M62	DERECHO PARA EMPRENDEDORES	M79	FINANZAS	M82	LOGISTICA				
06:00 p.m.	M79	FINANZAS	M97	POLITICA ECONOMICA	M79	FINANZAS	M82	LOGISTICA				

Fuente: Autoría Propia

La tabla 33 presenta el comparativo por materias programadas en bloques y el valor de la solución, siendo esta última mejorada por el modelo en 213 u.m., porcentualmente hablando esta solución es mejor en un 18,2% con respecto al valor de la solución real. El modelo también programa 3 asignaturas en bloques de 4 horas debido a la disponibilidad de los docentes y aumenta en 21 horas programadas de forma individual, además de disminuir en 21 bloques de 2 horas, pasando de 90 bloques en la programación de real a 69 en el modelo matemático.

Tabla 33. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto - Administración

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	8	7,4%	29	26,9%
Bloque de 2 Horas	90	83,3%	69	63,9%
Bloque de 3 Horas	9	8,3%	7	6,5%
Bloque de 4 Horas	1	0,9%	3	2,8%
Valor de la Solución	1,173		960	

Fuente: Autoría Propia

La programación real inicia con un porcentaje de uso del 75% en las dos primeras horas de la mañana y con el paso del tiempo va disminuyendo con excepción de la franja de la 1 p.m., mientras que la programación del modelo utiliza todas las franjas de la mañana y en la tarde, disminuyendo después de las 3 p.m., este programa es el único caso que se encuentra con programación mayor al 40% en las franjas del medio día debido a la disponibilidad de los docentes.

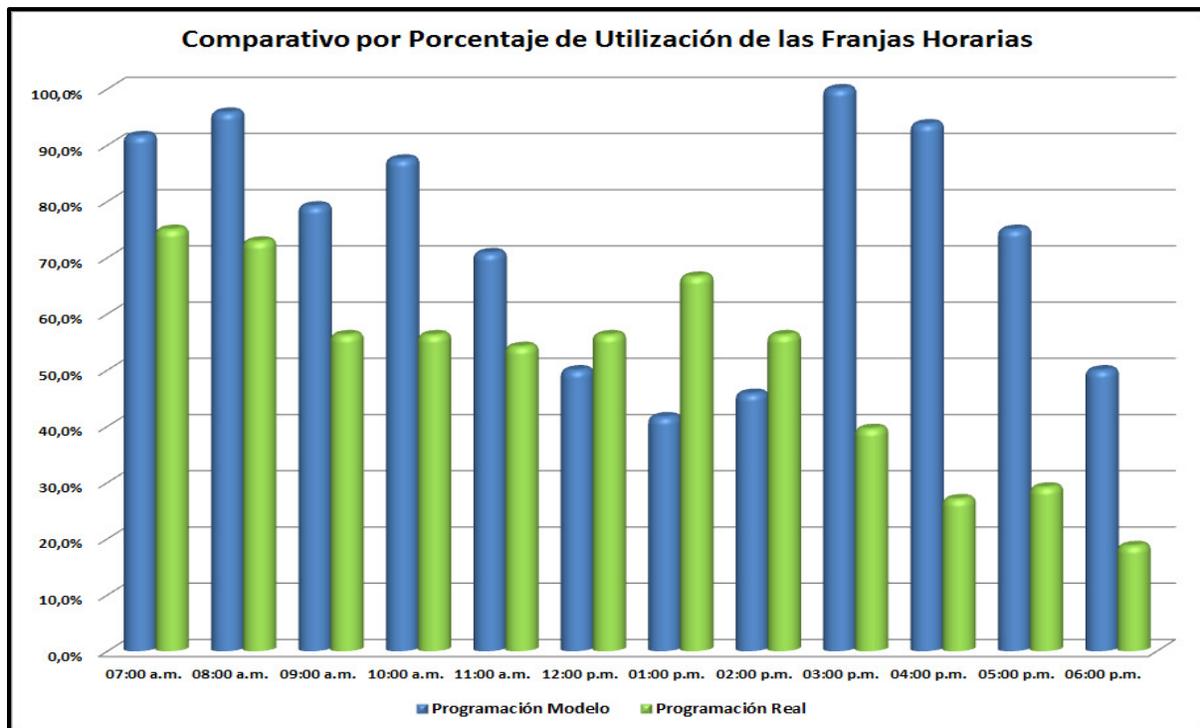


Figura 14. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Administración

- **Programa de Ingeniería de Producción Agroindustrial**

El programa de Producción Agroindustrial es de mayor número de horas semanales a programar con 360 horas, en este caso se pre-asignaron 9 salones más el laboratorio de Procesos Agroindustriales, en la tabla 34 se encuentran los salones utilizados con su porcentaje de uso.

Tabla 34. Uso de la Capacidad Instalada Economía

Salón	H/ Semana	% Ocupación	Salón	H/ Semana	% Ocupación
L33 - G116	35	54,69%	L55 - C207	47	73,44%
L34 - G117	42	65,63%	L56 - C209	43	67,19%
L35 - G118	32	50,00%	L58 - C107	40	62,50%
L36 - G119	19	29,69%	L59 - C108	39	60,94%
L54 - C206	28	43,75%	L60 - LAB. PROCESOS	35	54,69%

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 35 se encuentra la programación del modelo matemático para el Laboratorio de Procesos Agroindustriales, donde se programaron 35 horas lo que indica que es ocupado un 54,7%, dentro de esta programación se encuentran las materias que requieren de prácticas o uso de equipos especializados que se encuentran en este laboratorio.

Tabla 35. Programación Programa Ing. Agroindustrial – Lab. Procesos Agroindustriales

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.			M522	APLICACIONES INFORMATICAS	M542	PROCESOS AGROINDUSTRIALES	M530	BALANCE DE M & E	M512	BIOLOGIA		
08:00 a.m.	M540	OPERACIONES UNITARIAS II	M522	APLICACIONES INFORMATICAS	M542	PROCESOS AGROINDUSTRIALES	M522	APLICACIONES INFORMATICAS	M507	MATEMATICAS III		
09:00 a.m.	M540	OPERACIONES UNITARIAS II	M540	OPERACIONES UNITARIAS II	M504	LABORATORIO QUIMICA III	M533	LAB. MICROBIOLOGIA I	M510	QUIMICA III		
10:00 a.m.			M540	OPERACIONES UNITARIAS II	M504	LABORATORIO QUIMICA III	M533	LAB. MICROBIOLOGIA I				
11:00 a.m.	M499	LABORATORIO DE FISICA II	M540	OPERACIONES UNITARIAS II	M504	LABORATORIO QUIMICA III			M535	ELECTIVA MAESTRIA		
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.					M499	LABORATORIO DE FISICA II						
03:00 p.m.			M533	LAB. MICROBIOLOGIA I	M502	LABORATORIO QUIMICA III	M540	OPERACIONES UNITARIAS II				
04:00 p.m.	M512	BIOLOGIA	M498	LABORATORIO DE FISICA II	M502	LABORATORIO QUIMICA III	M540	OPERACIONES UNITARIAS II				
05:00 p.m.			M498	LABORATORIO DE FISICA II	M502	LABORATORIO QUIMICA III	M540	OPERACIONES UNITARIAS II				
06:00 p.m.												

Fuente: Autoría Propia

En la programación real las materias programadas en bloques de 2 materias son 92, mientras en el modelo se programan 79 asignaturas en bloque de 2 horas, otro cambio presente son los bloques de 3 horas, pasando de 10 materias en la programación del 2012-1 a 16 bloques en el modelo. El valor de la solución disminuye en 258 unidades, lo que indica que la solución del modelo mejora en un 24,5% en comparación a la programación real.

Tabla 36. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto Administración

	Programación Real		Modelo Propuesto	
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias
No bloques	14	12,0%	22	18,8%
Bloque de 2 Horas	92	78,6%	79	67,5%
Bloque de 3 Horas	10	8,5%	16	13,7%
Bloque de 5 Horas	1	0,9%	0	0,0%
Valor de la Solución	1,309		1,051	

Fuente: Autoría Propia

El comportamiento del uso de las franjas en el modelo propuesto es similar a los resultados de los programas anteriormente expuestos, concentrando la programación en las franjas entre las 7 a.m. y 12 p.m. y las franjas de la tarde de 3 p.m. a 6 p.m., entretanto en la programación real su comportamiento es uniforme ocupando todas las franjas incluidas las del medio día de 12 p.m. a 2 p.m., también se encuentran 4 materias programadas el viernes después de las 3 p.m., incumpliendo con las características de horarios que se plantearon para el desarrollo del modelo propuesto, es decir la restricción de horarios que deja libres las franjas de la tarde de 2 a 6 p.m. las cuales son utilizadas para programar las materias de las especializaciones del instituto de posgrados - Forum.

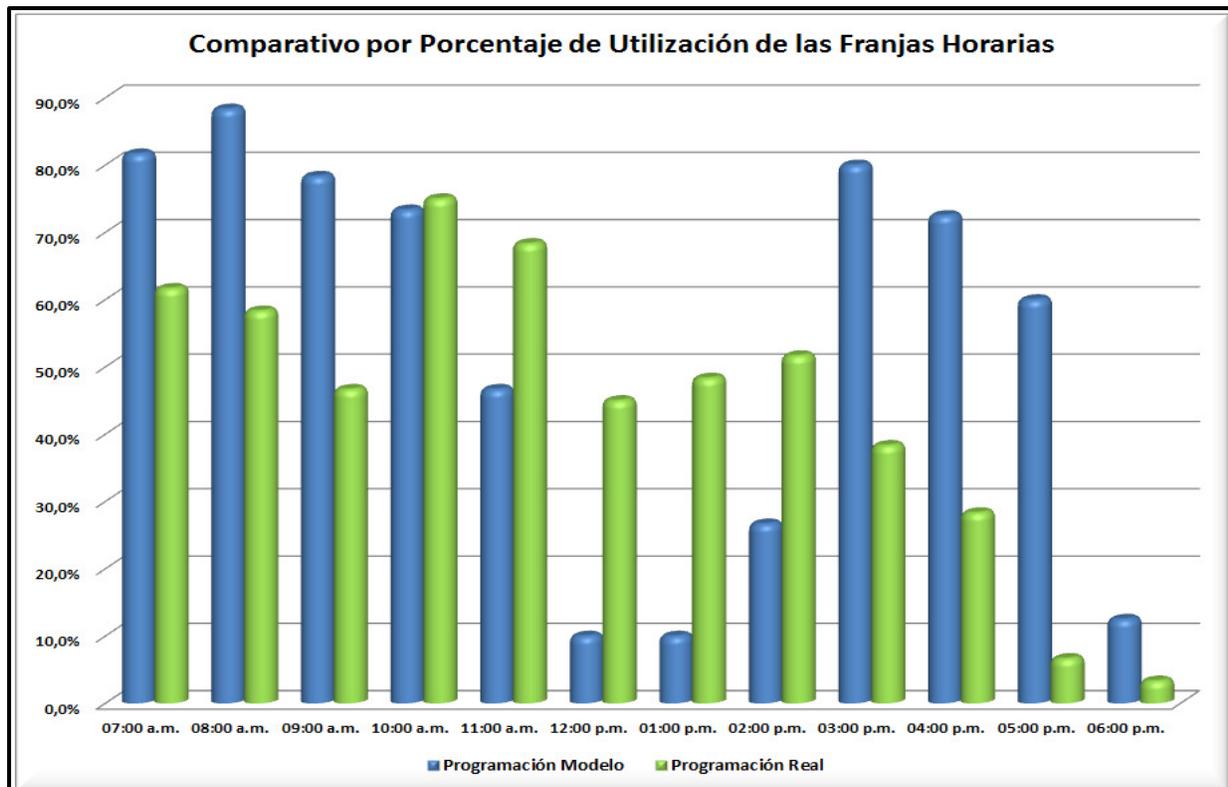


Figura 15. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Administración

3.3.3. Resumen del Capítulo

A continuación se presenta un análisis consolidado de la programación obtenida por el modelo matemático y un breve comparativo con la programación real de la Universidad de La Sabana. La programación total se puede consultar en el anexo 6 (Programación por Programas)

En la tabla 37 se encuentran el comparativo de las asignaturas que fueron programadas en bloques, en primer lugar se encuentran las materia que se programaron en horas individuales, en la programación real hay 49 materias programadas y en el modelo 149, esto indica que el modelo matemático programó 100 materias más que el programador de la Universidad, en el comportamiento de los bloques dobles se evidencia como en la programación real la mayor proporción de materias (79,5%) son programadas en bloques de 2 horas, mientras que el modelo aunque también programa la mayor cantidad de materias en estos mismos bloques, un 62,1% lo que representa una disminución en los bloques de 2 horas del 21,8%. Revisando el comportamiento de los bloques de 3 horas se puede ver como el modelo matemático aumenta el uso en un 46,1%, pasando de 76 bloques en la programación del 2012-1 a 111 bloques de 3 horas en la programación obtenida en GAMS. Los bloques de 4 horas decrecen en 13 bloques en la programación del modelo, lo que significan que disminuye el uso de los bloques de 4 horas en un 76,5%, es importante recordar que dicho comportamiento se debe a que una de las restricciones del modelo es que no se deben programar bloques mayores a 3 horas y los 4 casos en los que se presenta esta programación se debe a la relajación del modelo porque los docentes cuentan con disponibilidad un único día y deben dictar materias con intensidad horaria mayor a 3 horas. Finalmente en la programación real se encuentra un bloque de 5 horas para la materia Electiva de Maestría, en el modelo esta materia fue programada según las restricciones ya que el docente contaba con disponibilidad en dos días diferentes.

Tabla 37. Comparación entre la Programación Real y el Modelo Propuesto

	Programación Real		Modelo Propuesto		Dif.
	Total de materias	% del total de materias	Total de materias	% del total de materias	
No bloques	49	7,0%	149	21,4%	204,1%
Bloque de 2 Horas	554	79,5%	433	62,1%	-21,8%
Bloque de 3 Horas	76	10,9%	111	15,9%	46,1%
Bloque de 4 Horas	17	2,4%	4	0,6%	-76,5%
Bloque de 5 Horas	1	0,1%	0	0,0%	-100,0%
Valor de la Solución	7,421		4,782		-35,6%

Fuente: Autoría Propia

En la misma tabla también se presentan los valores de la solución, recordando que para hallar el valor en la programación real se aplicó la misma metodología que en el modelo matemático, es decir se asigna un valor a cada una de las franjas de acuerdo con la ponderación dada a cada una

de las horas del día (tabla No.5). En la programación real el valor de la solución es de 7,421 u.m. mientras que el modelo arroja un valor total de la solución de 4,782 u.m. reduciendo su costo en un 35,6%, este importante cambio se debe principalmente a que se están utilizando criterios de optimización matemática aplicados en el modelo matemático y resueltos mediante el software (GAMS) que permite resolver problemas de optimización, en esta investigación se consigue una solución óptima al problema de programación de horarios y asignación de aulas de clase mejorando la programación real del primer semestre académico de 2012.

En la figura 16 se encuentra en comparativo consolidado de uso de las franjas, en el modelo las franjas de mayor en su orden son; 8 a.m. con un 91,3%, 4 p.m. con un 91% y 7 a.m. 87,4%, mientras que en la programación real la franja de las 10 a.m. es la de mayor utilización con 62,5%, en términos generales la programación real tiene mayor ocupación en las primeras 4 horas de la mañana, en las franjas entre las 11 a.m. y 3 p.m. tienen una ocupación en promedio de 44,5%, y en la tarde van disminuyen con el paso del tiempo, en la figura no se muestra pero dentro de la programación real se encontraron 5 materias programadas a las 7 p.m., la programación del modelo disminuye notablemente el uso en las horas del mediodía utilizando tan solo un 9,8% de las franjas de 12 p.m. a 2 p.m., cumpliendo la restricción blanda de no programar en estas franjas, lo cual contribuye con el bienestar de la comunidad universitaria ya que cuentan con tiempo necesario para almorzar y descansar disfrutando del verde del campus universitario.

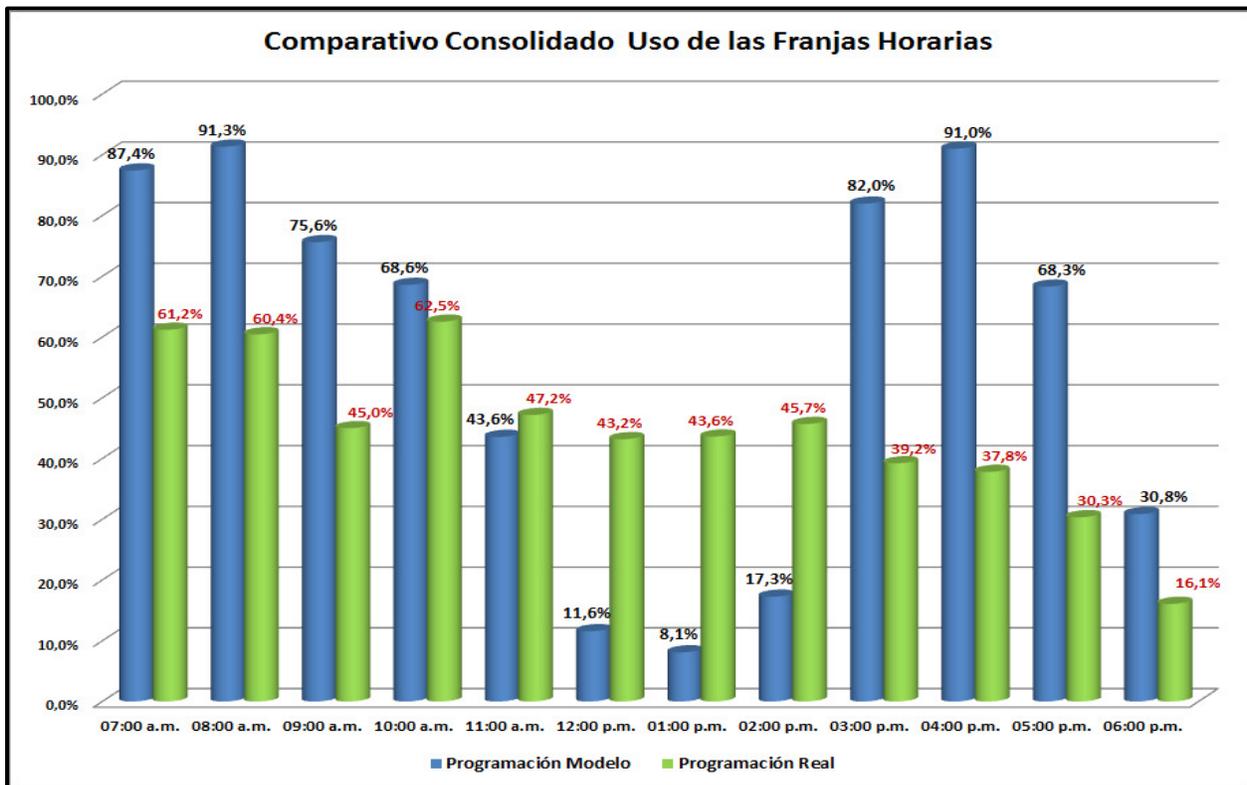


Figura 16. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas – Programa de Administración

4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Una vez obtenidos, analizados y comparados todos los resultados generados por el modelo matemático se plantea un análisis de sensibilidad con dos propósitos, primero se identifica que los salones pre-asignados tienen una ocupación en promedio del 53,6% lo que indica que posiblemente se puedan reducir el grupo de los 60 salones que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del modelo y en segundo lugar el análisis de información también permitió identificar que algunos programas cuentan con varios grupos de la misma asignatura, grupos que en la mayoría de los casos oscilan entre los 10 y 20 estudiantes lo cual permite realizar un análisis de sensibilidad consolidando los grupos y que permita disminuir el uso de recursos necesarios para realizar toda la programación cumpliendo con las restricciones del problema.

4.1. REDUCCIÓN DE SALONES

En la siguiente tabla se presenta un cuadro comparativo del uso de los salones entre la solución inicial y la solución encontrada al realizar el análisis de sensibilidad reduciendo el conjunto de pre-asignados a cada programa, la metodología de solución es la misma, lo único que cambia en el modelo y la programación en GAMS es el conjunto de salones, los demás parámetros permanecen iguales.

Tabla 38. Comparación entre el Solución Inicial y Análisis Reducción de Salones

Nombre del Programa	SOLUCIÓN INICIAL			SOLUCIÓN REDUCCIÓN SALONES		
	H/ Sem.	Salones	% Ocupación	H/ Sem.	Salones	% Ocupación
INGENIERÍA QUÍMICA	86	3	44,79%	86	2	67,19%
ADMINISTRACIÓN DE MERCADEO Y LOGÍSTICA INTER	118	4	46,09%	118	3	64,84%
INGENIERÍA INFORMÁTICA	111	4	43,36%	111	2	86,72%
ECONOMIA Y FINANZAS INTERNACIONALES	162	4	63,28%	162	3	84,38%
ADMINISTRACIÓN DE INSTITUCIONES DE SERVICIO	158	4	61,72%	158	3	82,29%
GASTRONOMIA	216	6	56,25%	216	4	84,38%
INGENIERÍA INDUSTRIAL	180	5	56,25%	180	4	70,31%
ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS INTERNACIONALES	358	12	46,61%	358	10	55,94%
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	315	8	61,52%	315	6	82,03%
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN AGROINDUSTRIAL	360	10	56,25%	360	9	62,50%
		60	53,61%		46	74,06%

Fuente: Autoría Propia

En la solución inicial se contaban con un total de 60 aulas de clase entre salones normales, talleres y laboratorios, después de realizar el análisis de sensibilidad este conjunto se redujo a 46 aulas, reduciendo el número de salones en 30,4%, esto se logra cambiando el parámetro de

conjunto de aulas identificando en la solución inicial el aula de menor uso, es decir el salón en que en la solución inicial obtenida en GAMS se programó el menor número de horas semanales, de esta manera se logra reducir el grupo de salones en 14 aulas.

A continuación, en la tabla 39 se presenta un ejemplo del comparativo entre la solución inicial y la programación obtenida en la fase de análisis de sensibilidad en la reducción de salones para el programa de Administración de Empresas y en el salón G-121 (L38).

Tabla 39. Comparativo Programación Programa de Administración - Salón G-121

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M61	ADMINISTRACION DE LA COMPENSACION	M74	DESARROLLO DE LA CAPACIDAD EMPRENDEDORA	M48	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M46	COSTOS Y PRESUPUESTO	M71	ADMINISTRACION DE LA PRODUCCION Y OPERAC	M51	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI
08:00 a.m.	M61	ADMINISTRACION DE LA COMPENSACION	M71	ADMINISTRACION DE LA PRODUCCION Y OPERAC	M48	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M46	COSTOS Y PRESUPUESTO	M102	TALLER DE MACROECONOMIA	M61	ADMINISTRACION DE LA COMPENSACION
09:00 a.m.	M46	COSTOS Y PRESUPUESTO	M47	COSTOS Y PRESUPUESTO	M105	ANALISIS DEL ENTORNO Y ESTRATEGIA	M105	ANALISIS DEL ENTORNO Y ESTRATEGIA	M48	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M61	ADMINISTRACION DE LA COMPENSACION
10:00 a.m.	M46	COSTOS Y PRESUPUESTO	M47	COSTOS Y PRESUPUESTO	M71	ADMINISTRACION DE LA PRODUCCION Y OPERAC	M74	DESARROLLO DE LA CAPACIDAD EMPRENDEDORA	M48	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M53	ORGANIZACIONES
11:00 a.m.												
12:00 p.m.												
01:00 p.m.												
02:00 p.m.												
03:00 p.m.	M53	ORGANIZACIONES	M106	ELECTIVA DE PROFUNDIZACION	M102	TALLER DE MACROECONOMIA	M106	ELECTIVA DE PROFUNDIZACION				
04:00 p.m.	M53	ORGANIZACIONES	M51	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M102	TALLER DE MACROECONOMIA	M106	ELECTIVA DE PROFUNDIZACION				
05:00 p.m.			M51	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M51	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI						
06:00 p.m.												

HORA	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO	
	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia	Cod.	Materia
07:00 a.m.	M71	ADMINISTRACION DE LA PRODUCCION Y OPERAC	M84	POLITICA ECONOMICA	M105	ANALISIS DEL ENTORNO Y ESTRATEGIA	M77	EMPRENDIMIENTO Y CREACION DE NUEVAS EM	M92	GESTION PLANIFICACION REGIONAL Y URBANA	M61	ADMINISTRACION DE LA COMPENSACION
08:00 a.m.	M48	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M71	ADMINISTRACION DE LA PRODUCCION Y OPERAC	M102	TALLER DE MACROECONOMIA	M74	DESARROLLO DE LA CAPACIDAD EMPRENDEDORA	M92	GESTION PLANIFICACION REGIONAL Y URBANA	M61	ADMINISTRACION DE LA COMPENSACION
09:00 a.m.	M105	ANALISIS DEL ENTORNO Y ESTRATEGIA	M71	ADMINISTRACION DE LA PRODUCCION Y OPERAC	M84	POLITICA ECONOMICA	M74	DESARROLLO DE LA CAPACIDAD EMPRENDEDORA	M92	GESTION PLANIFICACION REGIONAL Y URBANA	M53	ORGANIZACIONES
10:00 a.m.	M50	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M50	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M90	EVALUACION FINANCIERA DE PROYECTOS	M106	ELECTIVA DE PROFUNDIZACION	M84	POLITICA ECONOMICA	M53	ORGANIZACIONES
11:00 a.m.	M61	ADMINISTRACION DE LA COMPENSACION	M50	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M90	EVALUACION FINANCIERA DE PROYECTOS	M50	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M63	EMPRENDIMIENTO SOCIAL	M53	ORGANIZACIONES
12:00 p.m.	M61	ADMINISTRACION DE LA COMPENSACION			M95	PLAN DE NEGOCIOS						
01:00 p.m.			M77	EMPRENDIMIENTO Y CREACION DE NUEVAS EM								
02:00 p.m.	M106	ELECTIVA DE PROFUNDIZACION	M106	ELECTIVA DE PROFUNDIZACION	M91	EVALUACION FINANCIERA DE PROYECTOS	M95	PLAN DE NEGOCIOS	M48	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI		
03:00 p.m.	M63	EMPRENDIMIENTO SOCIAL	M48	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M91	EVALUACION FINANCIERA DE PROYECTOS	M95	PLAN DE NEGOCIOS				
04:00 p.m.	M102	TALLER DE MACROECONOMIA	M51	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M48	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M95	PLAN DE NEGOCIOS				
05:00 p.m.	M96	PLAN DE NEGOCIOS	M51	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M51	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI	M51	ESTADISTICA Y MUESTREO PARA ADMINISTRACI				
06:00 p.m.	M96	PLAN DE NEGOCIOS	M102	TALLER DE MACROECONOMIA								

Fuente: Autoría Propia

Analizado el ejemplo anterior se puede ver como en la solución inicial se habían programado 34 horas semanales, mientras que en la solución obtenida al reducir salones se programan 52 horas lo que indica que aumenta su ocupación en un 52,9%, en este programa se logra reducir de 8 a 6 salones con base en la nueva metodología. La programación total se puede encontrar en el anexo 7 (Programación Reducción de Salones).

En la figura 17 se muestra el comparativo realizado del uso de las franjas entre la programación real, la solución inicial y la solución al reducir el número de salones en la programación de cada programa, el comportamiento de la nueva programación es similar al de la solución inicial ya que la formulación es la misma, con el mismo conjunto de restricciones. El promedio de uso de las franjas en la programación real es del 44,3%, en la solución inicial del 56% y en la nueva programación al realizar el análisis de sensibilidad es del 70%, aumentado 14 puntos porcentuales con respecto a la solución inicial y 25,6% con relación a la programación real del primer semestre de 2012, esto es logrado al forzar al modelo a que programa en franjas de mayor peso porcentual por lo que la solución aumenta de valor con un total de 6,407 u.m., sin embargo la solución continua siendo mejor que la programación real, mejorando en 1,014 u.m., lo que significan que la solución obtenida al disminuir el conjunto de salones en un 15,8%. Esta nueva solución con respecto a la solución inicial aumenta en 25,4%, incrementando su valor total en 1,625 u.m., destacando que la nueva programación garantiza el cumplimiento de todo el conjunto de restricciones y en lo posible deja libres las franjas del medio día.

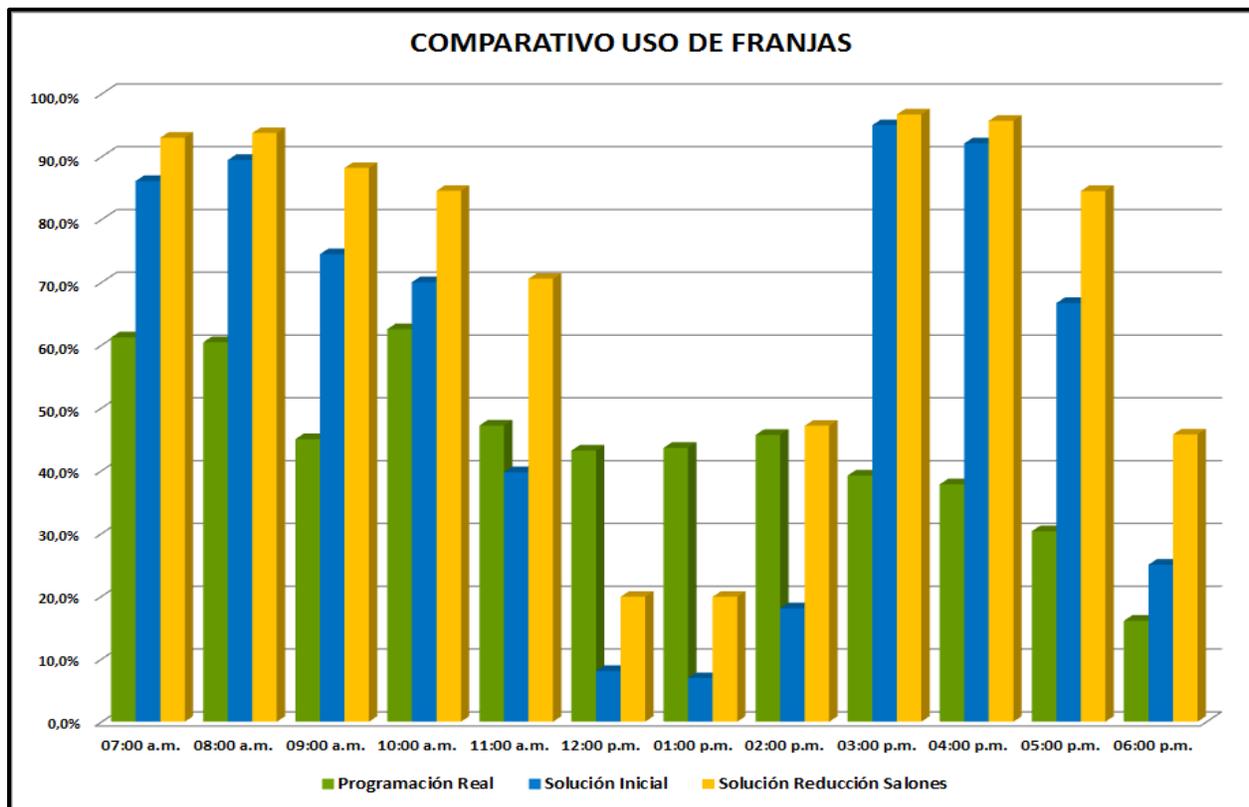


Figura 17. Comparativo por Porcentaje de Uso de las Franjas

4.2. CONSOLIDACIÓN DE GRUPOS

El problema cuenta con 2,066 horas semanales a programar lo cual resulta del producto de los 697 grupos por su intensidad horaria. En el proceso de análisis y consolidación de información se identifica que algunos programas académicos cuentan con varios grupos de la misma materia que en la mayoría de los casos con un número inferior a 20 estudiantes, por ejemplo en el programa de Administración de Empresas se encuentra la asignatura de Introducción a la Administración de primer semestre y que tiene 5 grupos programados en el primer semestre de 2012, 3 grupos con 10 estudiantes cada uno y 2 con 15 estudiantes, en total son 60 estudiantes distribuidos en 5 grupos, otro ejemplo es el programa de Administración de Negocios Internacionales compuesto en su plan de estudios por la materia de Macroeconomía I y que según la información de la programación real fue programada en 4 grupos cada uno de 10 estudiantes, casos como estos se encuentran presentes en varios programas.

El proceso de investigación no permitió identificar la causa de la situación expuesta en el párrafo anterior, sin embargo se realiza el análisis de sensibilidad consolidando los grupos posibles, siempre y cuando los grupos conserven las mismas características en intensidad horaria y que pertenezcan al mismo semestre y mismo programa. La metodología utilizada para dicho análisis es la siguiente:

- Revisar e identificar los grupos homogéneos en cada programa
- Consolidar los grupos iguales en nuevos grupos entre 30 y 40 estudiantes
- En la matriz general se deja la información de los docentes y códigos de los primeros grupos
- Se cambian los parámetros necesarios en los modelos de cada programa en GAMS
- Se encuentra la nueva solución y se analiza

Este proceso permite reducir en un 19,5% la cantidad de horas semanales a programar, pasando de 2,066 a 1,727 horas, esta reducción también impacta en el uso de recursos ya que la demanda de salones y de docentes disminuye y las materias de este tipo que logren consolidarse podrían programarse con los docentes de planta, esto siempre y cuando los profesores tengan disponibilidad y cumplan con las políticas de la Universidad.

La tabla 40 contiene la información de los 5 programas a los que se les realizó la consolidación de grupos, los 3 programas de la EICEA son los de mayor disminución en horas semanales a programar, Administración de Negocios Internacionales con un decrecimiento de 142 horas que representa una disminución del 39,7%, le sigue el programa de Administración de Empresas que pasó de 315 a 203 horas, disminuyendo un 35,6%, finalmente en esta Facultad se le aplicó la metodología de consolidación de grupos al programa de Economía y finanzas Internacionales, el cual baja la cantidad de horas semanales en 41 reduciendo un 25,3%. En la

Facultad de Ingeniería solamente se consolidan los grupos en dos programas; Ingeniería Industrial cambiando de 180 a 154 horas semanales, esto representa una disminución de 14,4%, por último al programa de Ingeniería Informática después de realizar el proceso de consolidación, reduce en 16 horas semanales a programar, casualmente también representa el 14,4% igual a la otro programa de ingeniería.

Tabla 40. Programas con Consolidación de Grupos

Nombre del Programa	H/ Sem. Solución Inicial	H/ Sem. Consolidación Grupos	Dif. H/Sem.	Dif. %
INGENIERÍA INFORMÁTICA	111	95	16	-14,4%
ECONOMIA Y FINANZAS INTERNACIONALES	162	121	41	-25,3%
INGENIERÍA INDUSTRIAL	180	154	26	-14,4%
ADMINISTRACIÓN DE NEGOCIOS INTER.	358	216	142	-39,7%
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	315	203	112	-35,6%

Fuente: Autoría Propia

El uso de salones disminuye con relación al análisis de sensibilidad presentado en el sub capítulo anterior, pasando de 73,2% a 69,8% reduciendo el uso en 3,3 puntos porcentuales, sin embargo si se compara con la solución inicial aumenta el uso de los salones en 16,2%, el porcentaje de uso en cada una de las etapas presentadas en este trabajo se encuentra en la figura número 18.

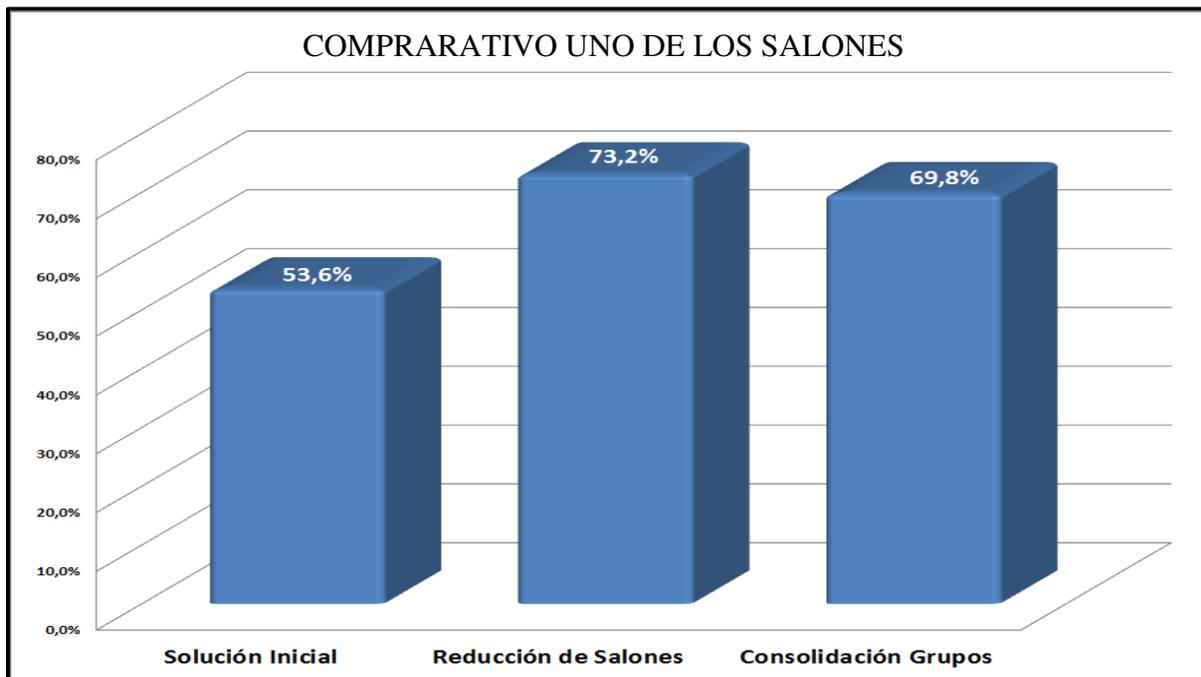


Figura 18. Comparativo por Porcentaje de Salones

En cuanto número de salones utilizados este dato también disminuye ya que al tener una menor cantidad de horas semanales a programar se requieren de menos aulas de clase, en esta nueva propuesta de consolidación de grupos solamente se requieren de 40 salones, disminuyendo 33,3% con respecto a los 60 salones utilizados en la solución inicial y un 16,6% con relación a la solución presentada en la reducción de salones, sin embargo este análisis se presenta como prueba de escritorio ya que se desconocen las causas por las cuales en estos 5 programas se programan varios grupos de la misma materia, por lo que para su aplicación es necesario identificar por qué y si la propuesta tiene o no validez para la Universidad de La Sabana.

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

A continuación se plantean las principales conclusiones y perspectivas concedidas a través del proceso de investigación realizado para poder dar respuesta al problema de programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias.

5.1. CONCLUSIONES

En este proyecto de investigación aplicada se aborda el problema de programación de horarios y asignación de clases universitarias para la Universidad de La Sabana en Chía Colombia, específicamente para las Facultad de la Escuela Internacional de Negocios Internaciones y Facultad de Ingeniería, compuestas por 6 y 4 programas académicos de pregrado, estos 10 programas representan el 44.64% de los estudiantes inscritos en el primer semestre de 2012, semestre que fue la base para todo el análisis y comparación con la programación real. Estas dos Facultades también son las más grandes en La Sabana y tienen gran variedad de programas académicos que demandan gran cantidad de recursos tanto académicos como administrativos, ya que requieren aulas especializadas como los talleres de alimentos para el programa de Gastronomía o los laboratorios de la Facultad de Ingeniería que cuentan con la dotación en equipos y mobiliario necesarios para el buen desarrollo de la actividad académica de acuerdo con los estándares de calidad de la Universidad. Esto permitió tener los elementos suficientes para analizar y encontrar una buena solución, que abarque todas las características propias del problema de programación de horarios y asignación de aulas de clases en la Universidad de La Sabana.

El principal enfoque que tiene esta investigación es de presentar una herramienta y una metodología basada en optimización matemática (programación lineal, métodos heurísticos) para solucionar el problema de programación de salones y horarios de clases que permita representar y resolver de forma óptima el problema de programación de salones y horarios de clase con miras a mejorar el uso de la capacidad instalada en la Universidad de La Sabana, de acuerdo con el objetivo estratégico “Consolidación de la estructura organizacional, el sistema de gobierno y de planeación y autoevaluación, y la asignación de recursos” definido en su Plan de Desarrollo Institucional al 2006 – 2015. Así mismo, con su Plan Estratégico Institucional, en el que se han reformulado los objetivos de desarrollo redefiniendo “Frentes Estratégicos”, entre los cuales se destaca el séptimo frente estratégico definido como “Implementación de nuevos modelos de gestión universitaria para apalancar el desarrollo institucional” y que busca proponer e innovar en la generación y administración de los recursos para el cumplimiento de sus fines, en respuesta a los retos y complejidad que plantea el mundo cambiante.

Para que el proceso de investigación tuviese éxito y que fuese posible identificar todos los elementos claves propios del problema de la Universidad de La Sabana se contó con el apoyo de sus directivas tanto académicas como administrativas, como es el caso de la Dirección de

Registro Académico y Dirección de Currículo quienes aportaron al proyecto valiosa información y experiencias que contribuyeron al desarrollo de la investigación. En total se trabajó con 415 materias propias de cada programa distribuidas en 697 grupos de estudio con un total de 2.066 horas semanales de estudio que se programaron algo más de 33.000 horas en el semestre.

En esta investigación se presenta un modelo de programación entera para la programación de horarios y asignación de aulas de clases, el cual fue programado en el código y lenguaje del software de modelamiento algebraico GAMS en su versión 21.1, en un equipo de cómputo con procesador i5, y memoria RAM de 8 gigabytes. El modelo logró realizar una asignación con tiempos de cálculo razonable cumpliendo con todas las restricciones impuestas y tiene en cuenta algunas condiciones deseables tales como las preferencias de los profesores y el impedir cambio de salón en materias que se dictan en bloque.

El desarrollo del modelo se realizó en dos fases. La primera fase permitió realizar la asignación de materias a cada una de las franjas horarias de acuerdo con los criterios de optimización aplicados al problema, mientras que la segunda fase logra la asignación de salones de tal manera que no haya cambio de salón en las materias que se dictan el mismo día en bloque, de esta manera se logra una programación compacta que no cambia de espacio físico y que garantiza el cumplimiento del conjunto de restricciones impuestas en el problema.

Los resultados experimentales de la simulación realizada muestran mejoras significativas en la comparación realizada con la programación real del primer semestre de 2012, para esto se incluyeron indicadores que permitieron medir el porcentaje de ocupación de salones y el uso de las franjas horarias, además, de calcular con la misma metodología del modelo matemático un valor de la solución real, lo cual permite afirmar que la solución encontrada por el modelo de programación lineal propuesto es mejor que la solución entregada por la persona responsable de la programación en la Universidad de La Sabana, ya que al ser este último un proceso manual que deja a la subjetividad y a la experiencia empírica la posibilidad de entregar una programación que satisfaga todos los requerimientos de las Facultades de las características propias del problema, mientras que el modelo matemático propuesto en esta investigación se involucran elementos propios de la investigación de operaciones que permiten generar y entregar una solución eficiente bajo la óptica de la optimización matemática y cumpliendo con los requisitos y políticas de La Sabana.

También se presenta una propuesta para realizar la consolidación de algunos grupos en 5 programas, ya que el proceso de investigación y análisis de información permitió encontrar que en estos 5 programas se encontraban grupos de las mismas materias que pertenecían al mismo semestre y al mismo programa y con un número reducido de estudiantes. Al consolidar estos grupos en grupos más grandes entre 30 y 40 alumnos se logra reducir la demanda de recursos tanto académicos como administrativos, disminuyendo en un 19,5% la cantidad de horas

semanales a programar, pasando de 2,066 a 1,727 horas, además, esto tuvo un impacto significativo en la cantidad de salones necesarios para resolver el problema ya inicialmente se contaban con 60 aulas y en esta nueva propuesta solamente se utilizaron 40, disminuyendo un 33,3%.

5.2. PERSPECTIVAS

Aunque la metodología y modelo de optimización matemática propuestos en esta investigación dan oportuna y favorable respuesta al problema de programación de horarios y asignación de aulas de clases universitarias para la Universidad de La Sabana, sería conveniente profundizar esta investigación y sus respectivos resultados desde la óptica del estudiante, es decir analizar qué tan conveniente es esta nueva programación, validando que la carga académica no se haya aumentado, que los bloques de materias no sean tan pesados para los estudiantes, o por el contrario esta propuesta también favorezca los intereses de los alumnos.

Como se identificó y se expuso en el análisis de sensibilidad presentado en el capítulo anterior, se evidencia la presencia de varios grupos de la misma materia, semestre y programa que oscilan entre los 10 y 15 estudiantes, también en la investigación se encuentran materias denominadas iguales con la misma intensidad horaria, ejemplo Administración que se encuentra en los programas de Administración de Empresas, Administración de Mercadeo y Logística Internacional e Ingeniería industrial, pero en semestres diferentes o Contabilidad y Costos que aparece en los programas de Administración de Instituciones de Servicio, Administración de Mercadeo y Logística Internacional y Gastronomía, de esto se puede concluir la importancia de la reforma curricular que lidera la dirección de Currículo y que permitiría que los estudiantes tengan la opción de inscribir en diferentes grupos de la misma materia sin importar el programa al que pertenecen, de esta manera los grupos quedarían conformados por alumnos de diferentes programas académicos con un número entre 30 y 40 estudiantes (esto siempre y cuando las circunstancias curriculares lo permitan, ya que en ocasiones los grupos numerosos dificultan la actividad académica), y así aprovechar mejor los salones con los que cuenta la universidad que en promedio superan los 40 puestos de capacidad instalada.

Otro punto importante a tener en cuenta y que también se evidenció en la investigación es la necesidad de generar herramientas que permitan recopilar la información de los docentes con mayor facilidad, ya que en la mayoría de los casos esta información está en cabeza de las secretarías de la Facultad quienes conocen al detalle el proceso para programar los horarios y conocen o manejan de voz a voz o en formatos sin estandarizar la disponibilidad de los docentes de cátedra y solo recogen la información de una semana sin tener en cuenta viajes o cualquier compromiso que tenga el docente durante el semestre y que es importante tener en cuenta para la programación de horarios, además, en la mayoría de los casos estos profesores solo son vistos

cuando deben firmar contrato o al inicio de las clases, sin mencionar la debilidad presente al estar esta información centralizada en pocas personas y no contar con un proceso formal. Se podría entonces generar una herramienta web como por ejemplo en Portal Servicios u otra herramienta que permita a los profesores de cátedra acceder y cargar cada semestre la disponibilidad que tengan, incluyendo cualquier tipo de compromiso contraído con anterioridad y que impida la su presencia en la Universidad, esta información alimentaría una base de datos que se convertiría en insumo para el modelo utilizado en GAMS o cualquier otro desarrollo que realice La Sabana y que tenga como base esta investigación.

Según lo expuesto en el Plan Estratégico de la Universidad de La Sabana al 2019 en cuanto al tema Gestión e infraestructura se refiere; menciona que una de las tendencias mundiales está dada por la importancia que tiene para las instituciones de educación superior el contar con nuevos modelos de gestión universitaria, por lo tanto en concepto del investigador el presente trabajo será de gran utilidad para la implementación de nuevos modelos de gestión que permitan realizar una adecuada administración de los recursos, especialmente de la planta física conformada por las aulas de clase, talleres y laboratorios, gracias a que con la investigación se realiza una exploración completa al problema de programación de horarios y asignación de aulas de clase y presenta una metodología con un modelo matemático y su respectivo algoritmo que puede ser la base para el desarrollo de una herramienta informática con el apoyo de la Facultad de Ingeniería, en cabeza de su programa de Ingeniería Informática con el apoyo del equipo de desarrollo de la Dirección de Sistemas de Información.

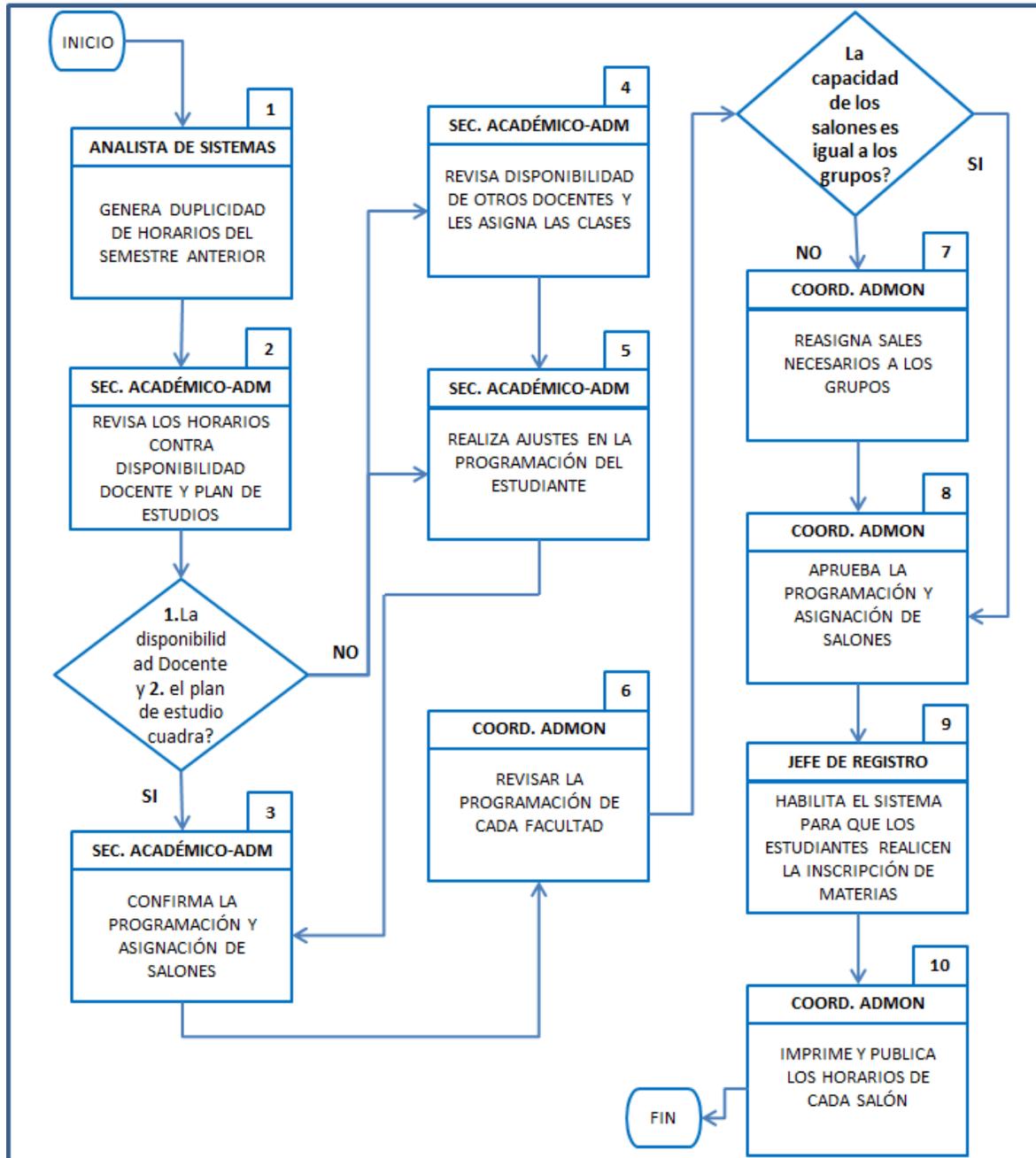
Bibliografía

- Abdullah, S., Turabieh, H., McCollum, B., & McMullan, P. (2012). A Hybrid Metaheuristic Approach to the University Course Timetabling Problem. *Springer Science*, Volumen 18, 1 - 23.
- Al-Yakoob, S. M., Sherali, H. D., & Al-Jazzaf, M. (2010). A Mixed-Integer Mathematical Modeling Approach to Exam Timetabling. *Comput Manag Sci*, Volumen 7, 19 - 46.
- Bejarano Nicho, G. M. (Junio de 2010). Planeación de Horarios del Personal de Cirugía de un Hospital del Estado Aplicando Algoritmos Genético (Timetabling Problem). *Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Informático, Pontificia Universidad Católica del Perú*. Lima, Perú.
- Chaudhuri, A., & Kajal, D. (2010). Fuzzy Genetic Heuristic for University Course Timetable Problem. *International Journal of Advances in Soft Computing and Its Applications*, Vol. 2, No.1, 77-90.
- Constantino, A. A., Marcondes, W., & Landa-Silva, D. (2010). Iterated Heuristic Algorithms for the Classroom Assignment Problem. *PATAT 2010, 8th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, Volumen 8, 152 - 166.
- Daskalaki, & Birbas. (2005). Efficient Solutions for University Timetabling Problem Through Integer Programming. *European Journal of Operational Research*, Volumen 160, 106-120.
- Duarte Muñoz, A., Pantrigo Fernández, J. J., & Gallego Carrillo, M. (2007). *Metaheurísticas*. Madrid: Dykinson.
- Franco, J. F., Toro, E., & Gallego, R. (2008). Problema de Asignación Óptima de Salones Resuelto con búsqueda Tabú. *Ingeniería y Desarrollo*, Número 24, 149-175.
- Glover, F. (1995). Tabu Search Fundamentals and Uses. *University of Colorado*, 1-85.
- Glover, F., & Melián, B. (2003). Search Tabu. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 29-48.
- Granada Ecreverria, M. (2009). *Algoritmos Evolutivos y Técnicas Bioinspiradas*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira .
- Hernández, R., Miranda, J., & Pablo, R. (2008). Programación de Horarios de Clases y Asignación de Salas para la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Diego Portales Mediante un enfoque de Programación Entera. *Revista de Ingeniería de Sistemas*, Volumen XXII, 121-141.
- IDSIA. *Dalle Molle Institute for Artificial Intelligence*. (s.f.). Recuperado el 11 de Enero de 2012, de International Timetabling Competition: <http://www.idsia.ch/Files/ttcomp2002/>

- Mejía Caballero, J. M. (Junio de 2008). Asignación de Clases Universitarias Mediante Algoritmos Evolutivos. *Trabajo de Grado para Optar al Título de Magister en Ingeniería Industrial, en la Universidad del Norte*. Barranquilla, Colombia.
- Mejía Caballero, J. M., & Paternina Arboleda, C. (2010). Asignación de Horarios de Clases Universitarias Mediante Algoritmos Evolutivos. *Revista Educación en Ingeniería*, Número 9. 140-140.
- Montoya-Torres, J.R. (2008). Un Procedimiento Greedy para el Problema de Posicionamiento de Vehículos en Sistemas Complejos de Transporte Automatizado para Manufactura . *Revista Ingeniería y Universidad* , Volumen 12, No. 1. 9-32.
- Mumford, C. L. (2010). A Multiobjective framework for Heavily Constrained Examination timetabling Problems. *Annals of Operations Research*, Volumen 180, 3 - 31.
- Peñuela, C. A., Franco, J. F., & Toro, E. (2008). Colonia de Hormigas Aplicada a la Programación Óptima de Horarios de Clases. *Scientia Et Technica*, XIV, 49-54.
- Saber, N., Ayob, M., Kendall, G., & Qu, R. (2012). A Honey-bee Mating Optimization Algorithm for Educational Timetabling Problems. *European Journal of Operational Research*, Volumen 216, 533 - 543.
- Saldaña, A., San Martín, C., & Pradeñas, L. (2007). Modelos de Programación Entera para un Problema de Programación de Horarios para Universidades. *Revista Chilena de Ingeniería*, Volumen 15. 245-259.
- Suárez, J., Alva, F., Alama, A., & Bejarano, G. (2010). Generación Inteligente de Horarios Empelando Heurísticas GRASP con Búsqueda Tabú para la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Revista Ingeniería Informática* , Volumen 1, No. 1. 15-24.
- Universidad de La Sabana, Rectoría, Dirección de Planeación (2011). Plan Estratégico Institucional al 2019, Chía, Colombia.
- Upadhyaya, S., & Setiya, R. (2009). Ant Colony Optimization: A Modified Version. *International Journal of Advances in Soft Computing and Its Applications*, Vol. 1, No.2, 78-90.
- Winston, W. L. (2005). *Investigación de Operaciones Aplicaciones y Algoritmos 4ta. Ed.* Mexico D.F.: Thomson Editores S.A.

Anexo 1. Flujograma Procedimiento de Programación de Salones

 <p style="font-size: 1.2em; margin: 0;">Universidad de La Sabana</p>	<p style="font-size: 1.2em; margin: 0;">Procedimiento: Programación de salones</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------



Anexo 2. Base General con la Información de los 10 Programas / Digital: Archivo Base General

Anexo 3. Planes de Estudios de los 10 Programas de Pregrado / Digital: Carpeta Planes de Estudio

Anexo 4. Matriz con la Disponibilidad de los Docentes / Digital: Archivo Disponibilidad Docentes

Anexo 5. Salones Disponibles con Capacidad / Digital: Archivo Salones

Anexo 6. Programación de los 10 programas / Digital: Carpeta Programación por Programas

**Anexo 7. Programación de los 10 programas, análisis de sensibilidad reducción de salones / Digital:
Carpeta Programación Reducción de Salones**

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
INSTITUTO DE POSTGRADOS- FORUM

RESUMEN ANALÍTICO DE INVESTIGACIÓN (R.A.I)

ORIENTACIONES PARA SU ELABORACIÓN:

El Resumen Analítico de Investigación (RAI) debe ser elaborado en Excel según el siguiente formato registrando la información exigida de acuerdo la descripción de cada variable. Debe ser revisado por el asesor(a) del proyecto. EL RAI se presenta (quema) en el mismo CD-Room del proyecto.

No.	VARIABLES	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE
1	NOMBRE DEL POSTGRADO	Maestría en Gerencia de Operaciones
2	TÍTULO DEL PROYECTO	PROGRAMACIÓN DE HORARIOS Y ASIGNACIÓN DE AULAS DE CLASES UNIVERSITARIAS
3	AUTOR(es)	Camilo Torres Ovalle
4	AÑO Y MES	2013, Febrero
5	NOMBRE DEL ASESOR(a)	Jairo R. Montoya Torres., Ph.D., Dr.-Hab.

6	DESCRIPCIÓN O ABSTRACT	<p>Un aspecto importante en la gestión de operaciones de una universidad es la programación de horarios de clase para los distintos cursos que ésta ofrece. Esta asignación es un problema complejo debido a la gran cantidad de restricciones que se deben considerar. Este trabajo de investigación aplicada presenta una metodología basada en optimización matemática (programación lineal, métodos heurísticos) para solucionar el problema de programación de salones y horarios de clases en la Universidad de La Sabana, Colombia, específicamente para las Facultad de la Escuela Internacional de Negocios Internacionales y Facultad de Ingeniería, compuestas por 6 y 4 programas académicos de pregrado, estos 10 programas representan el 44.64% de los estudiantes inscritos en el primer semestre de 2012. La metodología tiene en cuenta las restricciones presentes en el problema de programación de horarios de la universidad tales como la disponibilidad de salones, los horarios de los profesores, los requisitos de recursos audiovisuales para cada materia, entre otros.</p> <p>One of the most important issues regarding the operations of higher education institutions concerns the classroom time tabling. This is a very complex problem in which a great number of constraints have to be taken into account. The present research work presents an application of mathematical optimization, based on linear programming and heuristics, to solve the classroom time tabling problem at Universidad de La Sabana, Colombia. Because of its size, this research only considers the Faculty of Engineering and the School of Economics and Administrative Sciences, respectively with 6 and 4 undergraduate programs representing 44.64% of students in the university in the first semester of 2012. The proposed methodology takes into account constraints such as classrooms availability, lectures schedules, pre-requisites between courses, audio-visual resources, among others.</p>
7	PALABRAS CLAVES	Programación de horarios, asignación de salones, programación lineal entera, metodología, gerencia de operaciones
8	SECTOR ECONÓMICO AL QUE PERTENECE EL PROYECTO	Educación
9	TIPO DE ESTUDIO	Investigación Aplicada
10	OBJETIVO GENERAL	Proponer una metodología basada en optimización matemática (programación lineal, métodos heurísticos) para solucionar el problema de programación de salones y horarios de clases en la Universidad de La Sabana.

11	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	<p>*Identificar las características del proceso de programación de horarios y asignación de salones, propias a la Universidad de La Sabana que permita definir restricciones particulares del problema.</p> <p>* Diseñar el modelo de optimización para la resolución eficiente del problema de programación de salones y horarios de clases.</p> <p>* Validar los resultados del modelo, comparándolos con la programación real de un semestre cualquiera, para definir su posible aplicación en la Universidad de La Sabana</p>
12	RESUMEN GENERAL	<p>Todas las universidades enfrentan en cada periodo académico el problema de la programación de horarios y la asignación de aulas de clase a cada una de las materias programadas en cada semestre de los diferentes programas académicos que ofrecen. Esta programación de horarios académicos desde la perspectiva de la investigación de operaciones es una caracterización del problema general de timetabling (Hernández, Miranda, & Pablo 2008). Por lo general, estas instituciones cuentan con recursos limitados en infraestructura y medios educativos que les permitan impartir una educación de acuerdo con estándares de calidad que manejan. Es por esto que invierten mucho tiempo en la planeación y asignación de estos recursos con el fin de aprovechar al máximo la capacidad instalada. La programación que realizan debe satisfacer una serie de condiciones que por lo general son comunes a todas las instituciones de educación superior, entre las que se encuentran:</p> <p>* No puede existir más de una asignación en un mismo periodo para: una misma materia, un mismo profesor y una misma aula.</p> <p>* La programación se debe realizar completa, es decir que todas las asignaturas con su respectiva intensidad horaria, de acuerdo con el plan de estudios deben tener asignado un profesor y un salón en un periodo de tiempo determinado.</p> <p>* A cada profesor se le debe respetar la disponibilidad horaria de la que disponga.</p> <p>* Cada profesor tiene establecido las materias que puede dictar y por lo tanto solo debe ser asignado a esas materias.</p> <p>* Con el fin de evitar cruces en los horarios de los estudiantes, las materias del mismo semestre que tengan un</p>

<p>13</p>	<p>CONCLUSIONES.</p>	<p>En este proyecto de investigación aplicada se aborda el problema de programación de horarios y asignación de clases universitarias para la Universidad de La Sabana en Chía Colombia, específicamente para las Facultad de la Escuela Internacional de Negocios Internaciones y Facultad de Ingeniería, compuestas por 6 y 4 programas académicos de pregrado, estos 10 programas representan el 44.64% de los estudiantes inscritos en el primer semestre de 2012, semestre que fue la base para todo el análisis y comparación con la programación real. Estas dos Facultades también son las más grandes en La Sabana y tienen gran variedad de programas académicos que demandan gran cantidad de recursos tanto académicos como administrativos, ya que requieren aulas especializadas como los talleres de alimentos para el programa de Gastronomía o los laboratorios de la Facultad de Ingeniería que cuentan con la dotación en equipos y mobiliario necesarios para el buen desarrollo de la actividad académica de acuerdo con los estándares de calidad de la Universidad. Esto permitió tener los elementos suficientes para analizar y encontrar una buena solución, que abarque todas las características propias del problema de programación de horarios y asignación de aulas de clases en la Universidad de La Sabana.</p> <p>El principal enfoque que tiene esta investigación es de presentar una herramienta y una metodología basada en optimización matemática (programación lineal, métodos heurísticos) para solucionar el problema de programación de salones y horarios de clases que permita representar y resolver de forma óptima el problema de programación de salones y horarios de clase con miras a mejorar el uso de la capacidad instalada en la Universidad de La Sabana, de acuerdo con el objetivo estratégico “Consolidación de la estructura organizacional, el sistema de gobierno y de planeación y autoevaluación, y la asignación de recursos” definido en su Plan de Desarrollo Institucional al 2006 – 2015. Así mismo, con su Plan Estratégico Institucional, en el que se han reformulado los objetivos de desarrollo redefiniendo “Frentes Estratégicos”, entre los cuales se destaca el séptimo frente estratégico definido como “Implementación de nuevos modelos de gestión universitaria para apalancar el desarrollo institucional” y que busca proponer e innovar en la generación y administración de los recursos para el cumplimiento de sus fines, en respuesta a los retos y complejidad que plantea el mundo cambiante.</p> <p>Para que el proceso de investigación tuviese éxito y que fuese posible identificar todos los elementos claves propios del problema de la Universidad de La Sabana se contó con el apoyo de</p> <p>sus directivas tanto académicas como administrativas, como es el caso de la Dirección de Registro Académico y Dirección de Currículo quienes aportaron al proyecto valiosa información y experiencias que contribuyeron al desarrollo de la investigación. En total se trabajó con 415 materias propias de cada programa distribuidas en 697 grupos de estudio con un total de 2.066 horas semanales de estudio que se programaron algo más de 33.000 horas en el semestre.</p>
-----------	-----------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

14	FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	<p>Abdullah, S., Turabieh, H., McCollum, B., & McMullan, P. (2012). A Hybrid Metaheuristic Approach to the University Course Timetabling Problem. Springer Science, Volumen 18, 1 - 23.</p> <p>Al-Yakoob, S. M., Sherali, H. D., & Al-Jazzaf, M. (2010). A Mixed-Integer Mathematical Modeling Approach to Exam Timetabling. Comput Manag Sci, Volumen 7, 19 - 46.</p> <p>Bejarano Nicho, G. M. (Junio de 2010). Planeación de Horarios del Personal de Cirugía de un Hospital del Estado Aplicando Algoritmos Genético (Timetabling Poble). Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Informático, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.</p> <p>Chaudhuri, A., & Kajal, D. (2010). Fuzzy Genetic Heuristic for University Course Timetable Problem. International Journal of Advances in Soft Computing and Its Applications, Vol. 2, No.1, 77-90.</p> <p>Constantino, A. A., Marcondes, W., & Landa-Silva, D. (2010). Iterated Heuristic Algorithms for the Classroom Assignment Problem. PATAT 2010, 8th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling, Volumen 8, 152 - 166.</p> <p>Daskalaki, & Birbas. (2005). Efficient Solutions for University Timetabling Poblel Though Integer Programming. European Journal of Operational Research, Volumen 160, 106-120.</p> <p>Duarte Muñoz, A., Pantrigo Fernández, J. J., & Gallego Carrillo, M. (2007). Metaheurísticas. Madrid: Dykinson.</p> <p>Franco, J. F., Toro, E., & Gallego, R. (2008). Problema de Asignación Óptima de Salones Resuelto con búsqueda Tabú. Ingeniería y Desarrollo, Número 24, 149-175.</p> <p>Glover, F. (1995). Tabu Search Fundamentals and Uses. University of Colorado, 1-85.</p> <p>Glover, F., & Melián, B. (2003). Search Tabu. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, 29-48.</p> <p>Granada Ecreverria, M. (2009). Algoritmos Evolutivos y Técnicas Bioinspiradas. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira .</p> <p>Hernández, R., Miranda, J., & Pablo, R. (2008). Programación de Horarios de Clases y Asignación de Salas para la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Diego Portales Mediante un enfoque de Programación Entera. Revista de Ingeniería de Sistemas, Volumen XXII, 121-141.</p> <p>IDSIA. Dalle Molle Institute for Artificial Intelligence. (s.f.). Recuperado el 11 de Enero de 2012, de International Timetabling Competition: http://www.idsia.ch/Files/ttcomp2002/</p>
----	------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------