

Nota de Aceptación:

Proyecto de Diseño Aprobado, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.



HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO
Director Carrera Ingeniería Industrial



DANIEL MORILLO TORRES
Director(a) Proyecto de Diseño



FABIAN ANDRES CASTANO GIRALDO

Jurado 1



ALVARO FIGUEROA CABRERA

Jurado 2



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

La Secretaría de Facultad de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Pontificia
Universidad Javeriana Cali

CERTIFICA

Que los estudiantes Gredys Escobar González, Maicol Andrés Narvárez Rincón, Paula Andrea Sanchez Collazos y Nicol Solarte Herrera, identificados con Cédula de Ciudadanía, No. 1112303587, No. 1107509889, No. 1144074481 y No. 1151971282, respectivamente, realizaron en las instalaciones de la PUJ - Cali su proyecto de diseño como requisito para graduarse. Dicho proyecto consiste en el diseño de un modelo matemático para la asignación de exámenes de los estudiantes de Ingeniería Industrial con el fin de disminuir su carga académica.

Por consiguiente, hago constar que la Facultad de Ingeniería y Ciencias conoce el problema planteado en el desarrollo del proyecto al igual que los resultados obtenidos.

Para constancia de lo anterior, se firma en Santiago de Cali a los Veintiseis (26) días del mes de junio del 2020.

Cordialmente

Andrea del Pilar Gamboa Bermeo
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería y Ciencias

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031,
PBX (+57-2) 321 8200

6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 - www.javerianacali.edu.co
Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016



Diseño de un sistema de asignación de exámenes en una universidad

Gredys Escobar González^{a,c}, Maicol Narváez Rincón^{a,c}, Paula Andrea Sanchez Collazos^{a,c}, Nicol Solarte Herrera^{a,c}

Daniel Morillo Torres^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

Resumen

Uno de los principales factores a tener en cuenta dentro de la gestión académica de las instituciones de educación superior es la programación de las fechas de exámenes para cada uno de los cursos que se ofertan, lo cual puede volverse una tarea difícil si no se cuenta con un método adecuado. Este problema, conocido como *timetabling problem* o problema de asignación de exámenes, ha sido altamente estudiado en la literatura y consiste en asignar un conjunto de eventos a bloques horarios en un intervalo de tiempo determinado, limitado por unas restricciones particulares. El presente proyecto tiene como propósito diseñar un sistema de asignación de exámenes para la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana Cali con el fin de aumentar la satisfacción de los estudiantes con respecto a la asignación que se venía realizando. Para ello se realizó la caracterización del sistema a partir de la opinión de los grupos de interés con el fin de identificar los puntos críticos de la asignación actual. Posteriormente, después de un análisis detallado para escoger la mejor alternativa de solución al problema planteado, se diseñó un modelo matemático de programación binaria, realizando la respectiva validación y verificación. Con lo cual, en el periodo académico 2020-1, se logró reducir en 7,35% y 10,9% las veces que un estudiante presenta exámenes en un mismo día y en días consecutivos, respectivamente. Finalmente, la cantidad de estudiantes que presentan exámenes en uno o más días distantes se incrementó en 8,77%.

Palabras claves: Programación lineal, problemas de asignación, asignación de exámenes.

Abstract

One of the main factors to take into account within the academic management of higher education institutions is the scheduling of exam dates for each of the courses offered, which can become a difficult task if there is no a proper method. This problem, known as *timetabling problem* or exam assignment problem, has been highly studied in the literature and consists of assigning a set of events to time blocks in a given time interval, limited by particular restrictions. The purpose of this project is to design a system for assigning exams to the Faculty of Engineering and Sciences of the Pontifical Javeriana Cali University in order to increase student satisfaction with the assignment that was being made. To this end, the system was characterized based on the opinion of the interest groups in order to identify the critical points of the current assignment. Subsequently, after a detailed analysis to choose the best solution to the problem posed, a mathematical model of binary programming is designed, performing the respective validation and verification. Thus, in the academic period 2020-1, it was possible to reduce by 7.35% and 10.9% the number of times a student takes exams on the same day and on consecutive days, respectively. Finally, the number of students taking exams in one or more distant days increased by 8.77%.

Keywords: Timetabling problem, mathematical model, scheduling problems, linear programming, exam assignment.

Tabla de Contenido

I. PROJECT CHARTER.....	4
II. DEFINIR.....	5
A. Contexto y Justificación (por qué).....	5
B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)	7
C. Requerimientos.....	10
III. MEDIR	12
A. Plan de recolección de datos.....	12
B. Exploración del mercado	16
IV. ANALIZAR.....	23
A. Analizar	23
B. Revisión de literatura.....	25
C. Exploración De ideas y selección de alternativas	26
D. Objetivos	29
E. Plan de trabajo	29
V. DISEÑAR	31
A. Desarrollo del diseño de la solución.....	31
B. Validación del diseño propuesto.....	35
VI. VERIFICAR	37
A. Medición de los impactos	37
B. Estandarización de la solución – POE’S (plan de control).....	39
C. Conclusiones	39
D. Recomendaciones	39
VII. REFERENCIAS.....	40
VIII. ANEXOS	41

Índice de Tablas

TABLA I ESCALA DE VALORES	7
TABLA II ACTORES INVOLUCRADOS.....	7
TABLA III REQUERIMIENTOS DE LOS ACTORES DE INTERÉS	10
TABLA IV RESUMEN DE VARIABLES DE MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO.....	13
TABLA V CANTIDAD DE ESTUDIANTES POR CARRERA PARA REALIZAR EL MUESTREO	14
TABLA VI CANTIDAD DE ESTUDIANTES A ENCUESTAR POR CARRERA Y POR SEMESTRE	14
TABLA VII INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR.....	15
TABLA VIII RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO	23
TABLA IX HIPOTESIS DE INDEPENDENCIA	24
TABLA X ESCALA DE MEDICIÓN DE CRITERIOS.....	28
TABLA XI VALORACIÓN DE ALTERNATIVOS SEGÚN CRITERIOS	28

TABLA XII RESULTADOS DE LA MATRIZ AHP	29
TABLA XIII PLAN DE TRABAJO	30
TABLA XIV VARIABLES HC1, HC2 y HC3	32
TABLA XV PENALIDADES EN LA FUNCIÓN OBJETIVO.....	33
TABLA XVI RESUMEN SOLUCIÓN OPTIMA	35
TABLA XVII VALIDACIÓN DE RESTRICCIÓN (8).....	36
TABLA XVIII VALIDACIÓN DE RESTRICCIÓN (9) y (10).....	36
TABLA XIX ASIGNACIÓN ACTUAL VS ASIGNACIÓN PROPUESTA	37
TABLA XX ANEXOS	41

Índice de Figuras

Fig. 1 Matriz de los actores según su nivel de poder e interés.....	9
Fig. 2. Estudiantes encuestados según la carrera a la que pertenecen.....	17
Fig. 3. Satisfacción de los estudiantes.	17
Fig. 4. Percepción de si la carga académica puede afectar el rendimiento académico.	18
Fig. 5. Proporción de la frecuencia en que se modifican las fechas de los exámenes.....	18
Fig. 6. Percepción de los estudiantes acerca de cómo preferirían la asignación de exámenes.	19
Fig. 7. Porcentajes de la frecuencia en que los exámenes han sido asignados fuera de las dos semanas establecidas.	19
Fig. 8 Porcentajes de estudiantes que siguieron cada distribución de exámenes en los últimos cuatro periodos	20
Fig. 9 Percepción de si la carga académica puede afectar el rendimiento académico	21
<i>Fig. 10 Porcentajes de la frecuencia de cumplimiento de asignación de exámenes</i>	<i>21</i>
Fig. 11 Análisis DOFA.....	22
Fig. 12 Método Disney	27
Fig. 13 Asignación Actual vs Asignación Propuesta.....	38

I. PROJECT CHARTER

Descripción (<i>Business case</i>)		Planteamiento del problema (<i>Problem statement</i>)		
Actualmente en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la PUJ-Cali, la asignación de exámenes se realiza de forma manual sin tener en cuenta la carga académica de los estudiantes. Este proyecto pretende automatizar el proceso para reducir el tiempo que toma realizar esta tarea cumpliendo con las restricciones establecidas con el fin de mejorar la satisfacción de los estudiantes		El método utilizado para programar las fechas de los exámenes no está estandarizado, por ende, se ocasionan asignaciones inadecuadas que, a su vez, generan inconformidades en las estudiantes. Por tanto, es importante desarrollar un sistema de asignación que cumpla con los requerimientos impuestos por la facultad, capaz de entregar la asignación de exámenes de una manera óptima.		
Impacto de los actores (<i>Stakeholder's business needs</i>)		Restricciones	Especificaciones	Marco legal
<ul style="list-style-type: none"> • Estudiantes • Profesores • Secretaria académica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias • Comités de Facultad • Directores de carrera • Vicerrectoría académica • Equipo de trabajo • Director del proyecto • Otras universidades 		<ul style="list-style-type: none"> • Carga académica de exámenes balanceada • Cumplir con el horario previamente establecido • Evitar cruces de asignaciones • Asignación automatizada • Programación oportuna • Limitantes respecto al tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Preferencia de los estudiantes • Penalización de sobrecarga académica • Preferencia de los docentes • Programación dentro de las dos semanas establecidas • Cumplimiento de las políticas de formación y normatividad institucional 	Reglamento de estudiantes, numerales 65, 67, 88 y 93
Indicadores de Desempeño (<i>KPI's</i>)				
Variable	Actualidad	Meta		
Satisfacción de los estudiantes	46,9% declaran estar insatisfechos	↑		
Percepción del rendimiento	79,6% piensan que la asignación inadecuada de exámenes afecta negativamente su rendimiento académico	↓		
Frecuencia de cambio	46,4% declaran cambios frecuentes en la asignación de exámenes	↓		
Percepción de docentes	35,24% piensan que la asignación inadecuada de exámenes afecta negativamente su rendimiento académico	↓		
Objetivo general (<i>Goal statement</i>)				
Diseñar un ¹ sistema de apoyo a la toma de decisiones para aumentar el nivel de satisfacción de los estudiantes respecto a la asignación de exámenes en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana Cali mediante la programación lineal entera mixta.				
Objetivos específicos (<i>Project scope</i>)				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer las restricciones del proceso de asignación de exámenes mediante la caracterización del sistema actual de la Facultad de Ingeniería y Ciencias. 2. Proponer un modelo matemático que resuelva el problema de la asignación de exámenes en la facultad optimizando los indicadores establecidos. 3. Crear una estrategia de solución computacional para el modelo planteado que satisfaga las restricciones. 4. Validar los resultados del modelo con el fin de aumentar el indicador de satisfacción de los estudiantes y disminuir la cantidad de exámenes que presenta un estudiante en un mismo día. 				
Plan de Trabajo (<i>Project Plan</i>)		Equipo de trabajo (<i>Team members</i>)		

¹ Sistema: el sistema de apoyo consiste en realizar un programa computacional que sea capaz de convertir los resultados obtenidos por el modelo en un lenguaje que una persona con poco conocimiento sobre modelación matemática pueda comprender fácilmente.

Actividad	Fecha Inicio	Fecha Fin	Área IISE	Nombre	Rol
Recolectar y organizar información	27/01/2020	31/01/2020	11. Information Engineering	Paula Sanchez	Buscador de información
Establecer las restricciones del sistema	03/02/2020	07/02/2020	11. Information Engineering	Gredys Escobar	Evaluador
Realizar el planteamiento del modelo de asignación de exámenes	10/02/2020	28/02/2020	2. Operations Research & Analysis	Maicol Narváez y Nicol Solarte	Orientador y Buscador de opinión
Definir el programa computacional que solucionará el modelo.	02/03/2020	13/03/2020	2. Operations Research & Analysis	Todo el equipo	Buscador de información /opinión, Evaluador y Orientador
Ajustar en el programa los parámetros, variables y restricciones del modelo	17/03/2020	03/04/2020	2. Operations Research & Analysis	Nicol Solarte	Buscador de opinión
Correr el modelo en el programa computacional	06/04/2020	10/04/2020	2. Operations Research & Analysis	Maicol Narváez	Orientador
Analizar los resultados del modelo	13/04/2020	24/04/2020	5. Quality & Reliability Engineering	Gredys Escobar	Evaluador
Validar los resultados según los indicadores	27/04/2020	01/05/2020	5. Quality & Reliability Engineering	Paula Sanchez	Buscador de información

II.DEFINIR

A. Contexto y Justificación (por qué)

La asignación de tareas es una de las actividades clave en la mayoría de las áreas industriales tales como transporte, salud, educación y producción. Particularmente, la asignación de tareas aborda problemas como: programación de cursos universitarios, programación de exámenes, programación de enfermeras, programación de puerta-vuelos, programación de la tripulación de buses, asignación de operarios a máquinas, entre otros [1]. Al momento de asignar estas actividades, se busca que sea de manera efectiva, sin embargo, surgen algunas complicaciones, puesto que es necesario tener en cuenta los requerimientos y restricciones dadas por el tomador de decisión. Adicionalmente, no a todas las organizaciones previamente mencionadas les ha sido posible desarrollar una asignación eficiente. Cabe resaltar que el término “eficiencia” es utilizado para hacer referencia a la relación existente entre la producción de un bien o servicio y la utilización de los recursos que se disponen para llegar a él, incluyendo una estructura óptima de los costos [1]. Sin embargo, existen derivados de la noción de eficiencia dependiendo del contexto que se utilice, por tanto, es posible afirmar que se puede ser eficiente cuando se logra un objetivo en un menor tiempo [1]. En el mismo orden de ideas, el hecho de que no se cuente con modelos matemáticos o métodos heurísticos que ofrezcan, en un tiempo razonable, buenas soluciones que cumplan con todas las restricciones especificadas, conlleva a que se incumplan algunas preferencias y necesidades requeridas por los interesados, además de causar asignaciones inadecuadas.

De manera que una adecuada asignación de actividades es vital para que las organizaciones funcionen correctamente, es decir, una programación eficaz permite a las empresas dar valor a sus empleados, aumentar su productividad y, en última instancia, prestar un mejor servicio a sus clientes [2]. Con relación a esto, un estudio de mercado realizado por Technavio² en el año 2014, revela que “[...] los softwares de gestión de personal están liberando de 7 a 12 horas de tiempo de los gerentes cada semana y creando un

² Technavio: Empresa líder en investigación de mercado con cobertura global.

aumento del 20% en el tiempo de atención al cliente. También está creando una reducción del 6% en los errores de nómina y un aumento del 5% en la productividad” [2]. Teniendo en cuenta estas cifras, se puede afirmar que una correcta asignación mejora la productividad y el desempeño en cualquier tipo de empresa.

Dentro del sector educativo, la gestión académica es un factor vital para garantizar el éxito de las instituciones de educación superior. Dentro de los diez criterios de calidad sobre los cuales opera el Consejo Nacional de Acreditación de Colombia (CNA), se encuentran la eficacia y la eficiencia [3]. Sin embargo, estas instituciones se enfrentan a problemas relacionados a la eficiencia de sus procesos de gestión que involucra, principalmente, la programación de horarios, asignación de salones y exámenes y gestión de los recursos.

Por tanto, la aplicación de modelos matemáticos generales o heurísticos para el desarrollo de actividades con fines académicos puede representar un beneficio para la institución implicada. Por ejemplo, en Argentina, el empleo de un modelo de programación entera, cuyo objetivo fue diseñar horarios académicos en una universidad privada, determinó que la satisfacción de los estudiantes mejoró alrededor de un 10%, adicionalmente, generó un efecto positivo en la gestión de las universidades y una utilización óptima de los recursos disponibles (aulas, docentes, etc) [4]. Por otra parte, una investigación realizada en México concluyó que “el método de solución mediante algoritmos genéticos representa una alternativa conveniente para la resolución de problemas de asignación de recursos académicos (docentes, aulas, horas de clase y asignaturas), [...] que, mediante su aplicación, brinda una solución de buena calidad en un tiempo aplicable” [5]. Finalmente, en Colombia, un trabajo realizado por la Universidad Nacional ha concluido que la implementación de un modelo matemático, específicamente basado en la combinación entre algoritmos evolutivos y aleatorios para la programación de horarios de clase, son 19,5% más eficientes que otras técnicas tradicionales [6].

Contrario a lo anterior, utilizar un método tradicional para asignar los espacios puede ser ineficaz tanto para quien realiza la labor como para la población académica que se ve impactada por esta asignación, dado que durante las evaluaciones académicas puede darse una asignación inadecuada que, a su vez, genera sobrecarga para los estudiantes. Por esto, algunos escenarios presentes en la vida académica de estudiantes universitarios poseen una mayor capacidad de ocasionar estrés, como lo son los procesos de evaluación, la sobrecarga académica y situaciones relacionadas al proceso enseñanza-aprendizaje [7]. Por su parte, otros aspectos vinculados a la sobrecarga de la evaluación académica son la concentración de exámenes en ciertos periodos del curso, el alto nivel de exigencia o la cantidad de temas que la materia puede abarcar [7]. Un estudio realizado por el grupo de investigación, intervención psicosocial y rehabilitación fundamental de la universidad de la coruña, España, ha confirmado la validez y fiabilidad de ocho dimensiones presentadas en una escala de estresores académicos a través de un análisis factorial [7]. En el cual se puede destacar que los principales estresores académicos son los relacionados a los exámenes, las deficiencias metodológicas del profesorado, las intervenciones en público y la sobrecarga académica.

Estudios realizados en Cuba revelan que un alto nivel de estrés puede tener repercusiones negativas en el rendimiento académico de los estudiantes, puesto que este puede alterar el sistema de respuestas del alumno en un nivel cognitivo, motor y fisiológico [8]. En lo que respecta a la frecuencia de los síntomas que pueden presentarse debido al estrés académico, se determinó, de acuerdo con una investigación realizada en una universidad de Ecuador, que el 40% presentaba reacciones físicas, 33% reacciones psicológicas y 27% reacciones comportamentales [9]. Las reacciones físicas implican aquellas que son propias del cuerpo, las psicológicas tienen relación con las funciones cognoscitivas o emocionales del individuo y las comportamentales hacen referencia a la conducta de la persona [8]. Por otra parte, en un estudio realizado por la Universidad Santiago de Cali, Colombia, en una muestra de 185 estudiantes se presentaban como reacciones físicas: 25% dolor de cabeza, 30% dolores lumbares, 66% inflamación en las articulaciones y 25% dolor en la zona cervical [10]. Con base en estas cifras, se puede evidenciar que la carga académica desequilibrada de los exámenes, causada posiblemente por una asignación inadecuada, afecta de manera significativa la salud física y mental del estudiante y, por lo tanto, también su rendimiento académico.

En este orden de ideas, disminuir la carga académica puede reducir el estrés, mejorar la salud mental y, de igual manera, mejorar el desempeño universitario de los estudiantes. Por este motivo, este proyecto está dirigido a la Pontificia Universidad Javeriana de Cali (PUJ – Cali), que presenta algunos problemas con respecto a la asignación de los exámenes debido a la cantidad de cursos ofertados, estudiantes y restricciones que hay que tener en cuenta para coordinar las actividades académicas. Entre estas dificultades se encontraron: evitar cruces de exámenes, asignar los parciales en el horario de clase y dentro de las dos semanas establecidas, así como también aquellas restricciones que mejoran la calidad de la programación de exámenes, atendiendo a limitaciones de uso de equipos, disponibilidad de docentes o aulas con la capacidad necesaria, entre otras. Ahora bien, la facultad no cuenta con un método estandarizado para realizar dicha tarea, puesto que se hace de manera distinta cada vez. Por el contrario, esta se realiza de forma

manual analizando una a una las materias que se ofertan en cada semestre de cada carrera, lo que puede generar una programación desbalanceada; además de requerir un tiempo aproximado de dos días. Considerando los escenarios antes expuestos, la programación y asignación de parciales puede convertirse en una tarea demasiado compleja. Por tal motivo es de gran importancia desarrollar un modelo capaz de entregar la asignación de exámenes de una manera óptima, con el fin de disminuir la carga académica de los estudiantes.

B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)

La asignación de exámenes es una problemática que involucra a diferentes miembros de la comunidad Javeriana y otras universidades. Con el objetivo de identificar y clasificar a los interesados de una manera clara y precisa, se decidió utilizar la matriz Poder vs Interés ya que esta puede ponderarlos de una manera cuantitativa. Para ubicar los interesados en cada uno de los cuadrantes de la matriz fue necesario realizar una valoración asignando una puntuación a cada grupo de interés dentro de una escala de uno a cinco, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se puede apreciar el significado que tiene cada valor con el proyecto. Por otra parte, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentan los diferentes actores que están involucrados, una breve descripción de su función y finalmente se le otorga un valor al poder y/o el interés que cada uno tiene con el proyecto.

TABLA I
ESCALA DE VALORES

Valor	Significado
1	Mínimo poder y/o interés
2	Muy poco poder y/o interés
3	Mediano poder y/o interés
4	Muy alto poder y/o interés
5	Máximo poder y/o interés

TABLA II
ACTORES INVOLUCRADOS

Actores	Descripción	Relación con el proyecto	Poder	Interés	Justificación de la valoración del puntaje
Estudiantes	Individuo de la PUJ que pertenece a la facultad de Ingeniería y ciencias, específicamente a las carreras de pregrado de ingeniería industrial, ingeniería civil, ingeniería de sistemas, ingeniería electrónica, ingeniería mecánica, matemáticas aplicadas y biología. Quienes adquieren algún tipo de conocimiento teórico y/o práctico de manera constante.	No tienen el control para asignar sus parciales, pero se ven afectados directamente por la asignación de estos.	3	5	A este grupo se le asignó un interés de 5 puntos, ya que se interesan de manera significativa y es sobre ellos que recae el resultado final del proyecto. Sin embargo, tienen mediano poder sobre el mismo, ya que no pueden tomar decisiones sobre la programación de los exámenes, por esto se les asignó un valor de 3 puntos.
Profesores	Individuos que pertenecen a alguno de los 3 departamentos de la facultad de ingeniería (ciencias naturales y matemáticas, electrónica y ciencias de la computación, ingeniería civil e industrial), quienes se dedican a	Se acoplan a la asignación de parciales realizada por la secretaría académica. Igualmente están directamente	3	3	Los profesores tienen igual poder e interés en el proyecto, pues están directamente involucrados en la programación de los exámenes y están exigidos a cumplir con esa

Actores	Descripción	Relación con el proyecto	Poder	Interés	Justificación de la valorización del puntaje
	transmitir conocimiento y a diseñar estrategias de aprendizaje de un área específica.	involucrados en la asignación.			programación, por lo anterior se les asigno un valor de 3 puntos.
Secretaría Académica de la facultad de ingeniería	Es la persona encargada de ejecutar actividades académicas y operativas de la facultad de Ingeniería. Es el puente entre los estudiantes, los profesores y las dependencias de la facultad. Es la encargada de realizar la asignación de exámenes.	Tiene la labor de realizar y compartir la programación de parciales según los horarios de clase y los requerimientos propuestos por el comité de carrera.	5	4	Se asignó un valor de 4 puntos en el interés del proyecto, ya que es la persona quien actualmente realiza la programación de los exámenes, lo que la haría tener un interés alto y por esto mismo tiene un valor de 5 puntos en el poder.
Comités de facultad	Está conformado por 4 comités independientes de las carreras de Ingeniería Industrial, Ingeniería Civil, Ingeniería de sistemas e Ingeniería Electrónica; los cuales están conformados por profesores de la facultad, director de carrera estudiantes.	Están interesados en que se cumpla la forma y fecha de evaluación de cada materia.	5	3	Tienen un máximo poder en el proyecto, ya que son los que determinan la metodología de evacuación, por esto se les asignó un valor de 5 puntos; pero tienen un interés medio a lo que se le asignó un valor de 3 puntos por lo que no se ven afectados directamente por la programación de exámenes.
Directores de carrera	Procura el bienestar integral de los estudiantes y los profesores que prestan servicio a la carrera, y debe actuar en coordinación con los directores de departamento.	Son los responsables de atender las quejas o reclamos que presenten los estudiantes y profesores a causa de la asignación de los exámenes.	4	4	Se les asigno un valor de 4 puntos en el poder e interés, ya que están directamente involucrados en el proyecto, porque son quienes deben responder las quejas o reclamos sobre la programación de exámenes.
Vicerrectoría Académica	Persona encargada de la Universidad como ente regulatorio	Al ser el ente regulador en la Universidad, pueden limitar la aplicación del proyecto.	3	2	Se le asignó un poder de 3 puntos, ya que tienen mediano poder en las decisiones de la programación de exámenes y 2 puntos en el interés, ya que tiene poco interés en el proyecto.
Otras universidades	Institución de enseñanza superior que comprende diversas facultades, y que confiere los grados académicos correspondientes.	Tendrán el interés de replicar los resultados obtenidos por el modelo matemático propuesto.	1	5	Tienen máximo interés en replicar los resultados que se obtendrán de este proyecto, por eso se le dio el valor de 5 puntos, pero tienen un mínimo poder, por lo cual se le dio valor de 1 puntos, ya que no pueden tomar decisiones sobre el mismo.

Actores	Descripción	Relación con el proyecto	Poder	Interés	Justificación de la valorización del puntaje
Equipo de trabajo	Equipo de personas que están llevando a cabo el desarrollo del proyecto.	Diseñar un proyecto que cumpla con las especificaciones requeridas.	2	5	Tienen máximo interés lo cual se les dio un valor de 5 puntos, ya que son las personas encargadas del desarrollo del proyecto y de lograr los resultados esperados; pero tienen poco poder, lo cual se le dio un valor de 2 puntos ya que no tienen decisiones sobre la asignación de exámenes.
Director de proyecto	Profesor de planta de la universidad Javeriana, encargado de dar instrucción y apoyo para el desarrollo del proyecto.	Persona experta en el tema, quien nos dará las orientaciones para desarrollarlo.	2	4	Tiene un alto interés en el cual se le asignó un valor de 4 puntos, ya que está interesado en que el proyecto se desarrolle, pero al no tener decisiones sobre la asignación de exámenes se le dio un valor de 2 puntos en el poder.

En Fig. 1, puede observarse de manera gráfica cómo están clasificados los actores según su nivel de poder e interés en el proyecto.

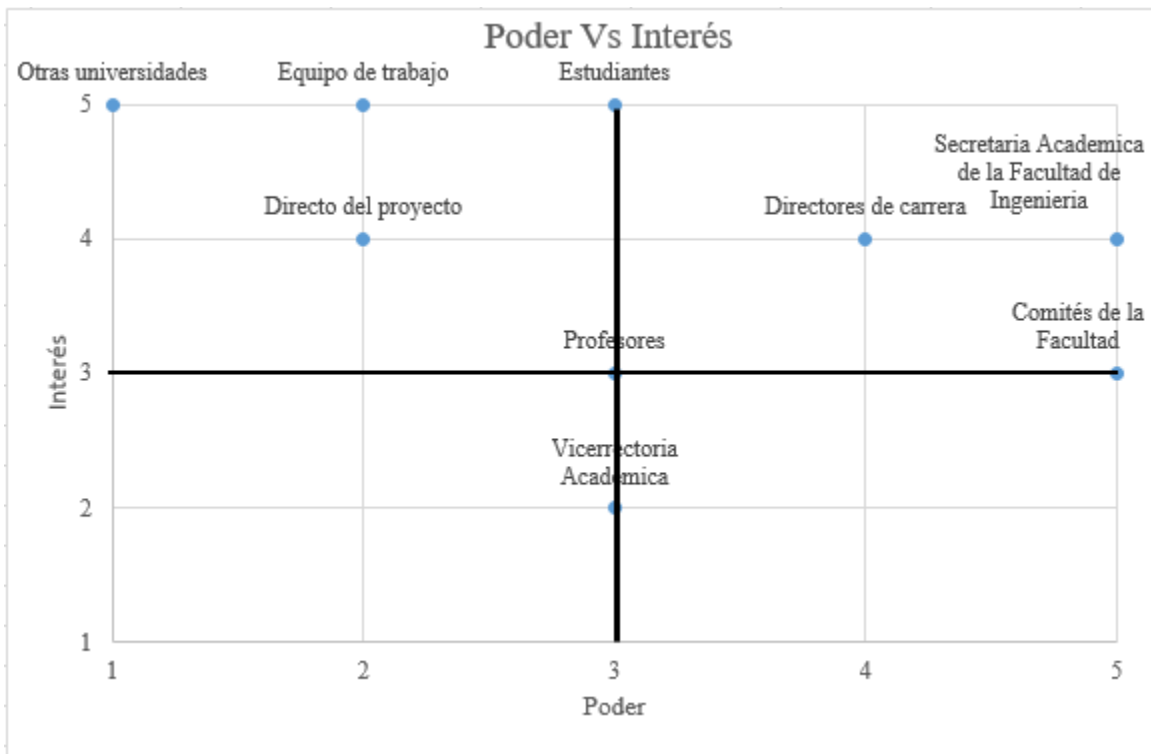


Fig. 1 Matriz de los actores según su nivel de poder e interés

Con base en la clasificación de los interesados mostrados en la TABLA I, la estrategia que se utilizará en cada uno de ellos será:

- **Mantener informados:** Los estudiantes, profesores, otras universidades, equipo de trabajo y director del proyecto son de gran importancia porque en su momento expresarán cuáles son las preferencias en la asignación de exámenes y ellos dirán si los resultados del modelo de asignación serán los esperados. Por lo tanto, se debe priorizar la comunicación efectiva con cada uno de ellos.
- **Involucrar y atraer activamente:** Los directores de carrera, secretaria académica y comité de carrera se incluirán activamente dentro del desarrollo del proyecto dado que son las directrices que establecen los requerimientos para los estudiantes y asignaturas, además de que aprobarán la implementación del modelo.
- **Esfuerzo mínimo:** La vicerrectoría académica se tendrá en constante revisión si en algún momento del proyecto su interés o poder cambia, de lo contrario, no se realizará ninguna acción con este actor.

C. Requerimientos

Para conocer los requerimientos de la PUJ – Cali, fue necesario realizar una entrevista a estudiantes, docentes y secretaria de la facultad con el fin de conocer las expectativas frente a la asignación de exámenes. De esta manera, se pudieron evidenciar algunos problemas relacionados con los cambios de los planes de estudio, considerando que algunas materias ofertadas se encontraban en distinta ubicación semestral y causaban inconvenientes a los estudiantes. Por otra parte, por medio de una entrevista [Anexo 1] fueron expresadas algunas inconformidades tanto de docentes como de estudiantes con respecto a la mala programación, que implica un salón inadecuado para la presentación del examen, exámenes consecutivos. Otro de los limitantes que se observó fue la falta de experiencia de la secretaria, puesto que es nueva en el cargo y además no se le suministró suficiente información acerca de algún método para llevar a cabo la asignación, salvo que esta se hace manualmente.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se expone los requerimientos, que incluye los requisitos, restricciones, especificaciones y leyes, normas y estándares que se deben seguir y cumplir. Con el fin de satisfacer los intereses de cada uno de los actores y por lo tanto garantizar el éxito del proyecto.

TABLA III
REQUERIMIENTOS DE LOS ACTORES DE INTERÉS

Actores	Requisitos	Restricciones de diseño	Especificaciones de diseño	Leyes, normas y estándares
Estudiantes	Carga académica de parciales balanceada.	Dar prioridad a los exámenes menos exigentes para tener más tiempo de estudiar.	Preferencias de los estudiantes.	Numeral 67 del reglamento de estudiantes.
		Asegurar que no se presenten más de 2 parciales por día y que estos a su vez estén bien distribuidos entre las 2 semanas asignadas para parciales.	Restricción del modelo donde se penalice la asignación de dos o más exámenes con igual cantidad de créditos en el mismo día.	
			La asignación debe estar dentro del horario habitual de las clases.	N/A

Actores	Requisitos	Restricciones de diseño	Especificaciones de diseño	Leyes, normas y estándares
Secretaria	Asignación de exámenes parciales automatizada / menos manual.	Llevar a cabo una sola asignación para todo el semestre.	Tener en cuenta que hay materias que realizan 2 o 4 parciales e incluso algunas que no realizan.	Numeral 65 del reglamento de estudiantes.
		Debido a cambios en los planes de estudio debe verificarse a que semestres pertenecen algunas materias.	Verificar las materias que se ofertan con diferente nombre para garantizar que la fecha del parcial será la misma para todos los alumnos matriculados en el mismo curso.	N/A
			Se debe tener en cuenta un semestre superior y un semestre inferior, ya que no todos los estudiantes siguen el plan de estudios.	N/A
Profesores	Recursos necesarios para el desarrollo adecuado de los exámenes.	El aula asignada debe ser apropiada (no laboratorio, no muy pequeña, sala de cómputo).	Flexibilidad para cambiar de horario los parciales.	Numeral 93 del reglamento de estudiantes.
		Parciales de los mismos cursos con distinto profesor en fechas similares.	Preferencias de los docentes implicados.	Numeral 88 del reglamento de estudiantes.
Comités de carrera	Programación oportuna de los exámenes parciales en la facultad de ingeniería.	Errores o problemas con la información relacionados con los cambios de plan de estudios.	Los parciales deben estar programados dentro de las dos semanas de exámenes.	Numeral 65 del reglamento de estudiantes.
Directores de carrera	Recibir menos cantidad de quejas o reclamos.	Cumplimiento de las fechas por parte de los docentes.	Preferencias de los docentes para evitar inconformidades.	N/A
Otras universidades	Aplicabilidad del modelo para sus programas académicos.	Metodología o exigencias pertinentes de la institución.	Normatividad interna de la universidad.	N/A
Vicerrectoría Académica	Desarrollo armónico de la programación de las fechas de los exámenes de la facultad de ingeniería.	N/A	Cumplimiento efectivo de las políticas de formación y normativa institucional establecida.	Reglamento de estudiantes.

Actores	Requisitos	Restricciones de diseño	Especificaciones de diseño	Leyes, normas y estándares
Equipo de trabajo	Implementación exitosa de un modelo matemático capaz de asignar las fechas de los parciales de la facultad de ingeniería de una manera adecuada y efectiva.	Limitaciones respecto al tiempo establecido para llevar a cabo dicha implementación y la cantidad de restricciones que el modelo involucra.	Modelo de programación lineal con un tiempo de respuesta considerable que pueda satisfacer las necesidades de los demás grupos de interés.	N/A
Director de proyecto	Diseño e implementación adecuado de un modelo matemático de asignación de tareas.	Tiempo determinado para realizar la implementación del modelo.	Asesorías para determinar el estado en el que se encuentra el proyecto para realizar las posibles mejoras y resolver dudas.	N/A

Reglamento de estudiantes PUJ Cali:

En el numeral 65 del reglamento de estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana Cali se establece que la evaluación de las asignaturas será llevada a cabo mediante la realización de varios exámenes parciales y un examen final [11]. Esto se relaciona con la secretaría de la facultad, debido a que en el desarrollo de la programación de los exámenes debe tenerse en cuenta la cantidad de evaluaciones que tiene cada asignatura. A su vez, se involucra el comité de carrera ya que estos tienen influencia en la forma de evaluación de cada curso, por lo cual es importante que se tenga en cuenta el numeral.

En el numeral 67 del reglamento de estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana Cali indica que los estudiantes deben conocer los resultados de sus evaluaciones de acuerdo a un plazo señalado en los numerales 88 y 93 del mismo reglamento [11].

El numeral 88 del reglamento de estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana Cali hace referencia al plazo que tienen los docentes de la institución en informar las notas de las calificaciones de los exámenes, el cual está definido que son ocho días hábiles posteriores a la presentación [11]. Cabe resaltar que una buena asignación de los exámenes es de gran importancia para el cumplimiento de este numeral, puesto que, si se presenta una gran carga de trabajo para el docente, le es de gran dificultad entregar las notas en el tiempo estipulado.

En el numeral 93 del reglamento de estudiantes de la Pontificia Universidad Javeriana Cali establece que los docentes tienen un plazo de hasta 5 días calendario para dar a conocer los resultados de las calificaciones definitivas, a partir de la presentación de las evaluaciones finales [11].

III.MEDIR

A. Plan de recolección de datos

Para medir la perspectiva de los estudiantes y los profesores, como principales afectados por la actual asignación de exámenes en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la PUJ – Cali, fue necesario recolectar información a través de fuentes primarias y/o secundarias. Para ello, teniendo en cuenta que las variables de estudio son de tipo cualitativas ordinales, se utilizó un muestreo aleatorio estratificado, puesto que la población objetivo son los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Ciencias, quienes están divididos en siete carreras, no necesariamente cursando el mismo semestre. Por esta razón, a pesar de ser una población heterogénea a causa del contenido de materias que ve cada individuo, se pudo dividir a los estudiantes en grupos homogéneos según la carrera y el semestre al que pertenecen, pues el muestreo estratificado “[...] puede aportar información más precisa de algunas subpoblaciones que varían bastante en tamaño y propiedades entre sí, pero que son homogéneas dentro de sí” [12]. Sin embargo, para la medición de variables de estudio no se tuvo en cuenta a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica ni Matemáticas Aplicadas porque actualmente la población total en cada carrera es menor a 30 estudiantes [13], lo que las hace una muestra no significativa en comparación a la población de las demás carreras. Igualmente, la carrera de Biología no fue considerada dentro del muestreo, pues tiene otros métodos de evaluación diferentes con respecto a las carreras de ingeniería, por lo que su opinión no sería representativa con respecto a la asignación de exámenes.

Para realizar el muestreo, cada carrera de ingeniería de la facultad se clasificó como un estrato y cada semestre de cada carrera un subestrato. Por otra parte, para calcular el tamaño de muestra necesario, se utilizó la ecuación (1) que estima la proporción poblacional para muestreo aleatorio estratificado[14].

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}; n_0 = \frac{\sum_{h=1}^L W_h P_h Q_h}{\left(\frac{\delta}{Z_{\alpha/2}}\right)^2} \quad (1)$$

Donde:

h = Estrato (carrera).

Q_h = Proporción de casos desfavorables encontrados en una muestra piloto.

P_h = Proporción de casos favorables encontrados en una muestra piloto.

W_h = Proporción de población para cada estrato.

n_0 = Numero de muestras sin corrección.

n = Numero de muestras con corrección por población finita para cada estrato.

δ = Error tolerable.

$Z_{\alpha/2}$ = Valor de la distribución normal para un alfa medios dado.

N = Población total.

Dado que, un nivel de confianza del 90% implica un porcentaje de error de 10%, el cual se consideró alto, y un nivel de confianza de 99% suele utilizarse en muestreos más rigurosos en donde un error alto es inadmisibile y, además, implica una muestra más grande, para el estudio, se establece un nivel de confianza del 95% al cual corresponde un $Z_{(\alpha/2)}$ de aproximadamente 1,96, un error tolerable (δ) de 5% y una población total (N) de 1453 estudiantes matriculados en carreras de ingeniera en la PUJ -Cali [13]. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las variables Q_h , P_h y W_h para cada una de las carreras. Es necesario tener en cuenta que para el cálculo de las variables Q_h y P_h , que indica la proporción de casos desfavorables y favorables respectivamente, se realizó una prueba piloto [Anexo 2] entrevistando a 384 estudiantes pertenecientes a carreras de ingeniería de diferentes semestres y se calculó la proporción de los que declararon sentirse insatisfechos con la asignación de exámenes actual (Q_h) e igualmente la proporción de los que declararon sentirse satisfechos con la misma (P_h). Mientras que para el cálculo de W_h se obtuvieron las proporciones de cada carrera respecto al total de estudiantes matriculados (N).

TABLA IV
RESUMEN DE VARIABLES DE MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO

Variable	Ingeniería Civil	Ingeniería Industrial	Ingeniería Electrónica	Ingeniería de Sistemas
P_h	0,47	0,42	0,57	0,46
Q_h	0,53	0,58	0,43	0,54
W_h	0,43	0,31	0,14	0,12

Con base a los valores anteriormente mencionados se pudo calcular el tamaño tanto de muestra sin corrección (n_0) como de la muestra con corrección poblacional (n), al hacer uso de la ecuación (1), los cuales arrojaron un resultado de 268 y 226 estudiantes respectivamente.

Posteriormente, para conocer cuántos estudiantes por carrera y por semestre según la carrera se debe muestrear, hay que tener en cuenta la ecuación (2) y (3) respectivamente [15].

$$n_h = n \left(\frac{N_h}{N} \right) = nW_h, \forall h \quad (2)$$

$$n_{h'} = n \left(\frac{N_{h'}}{N} \right) = nW_{h'}, \forall h' \quad (3)$$

Donde:

h' = Subestrato (semestre).

$W_{h'}$ = Proporción de población para cada subestrato.

Por un lado, se reemplazó la variable n y W_h con el fin de hallar la cantidad de estudiantes de cada carrera, cuyos resultados se encuentran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Por otro lado, se hizo uso de la variable n y $W_{h'}$, esta última indica la proporción de estudiantes que hay en cada semestre según el tamaño poblacional de la carrera a la que pertenece [15], para finalmente estimar la cantidad de estudiantes a tener en cuenta por semestre y por carrera, estos valores se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

TABLA V
CANTIDAD DE ESTUDIANTES POR CARRERA PARA REALIZAR EL MUESTREO

Variable	Ingeniería Civil	Ingeniería Industrial	Ingeniería Electrónica	Ingeniería de Sistemas
n_h	97	71	31	26

TABLA VI
CANTIDAD DE ESTUDIANTES A ENCUESTAR POR CARRERA Y POR SEMESTRE

	Semestre										Total por carrera
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ingeniería Civil	8	9	8	9	10	14	11	12	8	8	97
Ingeniería de Sistemas	2	3	4	3	3	4	4	1	1	1	26
Ingeniería Electrónica	1	2	3	3	4	4	4	3	3	3	31
Ingeniería Industrial	6	4	9	5	9	6	8	7	9	8	71
Total por semestre	18	17	24	20	26	28	27	24	21	20	226

Con base en lo anterior y con el fin de medir la perspectiva que tienen los estudiantes y profesores con respecto a la asignación actual de exámenes, se diseñó una encuesta a la población estudio. Esta se realizó mediante un formulario de Google virtual, en el cual los encuestados respondieron una serie de preguntas dirigidas a conocer la opinión sobre la asignación de parciales que han tenido hasta el momento. Dicha encuesta [Anexo 3] se realizó dentro de las instalaciones de la PUJ-Cali, entre el 23 y el 28 de septiembre de 2019. Se eligieron de manera representativa las asignaturas por semestre de cada carrera y se le pidió un espacio a cada docente donde se daban las pautas y se brindaba el acceso a la encuesta electrónica.

Para conocer la satisfacción de los profesores, se aplicó un cuestionario [Anexo 4] de forma digital que se difundió a través de los correos electrónicos de los docentes de la Facultad de Ingeniería y Ciencias, suministrados por la secretaria de cada departamento. y se obtuvieron 30 respuestas.

Finalmente, con base en ambas encuestas, se determinaron los indicadores de desempeño, así como también las variables con sus objetivos y descripción, esta información es mostrada en la Tabla VII. La nomenclatura de dichas variables se define como:

S: Número de estudiantes que se sienten satisfechos con la asignación de exámenes.

PRA: Número de estudiantes que declaran que su rendimiento académico se ve afectado por la asignación de exámenes.

FCE: Número de estudiantes que declaran el cambio de exámenes asignados frecuentemente.

FIE: Número de estudiantes que declaran inconformidades en la asignación de exámenes.

PE: Número de estudiantes que declaran postergación de exámenes fuera de las semanas programadas.

CP: Número de profesores que declaran cumplir con la asignación de exámenes.

SP: Número de profesores que declaran que la asignación de exámenes actual puede afectar negativamente el rendimiento de los estudiantes.

#PD: Número de estudiantes que presentaron dos o más exámenes en un mismo día.

#PC: Número de estudiantes que presentaron dos o más exámenes en días consecutivos.

N: Número total de encuestados.

N': Número total de estudiantes de ingeniería industrial.

TABLA VII
INDICADORES DE DESEMPEÑO A MEDIR

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador
Satisfacción	Medir la satisfacción de los estudiantes de las carreras de ingeniería de la universidad, para conocer su perspectiva y experiencia con la asignación de exámenes hasta el momento.	Se encuestó a los estudiantes de manera virtual o presencial que tan satisfechos se sienten con el sistema actual.	$\frac{S}{N}$
Percepción del rendimiento	Medir la percepción de los estudiantes de las carreras de ingeniería de la universidad, con respecto a si la asignación de exámenes afecta negativamente su rendimiento académico.	Se encuestó a los estudiantes de manera virtual o presencial la percepción que tienen sobre el rendimiento académico causado por la asignación de exámenes.	$\frac{PRA}{N}$
Frecuencia de cambio	Mediar cualitativamente con qué frecuencia los estudiantes de las carreras de ingeniería de la universidad son sometidos a cambios en la asignación de sus exámenes.	Se encuestó a los estudiantes de manera virtual o presencial para conocer la frecuencia de cambio de exámenes asignados.	$\frac{FCE}{N}$
Frecuencia de inconformidad	Medir cualitativamente la frecuencia con la que los estudiantes de las carreras de ingeniería de la universidad tienen inconformidades con la asignación de los exámenes.	Se encuestó a los estudiantes de manera virtual o presencial para conocer la frecuencia de inconformidades.	$\frac{FIE}{N}$
Frecuencia de postergación	Medir el nivel de frecuencia con la que los exámenes son postergados.	Se encuestó a los estudiantes de manera virtual o presencial para saber si se ha presentado exámenes fuera de las semanas programadas.	$\frac{PE}{N}$
Cumplimiento de docentes	Medir el nivel de cumplimiento de los profesores de la universidad, con respecto a la asignación de exámenes.	Se encuestó a los profesores de manera virtual o presencial para conocer el cumplimiento en la asignación de los exámenes.	$\frac{CP}{N}$
Percepción de docentes	Medir la percepción por parte de los profesores de la universidad, con respecto a si la asignación actual de exámenes afecta negativamente el rendimiento de los estudiantes.	Se encuestó a los profesores de manera virtual o presencial para conocer la percepción de la afectación negativa sobre la asignación de exámenes.	$\frac{SP}{N}$
Estudiantes con dos o más exámenes en un mismo día	Medir en la asignación de exámenes establecida por la facultad de ingeniería, la ocurrencia de casos en que un estudiante tuvo dos exámenes o más en un mismo día.	Por medio de la asignación de exámenes de la facultad de ingeniería y ciencias y el listado de matrícula de cada estudiante de Ingeniería Industrial, se cuenta cuantas veces un estudiante tuvo dos o más parciales en un mismo día, en las 3 semanas de exámenes que hubo a lo largo del semestre.	$\frac{\#PD}{N'}$
Estudiantes con dos o más exámenes en días consecutivos	Medir en la asignación de exámenes establecida por la facultad de ingeniería, la ocurrencia de casos en que un estudiante tuvo dos exámenes o más en días consecutivos.	Por medio de la asignación de exámenes de la facultad de ingeniería y ciencias y el listado de matrícula de cada estudiante de ingeniería industrial, se cuenta cuantas veces un estudiante tuvo dos o más parciales en días consecutivos, en las 3 semanas de exámenes que hubo a lo largo del semestre.	$\frac{\#PC}{N'}$

B. Exploración del mercado

Una vez realizada la encuesta dirigida a los estudiantes, en la que participaron en total 456 personas, se prosiguió a presentar los resultados obtenidos con el fin de conocer la percepción actual de los encuestados con respecto a la asignación de los exámenes y así mismo identificar posibles oportunidades de mejora.

A continuación, en la Fig. 2, se presenta la participación de los encuestados según la carrera a la que pertenecen.

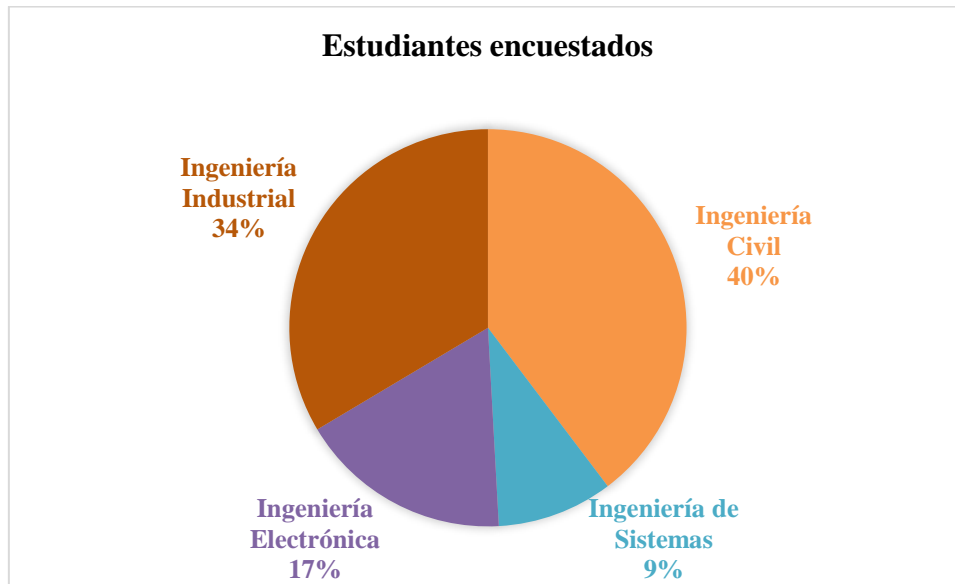


Fig. 2. Estudiantes encuestados según la carrera a la que pertenecen.

Puede observarse que los porcentajes más altos de participación corresponden a las carreras de ingeniería Civil e Industrial, ya que de los 456 estudiantes que participaron, 181 pertenecen a la carrera de Ingeniería Civil, 153 pertenecen a Ingeniería Industrial, 79 a Ingeniería Electrónica y finalmente 43 a Ingeniería de Sistemas, esta participación va de acuerdo a la estratificación descrita en el apartado A (Plan de recolección de datos), en el cual se estableció un tamaño de muestra mínimo de 226 estudiantes en total.

Seguidamente, en la Fig. 3, se presenta la proporción de los diferentes niveles de satisfacción percibido por parte de los estudiantes con respecto a la asignación actual de los exámenes.

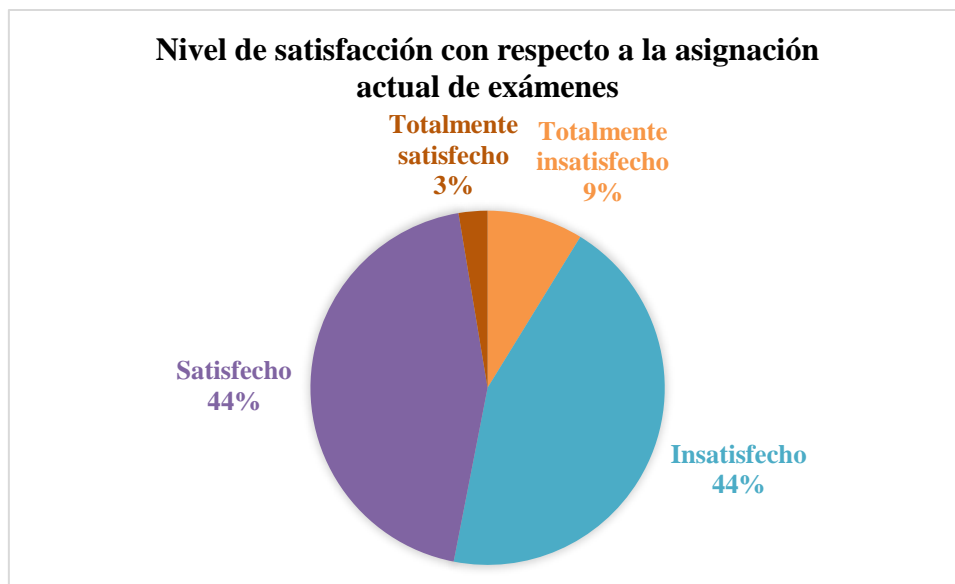


Fig. 3. Satisfacción de los estudiantes.

Puede notarse que más del 50% de los estudiantes manifiestan estar insatisfechos con la programación actual de parciales que realiza la facultad de Ingeniería. Esto puede reflejar una oportunidad para implementar el proyecto de una manera innovadora por medio del desarrollo de un modelo matemático que asigne los parciales equilibrando la carga académica con el fin de satisfacer los deseos o necesidades que tiene la población estudiantil.

Por otra parte, en la Fig. 4, se muestra la manera en que se distribuyen las respuestas que dieron los estudiantes a la pregunta que consistía en saber si estaban o no de acuerdo con que la asignación de exámenes afecta negativamente su rendimiento académico.

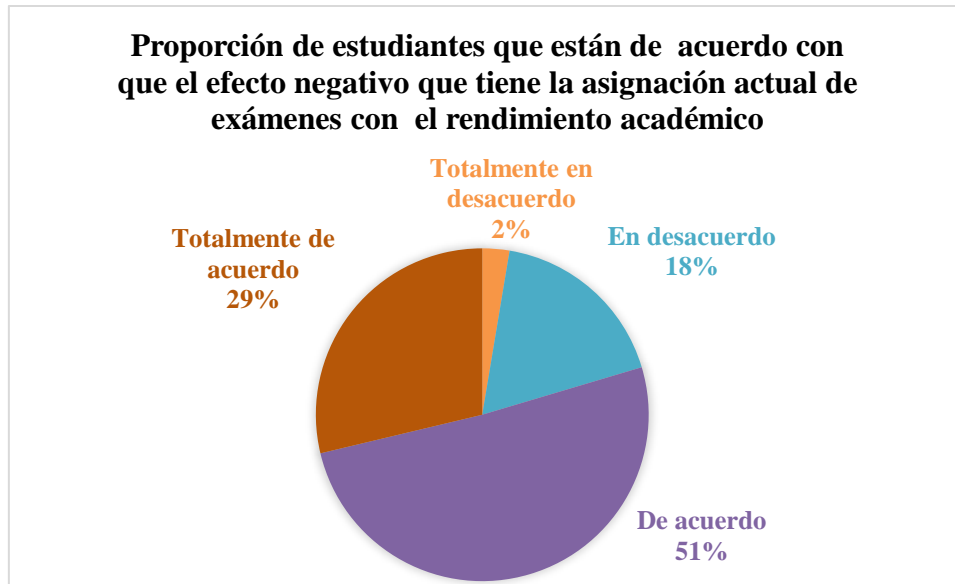


Fig. 4. Percepción de si la carga académica puede afectar el rendimiento académico.

Según estos resultados, puede apreciarse que más del 75% de los encuestados afirman estar de acuerdo con que la forma en que se han asignado los exámenes hasta el momento ha afectado negativamente su rendimiento académico. Lo cual reafirma que debe considerarse la implementación de un programa capaz de fijar las fechas de los exámenes de manera equidistante para evitar el impacto negativo de estas en el rendimiento.

Para saber los diferentes niveles de frecuencia con el que los profesores hacen cambios solicitados por los mismos estudiantes en la fecha de los exámenes, se presenta un diagrama de tortas mostrado en la Fig. 5.

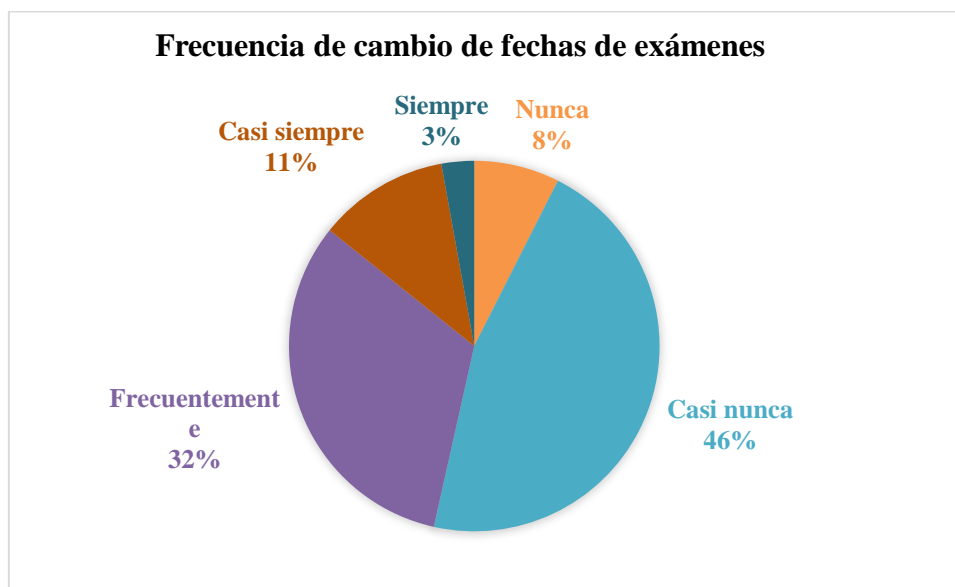


Fig. 5. Proporción de la frecuencia en que se modifican las fechas de los exámenes.

Se observa que aproximadamente el 46% de los encuestados declaran que sus profesores casi nunca cambian la fecha de los exámenes previamente programados y el 32% afirman que frecuentemente hacen este tipo de cambios.

Por otro lado, las diferentes alternativas para la asignación de los parciales que prefieren los encuestados se muestran en la Fig. 6.

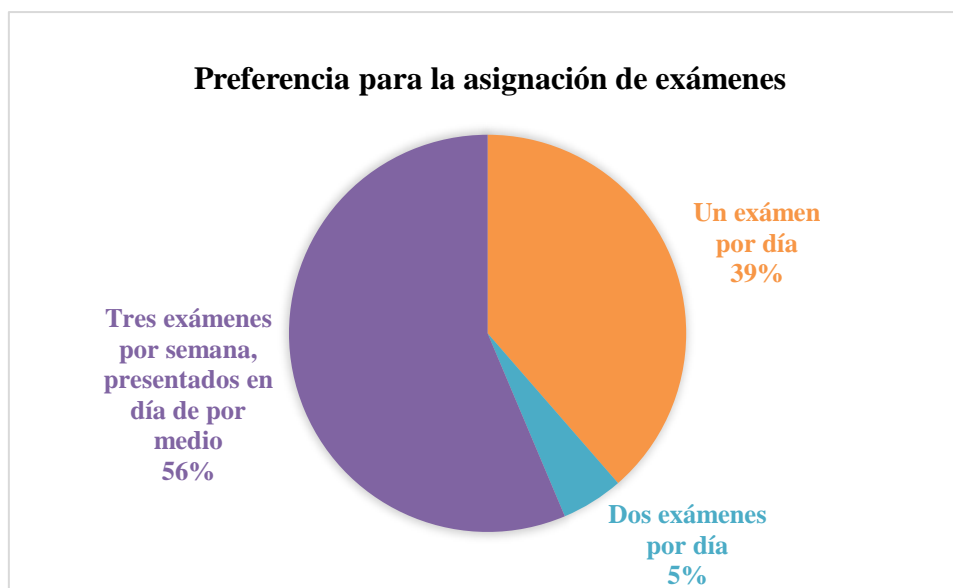


Fig. 6. Percepción de los estudiantes acerca de cómo preferirían la asignación de exámenes.

De acuerdo con el gráfico mostrado en la Fig. 6, se puede notar que la mayoría de los estudiantes prefieren que sus exámenes sean asignados en tres días equidistantes a la semana, y el 39% prefieren un examen por día. Esto afirma una vez más la importancia que tiene la implementación de un sistema que programe los exámenes de tal manera que cumpla las preferencias de los estudiantes.

Finalmente, para concluir con los resultados de la encuesta, en la Fig. 7, se muestra el nivel de frecuencia con las que los parciales son asignados por fuera de las dos semanas establecidas por la PUJ – Cali según los estudiantes encuestados

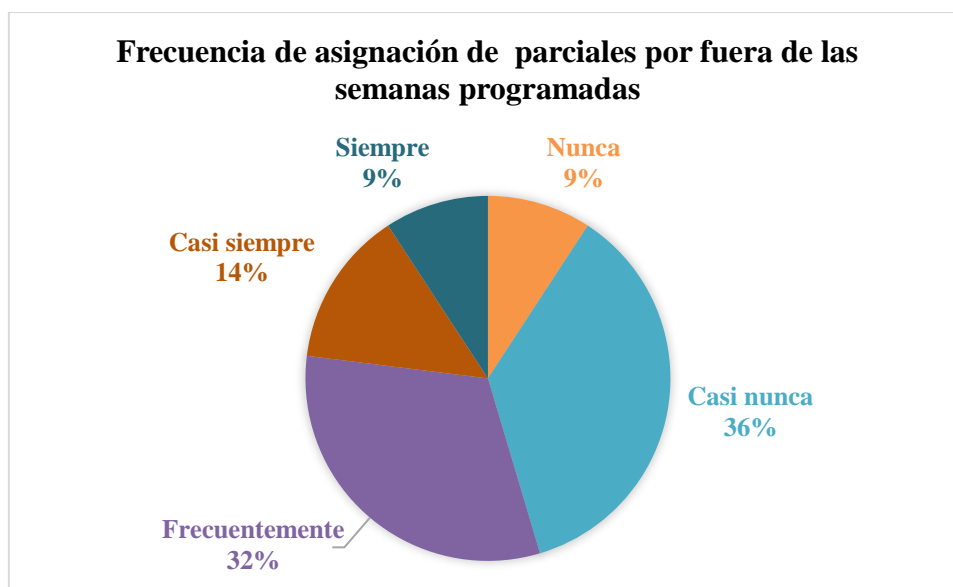


Fig. 7. Porcentajes de la frecuencia en que los exámenes han sido asignados fuera de las dos semanas establecidas.

De acuerdo con esta gráfica, se puede observar que más de la mitad de los estudiantes encuestados han tenido que presentar exámenes en semanas diferentes a las previamente establecidas por la universidad.

Después de haber conocido lo que pensaban los estudiantes en relación con la asignación actual de exámenes, fue necesario revisar los diferentes registros suministrados por la secretaria de la Facultad, con el fin de conocer la manera real en que están

distribuidos los parciales en la Facultad de ingeniería y ciencias de la PUJ – Cali. En este orden de ideas, se decidió escoger únicamente a la carrera de ingeniería industrial, debido al poco tiempo y a los diferentes limitantes y trámites para acceder a la información de las demás carreras planteadas en este proyecto.

Inicialmente se tomó como base los últimos cuatro periodos académicos (2017-2, 2018-2, 2018-1 y 2019-1), para luego solicitar el acceso a la información relacionada a la cantidad de estudiantes matriculados en ingeniería industrial y también los diferentes cursos que matriculó cada estudiante durante los periodos mencionados. Teniendo previo acceso a la programación de parciales de la facultad, se filtraron los cursos propios de la carrera de ingeniería industrial, considerando los diferentes pñsums, para luego organizarlos según los días en los que presentaban examen. Posteriormente, se organizaron los cursos cuyos exámenes se realizaban el mismo día y los que se realizaban en dos días consecutivos con el fin de filtrar a los estudiantes que estaban matriculados en dichos cursos. Los resultados se resumen en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

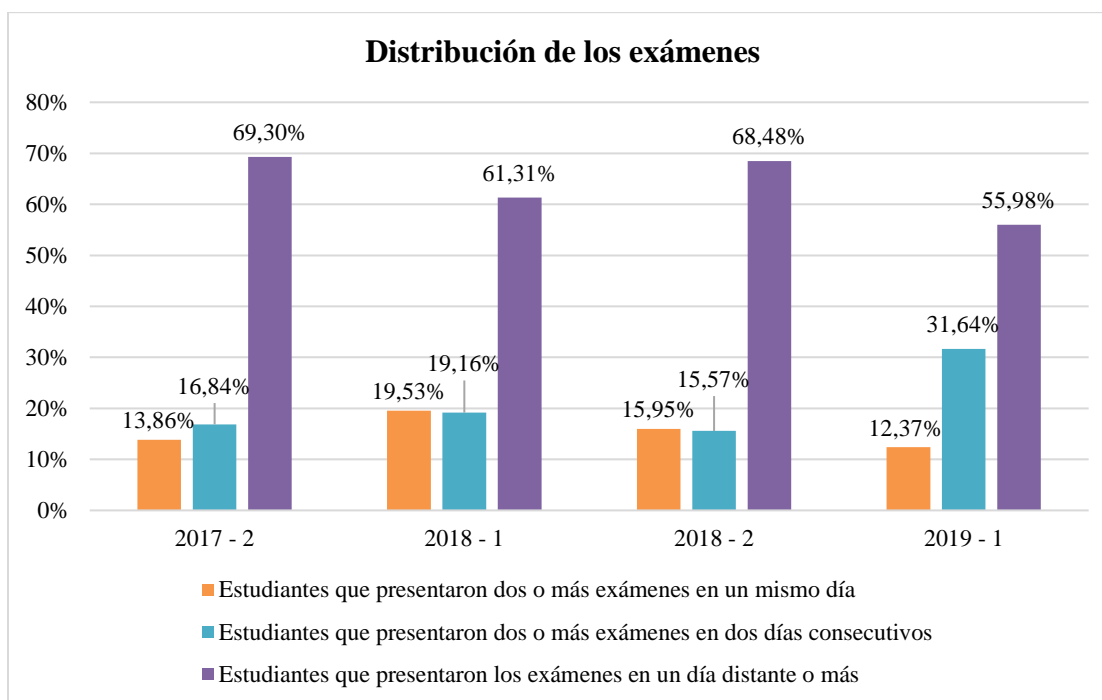


Fig. 8 Porcentajes de estudiantes que siguieron cada distribución de exámenes en los últimos cuatro periodos

Puede observarse que, en cada periodo analizado, la cantidad de estudiantes que realizaron dos o más exámenes en un mismo día y/o en dos días consecutivos superaba el 30% del total de matriculados. Gracias a esta información se puede reconocer la importancia de la implementación de un programa de asignación de exámenes que logre distribuirlos de manera equidistante.

Los profesores son igualmente actores importantes en el proyecto, por lo tanto, a continuación, se presentan los resultados de la encuesta en la que participaron 37 docentes de la Facultad. En la Fig. 9 se presenta la proporción de profesores que están de acuerdo con el hecho de que la asignación de exámenes afecta negativamente el rendimiento académico de los estudiantes.

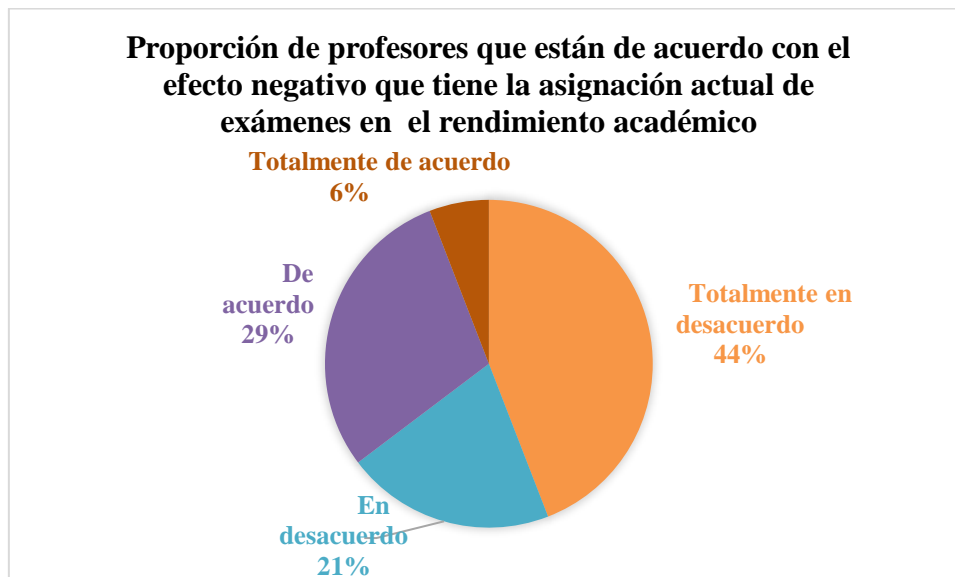


Fig. 9 Percepción de si la carga académica puede afectar el rendimiento académico

De acuerdo con esta gráfica, se puede evidenciar que más de la mitad de los profesores está en desacuerdo con el efecto negativo de la asignación de exámenes en el rendimiento académico de los estudiantes.

Adicionalmente, en la Fig. 10 se presenta el nivel de frecuencia con el que los profesores cumplen con la asignación de exámenes propuesta por la Facultad.



Fig. 10 Porcentajes de la frecuencia de cumplimiento de asignación de exámenes

Se puede observar que el nivel de frecuencia está distribuido proporcionalmente entre las opciones de “Siempre”, “Casi siempre”, “Frecuentemente” y “Casi nunca”.

Por otra parte, para verificar la existencia de una oportunidad de mejoramiento se realizó un análisis DOFA, ya que esta muestra cuales son las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que tiene el proyecto, permitiendo tener una visión global de la situación que se tiene para tomar decisiones asertivas. Si se conocen las debilidades, se pueden definir estrategias que ayuden a cubrir puntos críticos, y a su vez, puede ayudar a definir en qué parte se está fallando para mejorar. Las oportunidades, por su parte, ayudan a determinar aquellas cosas que se pueden aprovechar para realizar un proyecto exitoso. Las fortalezas muestran todo lo que se tiene y se puede explotar para alcanzar los objetivos establecidos. Finalmente, al identificar las posibles amenazas se pueden desarrollar estrategias que ayuden a afrontar aquellas situaciones que se puedan presentar.

A continuación, en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.11**, se presenta la matriz DOFA.



Fig. 11 Análisis DOFA

En la TABLA VIII, se presentan los resultados de los indicadores de acuerdo con las encuestas realizadas a docentes y estudiantes de la facultad de ingeniería y ciencias de la PUJ – Cali.

TABLA VIII
RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

Variable	Actualidad	Meta
Satisfacción	El 46,9% de la población total de estudiantes encuestados de la universidad, declaran que se sienten “satisfechos” con la asignación de exámenes que se presenta actualmente. Este porcentaje está constituido por el 2,6% que declararon sentirse “totalmente satisfechos” y el 42,3% que declaro sentirse “satisfecho”.	Aumentar el nivel de satisfacción por parte de los estudiantes con respecto a la asignación de exámenes.
Percepción del rendimiento	El 79,6% de la población total de estudiantes encuestados de la universidad, declaran que la asignación de exámenes “afecta negativamente su rendimiento académico”. Este porcentaje está constituido por el 28,7% que declaro estar “totalmente de acuerdo” y el 50,9% que declaro estar “de acuerdo”.	Disminuir el número de estudiantes que declaran que la asignación de exámenes afecta negativamente su rendimiento académico.
Frecuencia de cambio	El 46,4% de la población total de estudiantes encuestados de la universidad, declaran que “frecuentemente” los profesores cambian la asignación de los exámenes previamente programados. Este porcentaje está constituido por el 2,8% que declaro que “siempre”, el 11,4% que declaro que “casi siempre” y el 32, 2% que declaro que “frecuentemente” cambian la asignación de exámenes.	Disminuir el número de profesores que cambian la asignación de exámenes previamente programados para los estudiantes.
Frecuencia de inconformidad	El 53,1% de la población total de estudiantes encuestados de la universidad, declaran que tienen “inconformidades” con la asignación de exámenes que se presenta actualmente. Este porcentaje está constituido por el 8,8% que declaro sentirse “totalmente insatisfecho” y el 44,3% que declaro sentirse “insatisfecho” con la asignación de exámenes.	Disminuir las inconformidades por parte de los estudiantes con respecto a la asignación de exámenes
Frecuencia de postergación	El 46,4% de la población total de estudiantes encuestados, declaran que han tenido “postergación” de los exámenes fuera de las semanas previamente programadas. Este porcentaje está constituido por el 2,8% que declaran que “siempre”, el 11,4% que declaran que “casi siempre” y el 32,2% que declaran que “frecuentemente” los profesores cambian las fechas de los exámenes previamente asignadas.	Reducir en los estudiantes, la postergación de exámenes fuera de las semanas previamente programadas.
Cumplimiento de docentes	El 76,47% de los profesores declaro que cumplen a cabalidad la asignación de exámenes brindada por la facultad. Este porcentaje está constituido por el 26,47% de los profesores que siempre cumplen a cabalidad la asignación, un 26,47% que casi siempre y un 23,52% que frecuentemente lo hacen.	Aumentar el porcentaje de profesores que cumplen a cabalidad la asignación de exámenes brindada por la facultad.
Percepción de docentes	El 35,24% de los profesores de la facultad declaro que sienten que la asignación actual de exámenes puede afectar negativamente el rendimiento académico de los estudiantes. Este porcentaje está constituido por un 5,88% que está totalmente de acuerdo y un 29,41% que está de acuerdo con la hipótesis.	Reducir el porcentaje de profesores que declara sentir que la asignación actual de exámenes afecta negativamente el rendimiento académico de los estudiantes.
Estudiantes con dos o más exámenes en un mismo día	El 12,37% de los estudiantes matriculados en ingeniería industrial en el semestre 2019-1 presentan dos o más parciales el mismo día.	Reducir la proporción de estudiantes que tienen dos o más parciales en un mismo día.
Estudiantes con dos o más exámenes en días consecutivos	El 31,64% de los estudiantes matriculados en ingeniería industrial en el semestre 2019-1 presentaron dos o más parciales en dos días consecutivos.	Reducir el porcentaje de estudiantes que tienen dos o más parciales en días consecutivos.

IV. ANALIZAR

A. Analizar

A partir de las encuestas, mencionadas en el apartado anterior y cuyo objetivo era conocer la percepción tanto de estudiantes como docentes de la PUJ-Cali acerca de la asignación actual de exámenes, se pretendió realizar un análisis estadístico para relacionar variables categóricas a través de la prueba de Chi-cuadrado con la herramienta Minitab. Dicho análisis organiza las variables en tablas de contingencia para realizar cruces entre estas de manera que se puedan obtener frecuencias absolutas. Es decir, se genera una matriz en la cual se presentan dos variables categóricas como por ejemplo ‘nivel de satisfacción’ y ‘percepción de

que afecta el rendimiento' con el fin de determinar el número de casos en los que se presentan ambas situaciones de acuerdo con las opciones de respuesta. Posteriormente, el estadístico de Chi-cuadrado permite determinar si las variables se encuentran asociadas entre sí o si, por el contrario, son independientes. Dichas asociación o independencia resulta al hacer la comparación entre las frecuencias obtenidas con las frecuencias esperadas, las cuales son calculadas por la herramienta estadística anteriormente mencionada. Es necesario tener en cuenta que el estadístico puede tener un error en el cálculo si más del 20% del total de las frecuencias tienen un valor menor a 5, es por ello que, al realizar el análisis en Minitab, fue necesario agrupar las respuestas que tenían 4 o 5 opciones de respuesta de manera tal que estas quedaran dicotómicas.

Las hipótesis que se establecieron para llevar a cabo el análisis junto con el p-valor calculado por Minitab se presentan en la TABLA IX y las pruebas de independencia que se realizaron para determinar la veracidad de las mismas se encuentran en el Anexo 5.

TABLA IX
HIPOTESIS DE INDEPENDENCIA

Nº	Hipótesis	P-valor	Decisión
1	Los estudiantes que se encuentran insatisfechos prefieren una asignación de tres parciales a la semana distribuidos entre las dos semanas de parciales.	0.619	No rechazo, son independientes
2	Con frecuencia las fechas de los exámenes que son cambiadas, también son asignadas fuera de las semanas establecidas para realizar los exámenes.	0.000	Rechazo, están asociadas
3	Los estudiantes cuya matrícula supera los diez créditos se encuentran insatisfechos con la asignación actual.	0.709	No rechazo, son independientes
4	Los estudiantes de noveno semestre están insatisfechos con la asignación actual.	0.000	Rechazo, están asociadas
	Los estudiantes de cuarto semestre están insatisfechos con la asignación actual.		
5	Los estudiantes de ingeniería civil consideran que la mala asignación de exámenes afecta negativamente su rendimiento académico.	0.001	Rechazo, están asociadas
	Los estudiantes de ingeniería de sistemas y computación consideran que la mala asignación de exámenes afecta negativamente su rendimiento académico.		
	Los estudiantes de ingeniería electrónica consideran que la mala asignación de exámenes afecta negativamente su rendimiento académico.		
	Los estudiantes de ingeniería industrial consideran que la mala asignación de exámenes afecta negativamente su rendimiento académico.		
6	Los estudiantes que se encuentran insatisfechos con la asignación actual consideran que esta afecta negativamente su rendimiento académico.	0.000	Rechazo, están asociadas
7	Los estudiantes que afirman estar de acuerdo en que la asignación actual afecta su rendimiento académico prefieren que dicha asignación sea de tres exámenes por semana distribuidos entre las dos semanas establecidas.	0.001	Rechazo, están asociadas
8	Los estudiantes que frecuentemente se quejan con los docentes por la cantidad de exámenes que tienen sugieren que estos cambien las fechas de los mismos.	0.044	Rechazo, están asociadas
9	Los docentes que reciben sugerencias de cambio de fecha de los exámenes por parte de los estudiantes están de acuerdo con estas.	0.026	Rechazo, están asociadas
10	Los docentes que opinan que el rendimiento académico de los estudiantes se ve afectado por la mala asignación de exámenes están de acuerdo con cambiar la fecha de los mismos.	0.003	Rechazo, están asociadas

De acuerdo con las pruebas de independencia de Chi-cuadrado realizadas a las hipótesis establecidas en la tabla anterior y teniendo en cuenta que si el p-valor fuese menor o igual al nivel de significancia (0,05) se rechaza la hipótesis de que las variables que se están estudiando son independientes, se presenta a continuación el análisis de los resultados obtenidos.

Para las hipótesis 1 y 3 las cuales hacen referencia a que los estudiantes que se encuentran insatisfechos prefieren una asignación de tres parciales distribuidos de forma equidistante entre las dos semanas establecidas para tal fin y que los estudiantes que matricularon más de 10 créditos se encuentran insatisfechos con la asignación actual, respectivamente, se determinó que la hipótesis no se rechazaba. Esto indica que no existe relación alguna entre las variables mencionadas y por ende no se puede afirmar que estas hipótesis sean ciertas.

Por otra parte, la prueba realizada a la relación entre las variables ‘cambio de fecha realizado por el docente’ con ‘exámenes realizados fuera de las semanas establecidas’ indicó que estas variables no eran independientes, por lo cual se puede decir que frecuentemente cuando se realizan cambios a las fechas de los exámenes por diferentes motivos, estos suelen realizarse por fuera de las semanas que se establecieron por la universidad para tal fin.

De igual manera, en las pruebas realizadas para verificar las hipótesis 4, 5, 6 y 7 las variables no eran independientes. Por ello se pudo identificar que los estudiantes de 4° y 9° semestre, de todas las carreras mencionadas en este estudio, son los que se encuentran más insatisfechos con la asignación actual de exámenes y que a su vez los estudiantes de dichas carreras consideran que esta asignación afecta negativamente su rendimiento académico. Asimismo, se logró confirmar que los estudiantes que consideran que su rendimiento se ve afectado preferirían que los exámenes fuesen asignados tres veces a la semana de manera equidistante entre las 2 semanas definidas para ello.

Finalmente, las pruebas realizadas para verificar las hipótesis 8, 9 y 10 indicaron que las variables analizadas no eran independientes, por lo cual se puede aseverar una asociación entre estas. A partir de esto se identificó que con frecuencia los estudiantes que se quejan con los docentes debido a que tienen exámenes consecutivos o en el mismo día les sugieren a estos que cambien la fecha de los mismos y que a su vez los docentes que reciben dichas sugerencias por lo general están de acuerdo con realizar los cambios. De igual forma, los docentes que opinan que el rendimiento académico de los estudiantes se ve afectado por la asignación inadecuada de las fechas de los exámenes están de acuerdo con hacer cambios en las mismas.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, se puede evidenciar la necesidad de implementar un modelo matemático que pueda asignar en un tiempo sensato las fechas de los exámenes y que cumpla con restricciones establecidas. Entre dichas restricciones, se tiene, por ejemplo, la asignación de manera equidistante entre las semanas establecidas por la universidad para reducir la insatisfacción de los estudiantes y que estos no perciban que esta trae repercusiones en su rendimiento académico.

B. Revisión de literatura

Los *timetabling problems* consisten en asignar un conjunto de eventos a un intervalo de tiempo determinado, limitado por unas restricciones [15] que, dependiendo del contexto del problema, dificultan su resolución y hace inviable que se use un método manual. Estos problemas son muy comunes en diferentes actividades, como, por ejemplo, asignación de puertas de embarque, asignación de enfermeras, asignación de rutas, asignación de aulas universitarias y asignación de exámenes universitarios [16].

La asignación de exámenes es una variación del *timetabling problem* que radica en programar un conjunto de parciales dentro de un determinado periodo de tiempo [17]. La Academia Mundial de Ciencia, Ingeniería y Tecnología, por medio de una revista internacional, propone un modelo matemático genérico de asignación para el problema de *timetabling*. En esta investigación, la función objetivo penaliza las asignaciones de exámenes en horarios no preferidos y por lo tanto, el modelo tratará de minimizar estas penalidades en su solución [1]. Así mismo, en este modelo existen dos tipos de tipos de restricciones: las suaves y las duras [18] [15]. Las restricciones duras (*Hard constraints*) deben cumplirse bajo cualquier circunstancia, por ejemplo, evitan que un estudiante tenga que presentar dos exámenes en la misma franja horaria. En cambio, las restricciones suaves (*Soft constraints*) se cumplen en la medida de lo posible, siendo de preferencia de alumnos o profesores.

En la literatura este problema ha sido abordado con diferentes métodos de solución, entre los cuales, se puede distinguir principalmente dos tipos: métodos exactos que garantizan el óptimo con un esfuerzo computacional alto y métodos iterativos de aproximación que ofrecen una solución “suficientemente buena” sin garantizar el óptimo y en un tiempo relativamente corto [1].

Por su parte, los métodos exactos son algoritmos que se utilizan en la resolución de problemas que, a través de técnicas analíticas o matemáticas, encuentran una solución óptima al problema propuesto. Diferentes investigadores han utilizado métodos exactos para solucionar *timetabling problems* debido a que en los problemas usados en sus investigaciones se logra encontrar la solución óptima en un tiempo computacional corto. Los métodos exactos más utilizados para resolver estos problemas han sido Programación Lineal Entera Mixta, Ramificación y Acotamiento, y Búsqueda Exhaustiva [19].

En todos los *timetabling problems* el tiempo de cómputo requerido se incrementa proporcionalmente a la cantidad de combinaciones posibles de cursos y horarios que se pueden asignar. En concreto, la investigación realizada por la Academia

Mundial de Ciencia, Ingeniería y Tecnología presenta un enfoque de búsqueda tabú en el cual se utilizó una instancia con 36 exámenes para asignar 8 posibles franjas horarias diarias obteniendo de esta manera un tiempo de cómputo de 0.06 s [1]. En cambio, en una investigación realizada en la Universidad de Concepción, Chile, se realizó la asignación de cursos para el primer semestre de 2006, mediante la formulación de modelos de programación lineal, para una universidad con 177 asignaturas en 13 periodos posibles por día obteniendo un tiempo de cómputo de 2081 segundos, siendo considerado extremadamente alto para un problema computacional [16].

No obstante, la obtención de una solución óptima a través de programación lineal entera mixta en un tiempo factible radica en los métodos de resolución que se aplique al modelo. Por ejemplo, en la Universidad de la Reina de Belfast, Irlanda del Norte, se llevó a cabo una investigación en la cual se utilizó la técnica de relajación que consiste en incorporar las restricciones que hacen compleja la resolución directa del problema, en la función objetivo del modelo para así disminuir el tiempo de cómputo requerido [15], de igual manera, otras investigaciones realizadas tanto en la Universidad de Carabobo, Venezuela [17], como en la universidad de Múnich, Alemania [20], utilizaron esta misma técnica.

Por otro lado, diferentes autores han abordado el problema descrito desde el enfoque métodos iterativos de aproximación debido a que en problemas de gran tamaño el tiempo computacional es inviable. Los métodos iterativos de aproximación resuelven los problemas partiendo de una solución inicial o conjunto de soluciones y mediante un algoritmo particular mejoran hasta un criterio de parada. En la práctica, estos algoritmos se utilizan en sustitución de métodos exactos debido a su alta eficiencia respecto al tiempo de cómputo y una aceptable precisión.

Por otra parte, la Universidad Sultán Zainal Abidin, Malasia, en la Revista internacional de ingeniería y tecnología, realizó una clasificación de los métodos de optimización utilizados para resolver el *examination scheduling*, obteniendo que, de 146 casos estudiados, en 19 de ellos se utilizaron métodos meta-heurísticos seguido del algoritmo genético usado en 13 ocasiones, mientras que la programación lineal se utilizó solo en 6 oportunidades [19].

Cabe resaltar que a pesar de la gran utilización que tienen los métodos iterativos de aproximación en la solución de los *timetabling problems*, la primera opción escogida para resolver el problema de asignación de exámenes en la PUJ-Cali es la programación lineal entera mixta. Dado que, en la literatura algunos problemas de asignación han sido solucionados con programación lineal en tiempos computacionales razonables a pesar de sus características y tamaño [21] [16] [17]. Adicionalmente, es incorrecto descartar la programación lineal como método de solución porque aún no se conoce el tamaño real del problema y su costo de implementación, y, por ende, no se puede asumir que este método no obtendrá una solución óptima en un tiempo computacional apropiado. Por lo tanto, en muchos casos los *timetabling problems* utilizan la programación lineal entera mixta como método de solución, sin embargo, en caso tal de que el tamaño del problema requiera un tiempo de cómputo muy grande, se afronta el problema con métodos de iterativos de aproximación como heurísticas o metaheurísticas.

C. Exploración De ideas y selección de alternativas

Con el objetivo de definir una alternativa de solución para la asignación de exámenes en la PUJ – Cali se utilizó el método de Disney, dado que es una técnica sencilla y fácil de aplicar. Esta metodología consiste en filtrar las ideas por tres fases, en las cuales en cada una de ellas se adopta un rol distinto (soñador, realista y crítico), aquellas ideas que pasen con éxito las tres fases se considerarán desarrollar para dar lugar a un nuevo producto y en este caso a la selección de la solución [22] [23]. Siendo así, en la siguiente Fig. 12 se presenta de manera gráfica el desarrollo de dicha metodología.



Fig. 12 Método Disney

En la Fig 12 puede observarse que, inicialmente, se asumió un rol soñador en el cual se dejó libre la imaginación y la creatividad, construyendo así una lluvia de ideas, teniendo en cuenta no cuestionar cada una de ellas.

Posteriormente, adaptando un rol realista como lo sugiere el método Disney, las propuestas listadas en la lluvia de ideas fueron examinadas de manera individual, evaluando qué tan posible es su implementación. Por lo tanto, las ideas de “cada profesor asigne sus exámenes” y “aumentar las semanas de parciales” se descartaron, puesto que no son posibles de implementar debido a que no cumplen con las regulaciones actuales del reglamento de la PUJ-Cali. Por otro lado, tampoco se tendrá en cuenta la idea de “contratar personal que diseñe un sistema de asignación”, dado que este proyecto tiene inmerso el personal que va a realizar esta función y no es necesario contratar personal externo.

Finalmente, asumiendo un rol crítico, las ideas restantes son analizadas, haciendo énfasis en las desventajas principales que cada una tiene. Por lo tanto, en el caso de los métodos exactos, tales como Divide y Vencerás y Programación Dinámica, a pesar de que sean metodologías usadas para resolver problemas de asignación, se descartan, puesto que se obtiene una respuesta factible pero no garantizan la solución óptima del problema debido a su complejidad [24]. Aunque el Método Húngaro, si asegura el óptimo, igualmente se descarta, puesto que es usado para problemas muy simples que comparten la estructura de un problema de transporte. Por otro lado, las metodologías iterativas de aproximación como Búsqueda Local y Algoritmos Codiciosos o Voraces, también se ajustan a problemas de asignación, sin embargo, se eliminan dado que su principal desventaja es que tienen una alta probabilidad de no encontrar la solución óptima [24], lo que las hace poco precisas. Por ende, los métodos resultantes para evaluar son: Búsqueda Exhaustiva, Programación Lineal Entera Mixta (Branch and Bound), Método Metaheurístico y Método Heurístico; cada una de estas alternativas son explicadas a continuación:

- **Búsqueda Exhaustiva:** consiste en generar y evaluar todas las posibles soluciones del problema de asignación en la Facultad dentro de un espacio de búsqueda factible. Para esta metodología es necesario simplificar lo más posible el problema, dado a que el número de combinaciones de las variables binarias sería de 2^n , lo que causa un consumo excesivo de tiempo de computo.

- Programación Lineal Entera Mixta (Branch and Bound): consiste en establecer la función objetivo y las restricciones del problema por medio de ecuaciones lineales de las variables de decisión enteras o binarias del problema de asignación en la Facultad.
- Método Metaheurístico y Método Heurístico: consisten en solucionar el problema de asignación mediante una estrategia iterativa basada en ingenio y en los conocimientos que se tienen sobre dicho problema. La diferencia entre ellos es que el metaheurístico tiene estrategias de escape a óptimos locales, mientras que el heurístico no.

Para iniciar la selección de la mejor alternativa, previamente se establecieron cuatro criterios importantes para la evaluación, el primero corresponde al costo, este es un factor importante, debido a que el valor de la licencia de los softwares se debe considerar al momento de solucionar el problema. El tiempo de cómputo es otro criterio vital, pues la eficiencia del problema depende de cuánto tiempo tarde el programa en resolverlo. Adicionalmente, la facilidad de planteamiento es conveniente considerarla como un criterio, debido a que se trata de un proyecto de pregrado y los conocimientos de los integrantes del equipo están al alcance de un nivel de pregrado. Finalmente, la precisión es un criterio fundamental dado a que es una característica primordial que debe tener el método para que garantice la solución óptima o una cercana a ella.

Con el fin de comparar cada método según un criterio se realizó una entrevista [Anexo 6] a tres docentes de la PUJ - Cali especialistas y con experiencia en el campo de investigación de operaciones. En dicha entrevista los profesores, basados en su experiencia profesional, respondieron a cuatro preguntas (cada una de ellas enfocadas en un criterio), en la cuales comparaban las cuatro alternativas propuestas según el criterio. Dicha comparación se definió mediante una escala de medición en la cual el valor uno representaba una calificación positiva y cinco una negativa, la escala para cada criterio se puede apreciar en la siguiente TABLA X.

TABLA X
ESCALA DE MEDICIÓN DE CRITERIOS

Criterio	Calificación				
	1	2	3	4	5
Costo	Muy económico	Económico	Costoso	Relativamente costoso	Muy costoso
Tiempo de computo	Muy poco tiempo	Poco tiempo	Tiempo considerable	Mucho tiempo	Demasiado tiempo
Facilidad de planteamiento	Muy fácil	Fácil	Regular	Difícil	Muy difícil
Precisión	Muy preciso	Preciso	Medianamente preciso	Poco preciso	Impreciso

En la Tabla XI se muestra un resumen del resultado de las encuestas, el cual se obtuvo por medio del promedio de las respuestas que dieron cada uno de los encuestados.

TABLA XI
VALORACIÓN DE ALTERNATIVOS SEGÚN CRITERIOS

Alternativa	Criterio			
	Costo	Tiempo de cómputo	Facilidad de planteamiento	Precisión
Búsqueda exhaustiva	1	4	1	2
Programación Lineal Entera Mixta (Branch and Bound)	4	4	3	1
Metaheurístico	1	2	3	3
Heurístico	1	1	2	4

Una vez establecidos los criterios y las alternativas, se prosigue seleccionar la mejor, para ello, inicialmente se determinó la importancia relativa de cada criterio, al igual que la comparación de alternativas por criterio y posteriormente se realizó la matriz AHP (presentada en el Anexo 7). En la TABLA XII, se presenta los resultados obtenidos de la herramienta AHP, con base a esta información, se puede concluir que la mejor alternativa para asignar los exámenes en la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la PUJ – Cali es mediante la aplicación de la Programación Lineal Entera mixta, puesto que obtuvo el mayor porcentaje de preferencia (28,54%). Es necesario aclarar que esta metodología no es la definitiva para solucionar el problema de asignación de la PUJ - Cali, es decir que hace parte de una estrategia de solución, en la cual inicialmente se considerará afrontar el problema mediante métodos exactos. Sin embargo, dado el caso en el que estos métodos no funcionen eficientemente, se decidirá optar por los métodos iterativos, considerando como primera opción los heurísticos dado el alcance del proyecto.

TABLA XII
RESULTADOS DE LA MATRIZ AHP

Alternativa	Total	Mejor alternativa
Búsqueda Exhaustiva	25,08%	Programación Lineal Entera Mixta (Branch and Bound)
Programación Lineal Entera Mixta (Branch and Bound)	28,54%	
Metaheurístico	21,17%	
Heurístico	25,21%	

D. Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema de apoyo a la toma de decisiones para aumentar el nivel de satisfacción de los estudiantes respecto a la asignación de exámenes en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana Cali mediante la programación lineal entera mixta.

Objetivos específicos

1. Establecer las restricciones del proceso de asignación de exámenes mediante la caracterización del sistema actual de la Facultad de Ingeniería y Ciencias.
2. Proponer un modelo matemático que resuelva el problema de la asignación de exámenes en la facultad optimizando los indicadores establecidos.
3. Crear una estrategia de solución computacional para el modelo planteado que satisfaga las restricciones.
4. Validar los resultados del modelo con el fin de aumentar el indicador de satisfacción de los estudiantes y disminuir la cantidad de exámenes que presenta un estudiante en un mismo día.

E. Plan de trabajo

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**III se encuentran las diferentes actividades asociadas a cada uno de los objetivos específicos y los entregables que verifican el cumplimiento de cada una de las actividades. Cada entregable tiene una fecha máxima de entrega que deberá cumplirse.

³ Sistema: el sistema de apoyo consiste en realizar un programa computacional que sea capaz de convertir los resultados obtenidos por el modelo en un lenguaje que una persona con poco conocimiento sobre modelación matemática pueda comprender fácilmente.

TABLA XIII
PLAN DE TRABAJO

Objetivo General						
Diseñar un sistema de apoyo a la toma de decisiones para aumentar el nivel de satisfacción de los estudiantes respecto a la asignación de exámenes en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana Cali mediante la programación lineal entera mixta.						
Objetivo específico	Actividades	Área IISE	Herramienta	#	Entregable	Fecha
1. Establecer las restricciones del proceso de asignación de exámenes mediante la caracterización del sistema actual de la Facultad de Ingeniería y Ciencias.	1.1 Recolectar y organizar la información	11. Information Engineering	Encuestas	C	Caracterización de la información del sistema actual	31/01/2020
	1.2 Establecer las restricciones del sistema.	11. Information Engineering	Voice Costumer	D	Listado de restricciones del modelo	07/02/2020
2. Proponer un modelo matemático que resuelva el problema de la asignación de exámenes en la facultad optimizando los indicadores establecidos.	2.1 Realizar el planteamiento del modelo de asignación de exámenes	2. Operations Research & Analysis	Modelo de asignación	D-1	Definir los parámetros, variables y restricciones del modelo de asignación.	28/02/2020
3. Crear una estrategia de solución computacional para el modelo planteado que satisfaga las restricciones.	3.1 Definir el programa computacional que solucionará el modelo.	2. Operations Research & Analysis	Programación Lineal	B	Programa computacional	13/03/2020
	3.2 Ajustar en el programa los parámetros, variables y restricciones del modelo.	2. Operations Research & Analysis	Modelo de asignación	D-1	Ajustar el modelo matemático en el programa y correrlo	03/04/2020
	3.3 Correr el modelo en el programa computacional.	2. Operations Research & Analysis	Programación Matemática	B		10/04/2020
4. Validar los resultados del modelo con el fin de aumentar el indicador de satisfacción de los estudiantes y disminuir la cantidad de exámenes que presenta un estudiante el mismo día.	4.1 Analizar los resultados del modelo.	5. Quality & Reliability Engineering	Estadísticas	B	Comparación del antes y el después del modelo matemático	24/04/2020
	4.2 Validar si los indicadores propuestos aumentaron con los resultados del modelo	5. Quality & Reliability Engineering	Verificación	I-9-e	Sistema de asignación de exámenes	01/05/2020

V. DISEÑAR

A. Desarrollo del diseño de la solución

La Facultad de Ingeniería y Ciencias de la PUJ-Cali, además de sus múltiples labores, se encarga de realizar la programación de exámenes parciales de las carreras que le pertenecen. El presente proyecto tuvo únicamente en cuenta a la carrera de Ingeniería Industrial para realizar de manera automatizada la asignación de dichos exámenes. Para ello se diseñó un modelo matemático de programación lineal en el que el problema central es disminuir el número de exámenes asignados en horarios y/o días consecutivos que un estudiante presenta en cada semestre, con el fin de disminuir la carga académica y aumentar su satisfacción con respecto a la asignación de exámenes.

Con el fin de comprender el funcionamiento de la facultad con relación a las carreras que ofrece, se realizan las siguientes descripciones:

- La carrera de Ingeniería Industrial tiene una duración de 10 semestres y cuenta con su propia malla curricular, en la cual está descrito el orden de las asignaturas que el estudiante debe cursar a lo largo de su vida universitaria. Aunque cada carrera cuenta con su propio núcleo fundamental (asignaturas propias de la disciplina), existen algunas asignaturas que comparten durante los primeros cuatro semestres, las cuales pertenecen a los departamentos de Ciencias Naturales y Matemáticas y Humanidades y Ciencias Sociales.
- En cada semestre se dictan en promedio 6 asignaturas, las cuales, según la cantidad de estudiantes se pueden fraccionar en varios cursos que pueden verse como mínimo una vez a la semana o tres veces a la semana como máximo, dependiendo del número de créditos que tiene cada uno.
- Las clases tienen una duración de mínimo dos horas y máximo tres horas, en su mayoría de veces, se dictan de lunes a viernes, sin embargo, algunas se dictan los sábados.
- Para cada curso que se ofrece, los horarios de clase deben respetar el mismo patrón horario para cada semana del semestre.
- La mayoría de los cursos realizan tres parciales durante el semestre, los cuales se distribuyen dentro de las dos semanas establecidas por la Universidad para cada uno de los tres cortes académicos.

Por otra parte, para el desarrollo del modelo se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El modelo propuesto, no asignó los exámenes de las asignaturas que se comparten con las demás carreras, como es el caso de: Fundamentos de matemáticas, Cálculo Diferencial, Álgebra Lineal, Cálculo Integral, Cinemática y Dinámica, Cálculo Multivariable, Física Térmica y Ondulatoria y Ecuaciones Diferenciales. Debido a que dicha asignación de exámenes es programada directamente por el Departamento de Ciencias Naturales y Matemáticas, por lo tanto, no es posible su modificación.
- Igualmente, no se asignaron los exámenes de las asignaturas como: Expresión Oral y Escrita, Humanidades I, Teología I, Teología II, Humanidades II, Constitución Política y Democracia y Ética, ya que dichas asignaturas no pertenecen a la Facultad de Ingeniería y Ciencias, sino a la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales.
- Se tuvieron en cuenta únicamente los cursos cuyos exámenes son planeados dentro de las dos semanas de parciales establecidas por la Universidad.
- No se tuvieron en cuenta las asignaturas que dentro de su Syllabus no esté programado la realización de exámenes parciales como parte de su calificación.
- No se tuvieron en cuenta las asignaturas que se matriculan como electiva, parte de la opción complementaria o como parte del énfasis.
- El modelo se desarrolló con datos del semestre 2020-1, debido a que fue la única información disponible.

Consideraciones de conjuntos:

- Los elementos del conjunto de asignaturas están definidos por el código de cada una.
- Los elementos del conjunto de cursos están definidos por el número de clase.
- Para el conjunto de franja horaria académica se consideraron todos los patrones horarios disponibles para el semestre 2020-1. Es decir, se tuvo en cuenta tanto las franjas de dos horas como la de tres horas, componiendo el conjunto con un total de 13 elementos, en el cual, el valor de cada elemento corresponde a una franja horaria determinada.
- Se consideran 6 días de clases, de lunes a sábado.
- Se consideran dos semanas de parciales para cada corte académico (3 cortes), las cuales son establecidas por la universidad.

Teniendo en cuenta todo lo descrito anteriormente a continuación se presenta el modelo matemático. Definiendo, inicialmente, los conjuntos con la notación utilizada y su respectiva definición. Asimismo, se presentan los parámetros y variables binarias utilizadas. Finalmente, se muestran los requerimientos tanto suaves como fuertes incorporados dentro de la función objetivo y dentro del grupo de restricciones a las que está sujeto el modelo.

Modelo de programación lineal entera mixta

Asignación Propuesta

Conjuntos:

- $S = \{1, \dots, s, \dots, S_F\}$ semestres académicos.
- A_s : asignaturas a descritas en el pensum, las cuales son ubicadas en el semestre académico $s \in S$.
- C_a : cursos c que pertenecen a cada asignatura $a \in A_s$.
- $H = \{1, \dots, h, \dots, H_F\}$ franja horaria académica (descripción completa en la sección de consideraciones de conjuntos).
- $D = \{1, \dots, d, \dots, D_F\}$ día de clase (descripción completa en la sección de consideraciones de conjuntos).
- $W = \{1, \dots, w, \dots, W_F\}$ semana de evaluación (descripción completa en la sección de consideraciones de conjuntos).

Parámetros:

- HR_{sachd} = Parámetro binario, toma el valor de 1 cuando en el día d en el horario h se dicta el curso c que pertenece a la asignatura a del semestre s , 0 de lo contrario. Horario académico en el semestre s de la asignatura a , del curso c que se dicta el día d en el horario h .
- SEM_EX_w = Semana w en la que se realiza el examen. Entero

Variables Binarias:

- X_{sachdw} = 1 si en el semestre s el examen del curso c que pertenece a la asignatura a es asignado en el horario h del día d en la semana w , 0 de lo contrario.
- HED_{sadv} = 1 si en el semestre s hay algún examen asignado de la asignatura a en el día d en la semana w , 0 de lo contrario
- DC_{sdw} = 1 si en el semestre s hay algún examen asignado en un día consecutivo a d en la semana w , 0 de lo contrario.
- HEH_{sahdw} = 1 si en el semestre s hay algún examen asignado de la asignatura a en el horario h del día d en la semana w , 0 de lo contrario.
- $HC1_{shdw}$ = 1 si en el semestre s hay algún examen asignado en una franja horaria posterior a h del día d en la semana w , 0 de lo contrario.
- $HC2_{shdw}$ = 1 si en el semestre s hay algún examen asignado en dos franjas horarias posteriores a h del día d en la semana w , 0 de lo contrario.
- $HC3_{shdw}$ = 1 si en el semestre s hay algún examen asignado en tres franjas horarias posteriores a h del día d en la semana w , 0 de lo contrario.

En la siguiente TABLA XIV, se muestra gráficamente las variables $HC1_{shdw}$, $HC2_{shdw}$ y $HC3_{shdw}$

TABLA XIV
VARIABLES HC1, HC2 y HC3

Día	
7:00 - 9:00 am	Examen asignado (Base)
9:00 - 11:00 am	Asignación de examen en un horario consecutivo (HC1)
11:00 - 1:00 am	Asignación de examen en dos horarios consecutivos (HC2)
2:00 - 4:00 am	Asignación de examen en tres horarios consecutivos (HC3)

Modelo:

El modelo busca minimizar tanto la cantidad de exámenes que se presentan en días consecutivos como la cantidad de exámenes que se presentan en horarios consecutivos. En la función objetivo (4) se asigna una penalidad diferente a cada variable, dependiendo del efecto que tiene cada una sobre la carga académica, tal como se muestra en la siguiente TABLA XV.

TABLA XV
PENALIDADES EN LA FUNCIÓN OBJETIVO

Variable	Penalidad
DC_{sdw}	Se asigna una penalidad de 1, ya que una asignación en días consecutivos afecta en menor proporción la carga académica del estudiante.
$HC3_{shdw}$	Se asigna una penalidad de 2.
$HC2_{shdw}$	Se asigna una penalidad de 3.
$HC1_{shdw}$	Se asigna una penalidad de 5, siendo esta la más alta, ya que presentar un examen inmediatamente después de otro en el mismo día afecta significativamente la carga académica del estudiante.

Es importante aclarar que, los valores de penalidad escogidos se pueden modificar bajo el juicio de expertos o estudios que midan, en mejor magnitud, cómo afecta la asignación de exámenes en un mismo día con respecto a la asignación de exámenes en días consecutivos y equidistantes.

Función Objetivo:

$$\sum_{s \in S} \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} DC_{sdw} + \sum_{s \in S} \sum_{h \in H} \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} HC3_{shdw} * 2 + \sum_{s \in S} \sum_{h \in H} \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} HC2_{shdw} * 3 + \sum_{s \in S} \sum_{h \in H} \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} HC1_{shdw} * 5 \quad (4)$$

Minimizar: CARGA CADEMICA:

Sujeto a las siguientes restricciones:

- Garantizar que se asigne un examen por curso dentro de las dos semanas establecidas.

$$\sum_{h \in H} \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} X_{sachdw} = 1 \quad \forall s \in S, a \in A_s, c \in C_a \quad (5)$$

- Garantizar que los exámenes asignados cumplan con el horario establecido del curso.

$$\sum_{w \in W} X_{sachdw} \leq HR_{sachd} \quad \forall s \in S, a \in A_s, c \in C_a, h \in H, d \in D \quad (6)$$

- Permitir la asignación de exámenes de varios cursos pertenecientes a la misma asignatura en un día d . con el fin de que, la variable HED_{sadw} tome el valor de 1 cuando se presente dicha situación, ya que, dicha variable permitirá el conteo de la asignación de exámenes de cursos de distintas asignaturas en un mismo día

$$\sum_{c \in C} \sum_{h \in H} X_{sachdw} \leq HED_{sadw} * M \quad \forall s \in S, a \in A_s, d \in D, w \in W \quad (7)$$

- Cuantificar la asignación de exámenes de distintas asignaturas en días consecutivos.

$$HED_{sadw} + HED_{sar d+1w} \leq DC_{sdw} + 1 \quad \forall s \in S, a \in A_s, d \in D/\{D_F\}, w \in W, a \neq a' \quad (8)$$

$$DC_{sdw} \leq HED_{sadw} \quad \forall s \in S, a \in A_s, d \in D/\{D_F\}, w \in W \quad (9)$$

$$DC_{sdw} \leq HED_{sar d+1w} \quad \forall s \in S, a \in A_s, d \in D/\{D_F\}, w \in W, a \neq a' \quad (10)$$

D_F no se tiene en cuenta en esta restricción, puesto que corresponde a un subíndice inválido dentro del conjunto D (días de clase). Adicionalmente, las restricciones (7), (8), (9) y (10) se explicarán con más detalle en el apartado B, *Validación del diseño propuesto*.

- Permitir la asignación de exámenes de varios cursos pertenecientes a la misma asignatura en el horario h en un día d , con el fin de que, la variable HEH_{sahdw} tome el valor de 1 cuando se presente dicha situación, ya que, dicha variable permitirá el conteo de la asignación de exámenes de cursos de distintas asignaturas en un mismo día en una franja horaria de diferencia.

$$\sum_{c \in C} X_{sachdw} \leq HEH_{sahdw} * M \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H, d \in D, w \in W \quad (11)$$

- Cuantificar la asignación de exámenes en horarios consecutivos, con una franja horaria de diferencia ($HC1_{shdw}$).

$$HEH_{sahdw} + HEH_{sa'h+1dw} \leq HC1_{shdw} + 1 \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H/\{H_F\}, d \in D, w \in W, a \neq a' \quad (12)$$

$$HC1_{shdw} \leq HEH_{sahdw} \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H/\{H_F\}, d \in D, w \in W \quad (13)$$

$$HC1_{shdw} \leq HEH_{sa'h+1dw} \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H/\{H_F\}, d \in D, w \in W, a \neq a' \quad (14)$$

- Cuantificar la asignación de exámenes en horarios consecutivos, con una franja horaria de diferencia ($HC1_{shdw}$), en este caso, para las franjas horarias no tradicionales, es decir, los cursos que se dictan de tres horas o los cursos que no siguen con el patrón horario de la Universidad (clases de 7-9 am, 9-11 am, 11- 1 am, 2-4pm y así sucesivamente).

$$HEH_{sahdw} + HEH_{sa'h+3dw} \leq HC1_{shdw} + 1 \quad \forall s \in S, a \in A_s, h = 7 \in H, d \in D, w \in W, a \neq a' \quad (15)$$

$$HC1_{shdw} \leq HEH_{sahdw} \quad \forall s \in S, a \in A_s, h = 7 \in H, d \in D, w \in W \quad (16)$$

$$HC1_{shdw} \leq HEH_{sa'h+3dw} \quad \forall s \in S, a \in A_s, h = 7 \in H, d \in D, w \in W, a \neq a' \quad (17)$$

- Cuantificar la asignación de exámenes en horarios consecutivos, con dos franjas horarias de diferencia ($HC2_{shdw}$).

$$HEH_{sahdw} + HEH_{sa'h+2d2w} \leq HC2_{shdw} + 1 \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H, d \in D/\{H_F - 1, H_F\}, w \in W, a \neq a' \quad (18)$$

$$HC2_{shdw} \leq HEH_{sahdw} \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H, d \in D/\{H_F - 1, H_F\}, w \in W \quad (19)$$

$$HC2_{shdw} \leq HEH_{sa'h+2dw} \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H, d \in D/\{H_F - 1, H_F\}, w \in W, a \neq a' \quad (20)$$

- Cuantificar la asignación de exámenes en horarios consecutivos, con tres franjas horarias de diferencia ($HC3_{shdw}$).

$$HEH_{sahdw} + HEH_{sa'h+3dw} \leq HC3_{shdw} + 1 \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H, d \in D/\{H_F - 2, H_F - 1, H_F\}, w \in W, a \neq a' \quad (21)$$

$$HC3_{shdw} \leq HEH_{sahdw} \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H, d \in D/\{H_F - 2, H_F - 1, H_F\}, w \in W \quad (22)$$

$$HC3_{shdw} \leq HEH_{sa'h+3dw} \quad \forall s \in S, a \in A_s, h \in H, d \in D/\{H_F - 2, H_F - 1, H_F\}, w \in W, a \neq a' \quad (23)$$

$H_F, H_F - 1, H_F - 2$ no se tienen en cuenta en este grupo de restricciones, puesto que corresponde a subíndices inválidos dentro del conjunto H (horario académico).

- Como se mencionó en las consideraciones del modelo, el modelo matemático no se encarga de la asignación las asignaturas de los departamentos de Matemáticas y Ciencias Naturales y de Humanidades y Ciencias Sociales. Sin embargo, se tienen en cuenta como valores establecidos de las variables de decisiones correspondientes, tomadas como restricciones adicionales del modelo, tal como se muestra en restricción (24), la cual indica que, en el semestre 1, el examen de la asignatura 300MAG018 (Fundamentos de matemáticas), del curso 2566 (Grupo A), está asignado en la franja horaria 3 (11:00 am – 1:00pm) el día 5 (viernes) en la semana parcial 1.

$$X_{1,300MAG018,2566,3,5,1} = 1 \quad (24)$$

De la misma manera, se realizan las restricciones para las demás asignaturas que cumplan con las consideraciones mencionadas anteriormente.

Una vez finalizada la formulación del modelo, se prosiguió a construir los parámetros. Para ello se solicitó a la Facultad los archivos correspondientes a la información relacionada con la matrícula de los estudiantes de Ingeniería Industrial en el periodo académico 2020-1 y con los horarios de los cursos ofertados en ese mismo periodo. Dichos parámetros pueden observarse en el Anexo 8. También en los Anexos 9 y 10, se presenta la formulación del modelo matemático (lenguaje AMPL) y la solución del mismo, respectivamente.

En el periodo 2020-1, 152 cursos fueron matriculados por diferentes estudiantes de Ingeniería Industrial. Sin embargo, la instancia utilizada estuvo compuesta por 136 cursos, ya que la asignación de exámenes de los cursos restantes fue programada por fuera de las dos semanas establecidas por la PUJ – Cali. Adicionalmente, de los 136 cursos, 60 fueron asignados por el modelo y el resto se tuvieron en cuenta como restricciones adicionales, ya que su asignación no corresponde a la Facultad de Ingeniería y Ciencias.

Por último, el modelo propuesto tiene 32.904 variables, 78.968 restricciones. Asimismo, haciendo uso del programa AMPL y del solver GUROBI la solución óptima al problema de asignación de exámenes dio como resultado un valor de Carga Académica igual a 157 (unidades de penalidad); los valores desglosados de la función objetivo pueden resumirse en la TABLA XVI.

TABLA XVI
RESUMEN SOLUCIÓN ÓPTIMA

	Cantidad	Penalidad
Exámenes asignados en días consecutivos	15	15
Exámenes asignados en un mismo día con una franja horaria de diferencia:	16	80
Exámenes asignados en un mismo día con dos franjas horarias de diferencia:	14	42
Exámenes asignados en un mismo día con tres franjas horarias de diferencia:	10	20
Total		157

B. Validación del diseño propuesto

Teniendo en cuenta la naturalidad del proyecto, es necesario aclarar que el proceso de verificación de la asignación propuesta es simultáneo al desarrollo del diseño de la misma. Es decir, a medida que se construye el modelo matemático, se realizaban, paralelamente, las pruebas necesarias para llevar a cabo la validación.

A continuación, se describen algunas de las pruebas más relevantes para dicha verificación. Inicialmente, se realizó la validación del conjunto de restricciones (7), (8), (9) y (10), siendo las últimas tres, las encargadas de contabilizar la ocurrencia de asignación de exámenes en días consecutivos.

$$\sum_{c \in C} \sum_{h \in H} X_{sachdw} \leq HED_{saw} * M \quad \forall s \in S, a \in A_s, d \in D, w \in W \quad (25)$$

En la restricción (7), al restringir la variable principal de asignación X_{sachdw} menor o igual a la multiplicación de la gran M por la variable binaria HED_{saw} , se permite la asignación de más de un examen en un mismo día. Esto se debe a que la variable toma el valor de uno cuando en el semestre s hay uno o más exámenes asignados de la asignatura a en el día d en la semana w , es decir, los exámenes asignados en el día d corresponden a distintos cursos de una misma asignatura. Lo anterior es posible, debido a que no es permitido que un estudiante matricule en un semestre más de un curso correspondiente a una misma asignatura.

Por otra parte, el siguiente conjunto de restricciones que están vinculadas entre ellas, tienen como objetivo cuantificar la asignación de exámenes en días consecutivos

En esta ocasión, el proceso de validación se realizó evaluando, detalladamente, todos los posibles casos, mostrados en la TABLA XVII, con el fin de validar la coherencia de la restricción (8) con la realidad.

TABLA XVII
VALIDACIÓN DE RESTRICCIÓN (8)

Caso	$HED_{sadw} + HED_{sar'd+1w} \leq DC_{sdw} + 1$			
1	1	1	1	1
2	1	0	0	1
3	0	1	0	1
4*	1	0	1	1
5*	0	1	1	1

Cuando la variable binaria HED_{sadw} es igual a 1, indica que en el semestre s hay uno o más exámenes asignados de la asignatura a en el día d en la semana w . Y la variable binaria $HED_{sar'd+1w} = 1$ indica que en el semestre s hay uno o más exámenes asignados de la asignatura a' (distinta de la asignatura a) en el día $d+1$ (día siguiente) en la semana w .

En el primer caso, las variables HED_{sadw} y $HED_{sar'dw}$ son iguales a 1, esto hace que la variable DC_{sdw} tome el valor de 1, es decir que, cumple la condición de que, si se asignan parciales de distintas asignaturas en días consecutivos, la variable DC_{sdw} contabilizará la ocurrencia de este evento.

En el segundo y tercer caso, cuando una de las variables de asignación, HED_{sadw} y $HED_{sar'd+1w}$, toma el valor de 1 y la otra toma un valor de 0, la variable DC_{sdw} puede tomar el valor de 0, que significa que no hay exámenes asignados en días consecutivos. Sin embargo, la variable DC_{sdw} podría tomar también el valor de 1, lo cual se muestra en el caso 4* y 5*, esto significaría que dicha variable está contando que sí se presentan exámenes consecutivos, aunque no sea cierto que se esté presentando tal situación. Por tanto, para que la restricción (8) funcione correctamente, y no se presenten los casos 4* y 5*, debe ir acompañada, obligatoriamente, de las siguientes dos restricciones.

Las restricciones (9) y (10), presentadas en la TABLA XVIII, tienen como finalidad hacer que la restricción (8) cumpla con su función, es decir, que cuando se presenta una situación como en 4* o 5*, estas restricciones obligan a que la variable DC_{sdw} sea igual a 0, puesto que no ocurre asignación de exámenes de distintas asignaturas en días consecutivos.

TABLA XVIII
VALIDACIÓN DE RESTRICCIÓN (9) y (10)

Caso	$DC_{sdw} \leq HED_{sdw}$ (9)		$DC_{sdw} \leq HED_{sd+1w}$ (10)	
1	1	1	1	1
2	0	1	0	0
3	0	0	0	1

De esta forma se verifica que el conjunto de restricciones cumpla con el objetivo de evitar la asignación de exámenes en días consecutivos. De manera análoga, la validación para el conjunto de restricciones que se encargan de contabilizar la ocurrencia de asignación de diferentes asignaturas en franjas horarias consecutivas es la misma (restricciones (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20), (21), (22) y (23)).

VI. VERIFICAR

A. Medición de los impactos

La medición de impactos se realizó con respecto a la reducción del tiempo de trabajo y la ocurrencia de exámenes tanto en días consecutivos como en el mismo día. Para ello, se realizó una comparación entre el tiempo que actualmente se demora la persona encargada en realizar la asignación de exámenes y el tiempo que se demora el modelo propuesto para arrojar una solución óptima. También se realizó una comparación de la carga académica y ocurrencia de exámenes entre la asignación actual y la asignación que arrojó el modelo. Asimismo, se consideró tanto el costo por la adquisición de licencia como la reducción del estrés laboral al ser implementado el sistema de asignación. Cabe resaltar que en este caso no se aplica el impacto ambiental, ya que no hay un resultado directo en el medio ambiente, puesto que este proyecto tiene un enfoque hacia el componente administrativo para la reducción de los tiempos de trabajo.

Impacto social:

En esta parte de la verificación del modelo, se tuvo en cuenta la asignación de exámenes que se presenta actualmente en la facultad de Ingeniería y ciencias para el periodo 2020-1, donde cada curso que tiene una fecha de programación asignada en una de las dos semanas propuestas para los exámenes sería una restricción binaria en el modelo propuesto. Todo esto con el fin de conocer actualmente cual es la cantidad de exámenes asignados en días consecutivos, los exámenes asignados con una franja horaria de diferencia, dos franjas horarias de diferencia, tres franjas horarias de diferencia y finalmente el valor de Carga Académica actual.

Para esto se tuvo como base el archivo de Excel propuesto por la facultad de Ingeniería y Ciencias donde se encuentra la programación de asignación actual de los exámenes del periodo 2020-1. Únicamente se consideraron las asignaturas que desde la facultad son asignadas por la secretaría; teniendo en cuenta el día de la semana, la franja horaria y cuál de las dos semanas propuestas para exámenes fue asignado. De esta manera se construyó cada restricción binaria del modelo actual. La formulación de dicho modelo y la solución del mismo se presentan en los Anexos 11 y 12, respectivamente.

$X_{sachdw} = 1$, si en el semestre s el examen del curso c que pertenece a la asignatura a es asignado en el horario h del día d en la semana w , 0 de lo contrario.

Adicionando estas restricciones del sistema actual en AMPL, se obtuvo como resultado de la función objetivo un valor de Carga Académica de 256 de acuerdo a las penalidades establecidas, lo cual indica que el sistema que actualmente se presenta en la Facultad de Ingeniería y Ciencias tiene una carga mayor a la que arroja el modelo propuesto cuyo valor es de 157. A continuación, en la Tabla XIX se presenta la comparación entre los resultados obtenidos del sistema actual con el modelo propuesto.

TABLA XIX
ASIGNACIÓN ACTUAL VS ASIGNACIÓN PROPUESTA

	Variable	Asignación Actual		Asignación Propuesta	
		Cantidad	Penalidad	Cantidad	Penalidad
Exámenes asignados en días consecutivos	DC	24	24	15	15
Exámenes asignados con una franja horaria de diferencia	HC1	27	135	16	80
Exámenes asignados con dos franjas horarias de diferencia	HC2	23	69	14	42
Exámenes asignados con tres franjas horarias de diferencia	HC3	14	28	10	20
Total		256		157	

Verificando los datos y resultados, se puede afirmar que con el modelo propuesto se puede reducir la carga académica, puesto que la comparación arroja una disminución de 99 unidades de penalidad, es decir, esta se reduce un 38%. Además, la asignación de exámenes se realiza en un tiempo de 0.219 segundos, mientras que actualmente para realizar dicha asignación toma dos días laborales aproximadamente. Además, se logra minimizar el valor de la cantidad de cada una de las variables propuestas y la Función Objetivo que es la Carga académica.

Por otra parte, para verificar si la cantidad de casos en que se presentan exámenes en días consecutivos o el mismo día, de acuerdo con la asignación que arrojó el modelo mejoraba respecto a la asignación actual, fue necesario acceder a la información de los cursos que matriculó cada estudiante de la carrera de ingeniería industrial. Posteriormente, se filtraron los cursos propios de esta carrera para organizarlos de acuerdo con los días en los que se presentaban los exámenes, esto tanto para la programación actual de la facultad como para asignación que arrojó el modelo. Por último, se organizaron los cursos cuyos exámenes se realizaban el mismo día o en días consecutivos, con el fin de filtrar los estudiantes que estaban matriculados en tales cursos. Los resultados para ambas asignaciones se evidencian en la Figura. 13

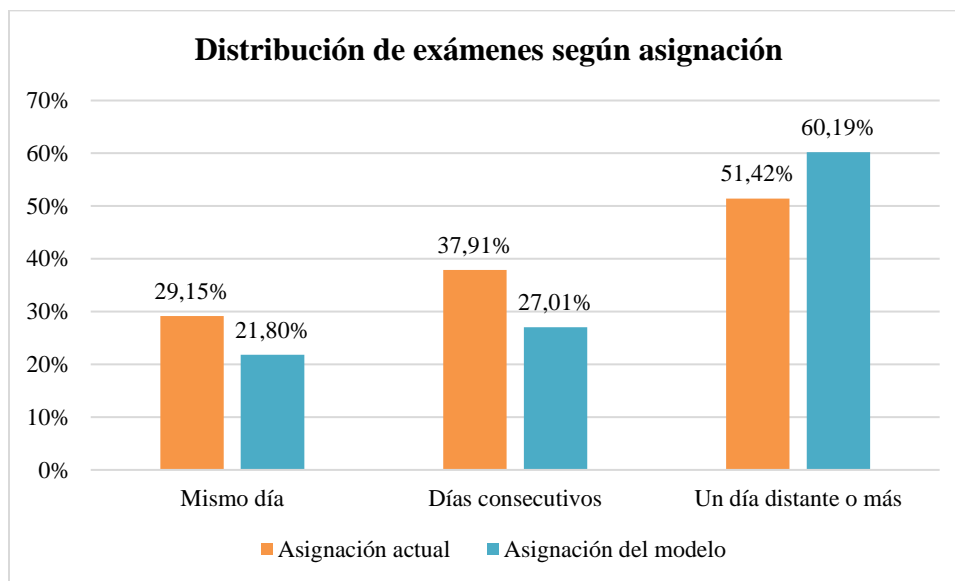


Fig. 13 Asignación Actual vs Asignación Propuesta

De acuerdo con la gráfica, se puede evidenciar que en la asignación realizada por el modelo, la cantidad de casos en los que los estudiantes presentarían dos o más exámenes en un mismo día para el periodo 2020-1 se redujo en 7,35% en comparación con la asignación actual, asimismo, se redujo en un 10,90% los casos de estudiantes que presentaron sus exámenes en días consecutivos. Por otra parte, la cantidad de estudiantes que tuvieron una asignación de exámenes con uno o más días distantes se incrementó en 8,77% con la asignación del modelo.

Impacto Financiero:

Teniendo en cuenta que para realizar la asignación de los exámenes es necesario emplear un software que pueda dar solución a problemas de programación lineal entera mixta, fue necesario considerar la adquisición de una licencia y evaluar si su costo es representativo en comparación con los beneficios que este tiene. Dado que la herramienta o lenguaje de programación algebraico que se consideró para la solución del modelo fue AMPL, la licencia de uso de este software tiene un costo para la universidad de \$10.000 USD [25] en el primer año y después, la renovación anual tiene un costo de \$ 400 USD [25]. El costo de esta licencia se verá retornado en las horas laborales que la secretaria de la facultad no requerirá para esta labor, en concreto, se pasará de 16 horas laborales por semestre a tan solo una hora que se requiere para el ingreso de datos. Así mismo, si el modelo propuesto se presenta y se comparte con otras facultades, se generará un ahorro de por lo menos 60 horas laborales entre las 4 secretarías de facultad de toda la universidad.

Es necesario recalcar, que la universidad actualmente cuenta con licencias de AMPL estudiantiles, sin embargo, se presenta el costo de una licencia estándar porque no se conoce en términos legales si la asignación de exámenes en la universidad sería de carácter comercial o si se considera de uso académico.

Impacto ergonómico:

El estrés laboral puede ser ocasionado por distintas razones, las cuales están directamente relacionadas con la forma en la que un trabajador desempeña sus labores. Entre las características más relevantes que pueden desencadenar en estrés laboral se encuentran el volumen y ritmo de trabajo, es decir, cuando se presenta exceso de trabajo con plazos estrictos. A su vez, esto da lugar a una serie de comportamientos en el trabajador que pueden afectar negativamente tanto su salud física como mental, entre estas se encuentran la irritabilidad, cansancio, falta de sueño, entre otros [26]. De igual forma, para una organización, un colaborador con exceso de carga laboral no va a tener buena productividad en comparación a un compañero cuyas herramientas de trabajo facilitan sus labores. En el caso de la asignación actual de los exámenes en la Facultad, la secretaría debe realizar una labor tediosa en un plazo determinado y, además, recibe constantemente reclamos por parte de los docentes y estudiantes, lo cual genera un reproceso en la asignación de exámenes.

Dentro de la gestión del riesgo se encuentran tres tipos de prevención los cuales consisten en: diseño de un puesto de trabajo ergonómico, capacitación del personal y prevención mediante el desarrollo de sistemas de gestión sensibles [26]. Entre estas, la más importante dentro de las empresas es la última, puesto que el desarrollo de dicho sistema contribuye a que el trabajador cuente con una mayor capacidad de respuesta. Por tanto, un sistema de asignación de exámenes computarizado, puede dar cumplimiento a algunos de los pilares fundamentales para reducir el impacto del estrés en los puestos de trabajo, tales como la modificación de exigencias laborales dado que se realiza un cambio a la forma en que se lleva a cabo el trabajo de la asignación, reduciendo significativamente la carga de trabajo y el aumento del control dado que la persona encargada de la asignación ejerce control sobre la forma en que esta se lleva a cabo y sobre los tiempos que puede dedicar para realizar su labor.

B. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control)

Para asegurar una buena aplicabilidad del sistema de asignación de exámenes, se establece un manual de usuario (Anexo 13), que explica de manera explícita los pasos necesarios para utilizar y modificar el sistema. Adicionalmente, en el Anexo 14, se encuentra una carpeta de archivos como material de apoyo al manual.

C. Conclusiones

- El sistema de asignación de exámenes propuesto en el presente proyecto de diseño se fundamentó en la utilización de un modelo de programación lineal entera-mixta, en el cual las restricciones *hard* obligan al modelo a cumplir los horarios ya asignados y los exámenes establecidos por otros departamentos, mientras que, las restricciones *soft* son las penalidades en la función objetivo y castiga cuando se presenta un examen consecutivo; siendo así caracterizado el sistema actual de asignación de exámenes de la facultad de ingeniería.
- Para realizar la asignación de exámenes en la facultad de ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, actualmente, se necesitan dos días de trabajo, sin embargo, con el sistema propuesto se logra disminuir el tiempo de trabajo a 0,219 segundos. Además, el modelo encuentra una solución del conjunto óptimo de soluciones que sí tienen en cuenta la carga académica, por lo que el método propuesto es más eficiente que la asignación manual que se llevaba a cabo.
- El número de casos en que un estudiante presenta dos o más exámenes en un mismo día y en el que se presentan los exámenes en días consecutivos se redujo en un 7,35% y 10,90%, respectivamente, de acuerdo con la asignación realizada por el modelo para el periodo 2020-1. Asimismo, se incrementó un 8,77% los estudiantes que tuvieron una asignación de exámenes con uno o más días distantes, evidenciándose con estos resultados la optimización de los indicadores establecidos.
- De acuerdo con la medición de la carga académica mediante las penalizaciones asignadas según los casos que se presentaron, se evidencia una reducción de 256 unidades a 157 unidades tras la implementación del modelo. Esto significa que, al ser reducida la carga académica, se podrá percibir un aumento en la satisfacción de los estudiantes.

D. Recomendaciones

En vista de que el sistema de asignación debe correrse para obtener una asignación óptima, se recomienda leer el manual y, a su vez, que se lleve a cabo una capacitación para la persona encargada de la implementación del modelo, con el fin de conocer la forma en que este funciona y a su vez para evitar que un mal manejo provoque una desconfiguración.

Si bien el tiempo de cómputo que se emplea para dar una solución factible es de 0,219 segundos, tal asignación se realiza solo una vez, es decir, la información utilizada en el modelo solo se puede utilizar en una vez, esto debido a que cada semestre se realizan cambios de horarios o no se ofertan ciertos cursos. Por tanto, se recomienda que se profundice en la automatización del proceso de ingreso de datos por medio de un entorno computacional más simple para el usuario.

Dado que el sistema de asignación fue realizado solo para la carrera de Ingeniería Industrial, se sugiere llevar a cabo la implementación del modelo en todas las carreras de la facultad mediante la modificación de la información de los cursos que se ofertan en estas, según corresponda.

VII.REFERENCIAS

- [1] V. Aizam, Nur Aidya Hanum and Uvaraja, “Generic Model for Timetabling Problems by Integer Linear Programming Approach,” *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Math. Comput. Phys. Electr. Comput. Eng.*, vol. 9, no. 12, pp. 668–675, 2015.
- [2] “The Importance of a Good Schedule.” [Online]. Available: <https://www.quinix.com/blog/the-importance-of-a-good-schedule>. [Accessed: 22-Aug-2019].
- [3] Concejo Nacional de Acreditación, “Lineamientos para la acreditación de programas,” Bogotá, D.C, pp. 42–45, Nov-2006.
- [4] I. Méndez Díaz, J. J. Bront Miranda, and P. Zabala, “Un nuevo enfoque para la programación horaria en universidades,” *Rev. Ing. Sist.*, 2016.
- [5] A. F. Salazar, J. F. López, A. Tavizón, and M. J. Araiza-Vázquez, “Estudio de un Algoritmo Genético para la Administración Académica,” *Form. Univ.*, vol. 12, no. 4, pp. 63–72, Aug. 2019.
- [6] O. D. Castrillón, “Combinación entre algoritmos Genéticos y Aleatorios para la programación de horarios de clases basado en ritmos cognitivos,” *Inf. Tecnol.*, vol. 25, no. 4, pp. 51–62, 2014.
- [7] R. G. Cabanach, A. Souto-Gestal, and V. Franco, “Escala de Estresores Académicos para la evaluación de los estresores académicos en estudiantes universitarios,” *Rev. Iberoam. Psicol. y Salud*, vol. 7, no. 2, pp. 41–50, Jul. 2016.
- [8] B. A. Águila, M. C. Castillo, R. La, Guarda Monteagudo de Guardia, and Z. N. Achon, “Estrés académico,” *EDUMECENTRO*, vol. 7, no. 2, pp. 6–9, 2015.
- [9] R. Quezada, “Las políticas de desarrollo regional en Ecuador,” *Yachana Rev. Científica*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [10] J. E. O. Botero, P. A. P. Hernández, and J. E. D. Arana, “Factores estresores y síntomas somáticos del sistema musculoesquelético en estudiantes universitarios de Palmira,” *Educ. médica Super.*, 2018.
- [11] E. Consejo Directivo, “ACUERDO N° 567 (Actualización del Reglamento de Estudiantes).”
- [12] A. C. Gilbert, *Investigación de mercados*,. CENGAGER, 2006.
- [13] Registro Académico, “Cantidad de alumnos por carrera y por semestre de la Facultad de ingeniería en el periodo académico 2019-2,” 2019.
- [14] L. Torres Castro, “Muestreo,” 2019.
- [15] P. R. Burke, E. K., McCollum, B., Meisels, A., “A Graph-Based Hyper-Heuristic for Educational Timetabling problem,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 176, pp. 177–192, 2007.
- [16] A. Saldaña Crovo, C. Oliva San Martín, and L. Pradenas Rojas, “Models of Integer Programming for,” vol. 15, pp. 245–259, 2007.
- [17] S. Abdennadher and M. Marte, “University course timetabling using constraint handling rules,” *Appl. Artif. Intell.*, vol. 14, no. 4, pp. 311–325, Apr. 2000.
- [18] R. Lewis, “A survey of metaheuristic-based techniques for University Timetabling problems,” *OR Spectr.*, vol. 30, no. 1, pp. 167–190, Jan. 2008.
- [19] M. Mazlan, M. Makhtar, A. Firdaus Khair Ahmad Khairi, M. Afendee Mohamed, and M. Nordin Abdul Rahman, “A study on optimization methods for solving course timetabling problem in university,” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 2.14, p. 196, 2018.
- [20] M. D. C. Guevara, “Un modelo matemático para el problema de horarios del Departamento de matemáticas de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo,” no. January 2014, 2016.
- [21] L. L. Esquivel T, “Modelo Matemático Para La Programación De Un Horario Escolar Con Multi-Localización De Docentes,” *Univ. del Val.*, p. 95, 2014.
- [22] “El método Walt Disney: Una técnica creativa realista | Job Wizards.” [Online]. Available: <https://job-wizards.com/es/el-metodo-walt-disney-una-tecnica-creativa-realista/>. [Accessed: 13-Nov-2019].
- [23] “El método de Disney para crear y trabajar las ideas | Tinkle.” [Online]. Available: <https://www.tinkle.es/blog/el-metodo-de-disney-para-crear-y-trabajar-las-ideas/>. [Accessed: 13-Nov-2019].

- [24] D. Morillo, L. Moreno, and J. Díaz, “Analytic and Heuristic Methodologies for Solving the Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSp): a review Part 1,” *Ing. y Cienc.*, vol. 10, no. 19, pp. 247–271, 2014.
- [25] “AMPL Product Price List Server Server Server Single Single Dual Quad User Floating Socket Socket Socket AMPL \$4000 \$6000 \$8000 \$14000 \$24000.”
- [26] “La organización del trabajo y el estrés.”

VIII. ANEXOS

TABLA XX
ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de archivo (PDF, HTML, Excel; Word)
1	2019212 - Anexo 1. Entrevista a los actores sobre asignación de exámenes	Propio	PDF
2	2019212 - Anexo 2. Cálculo de tamaño de muestra para atributos a través de muestreo aleatorio estratificado mediante asignación proporcional	Propio	Excel
3	2019212 - Anexo 3. Cuestionarios estudiantes	Propio	PDF
4	2019212 - Anexo 4. Cuestionario profesores	Propio	PDF
5	2019212 - Anexo 5. Pruebas de hipótesis	Propio	Excel
6	2019212 - Anexo 6. Encuesta de evaluación de alternativas según criterios	Propio	Excel
7	2019212 - Anexo 7. Matriz AHP	Propio	Excel
8	2019212 – Anexo 8. Parámetros Modelo Asignación Propuesta	Propio	Excel
9	2019212 – Anexo 9. Modelo Asignación Propuesta	Propio	PDF
10	2019212 – Anexo 10. Solución Modelo Asignación Propuesta	Propio	PDF
11	2019212 – Anexo 11. Modelo Asignación Actual	Propio	PDF
12	2019212 – Anexo 12. Resultados Modelo Asignación Actual	Propio	PDF
13	2019212 – Anexo 13. Manual de Usuario	Propio	PDF
14	2019212 – Anexo 14. Documentos Manual	Propio	Archivos AMPL y PDF