

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Propuesta de mejora en la aplicación de principios de
optimización para asignación de aulas mediante
programación lineal**

Donnie Armando Montes Belleza

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Lima, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jose Antonio Velasquez Costa
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 23 de Junio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Propuesta de Mejora en Aplicación de Principios de Optimización Para Asignación de Aulas Mediante Programación Lineal

Autores:

1. Donnie Armando Montes Belleza – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 11 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 10 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Dr. José Antonio Velásquez Costa

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi familia por permitirme el tiempo necesario para desarrollar este estudio.

A mis tíos por ser mis compañeros de vida durante mi crecimiento y ser una base importante para el desarrollo de mi aprendizaje en esta carrera.

A mi familia y amigos, por contribuir a mi crecimiento profesional y por brindarme apoyo moral.

A mi asesor, por acompañarme en el desarrollo de este trabajo y guiarme con buena disposición.

DEDICATORIA

*Dedico esta investigación a mi familia, ERPGP, y a mis hijas CRMG y CEMG, para que siempre
persigan sus sueños...*

*A mi madre MPBY y a mi hermano CMMB, por ser mi guía inicial e inspirarme a demostrar mis
capacidades...*

*A todos aquellos que no se conforman con lo establecido, sino que buscan comprender y desafiar los
límites ...*

Índice de Contenidos

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.2. Formulación del Problema	14
1.2.1. Problema General	14
1.2.2. Problemas Específicos	14
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos Específicos	14
1.4. Justificación	14
1.4.1. Por Implicancias Prácticas	14
1.4.2. Por Conveniencia	14
1.4.3. Por Valor Teórico	15
1.5. Hipótesis	15
1.5.1. Hipótesis General	15
1.5.2. Hipótesis Específicas	15
1.6. Delimitación de la investigación	15
1.7. Operacionalización de Variables	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de la investigación	17
2.1.1. Antecedentes Nacionales	17
2.1.2. Antecedentes Internacionales	20
2.2. Bases Teóricas	22
2.2.1. Investigación de Operaciones	22
2.2.2. Optimización	22
2.2.3. Algoritmo Simplex	22
2.2.4. Función Lineal	23
2.3. Definición de Términos Básicos	23
2.4. Marco Conceptual	24
2.4.1. Programación Lineal	24
2.4.1.1. Función Objetivo	24
2.4.1.2. Variables de Decisión	25
2.4.1.3. Restricciones	25

2.4.2.	Modelo de Programación Lineal	26
2.4.2.1.	Programación Lineal General.....	26
2.4.2.2.	Programación Lineal Entera.....	26
2.4.2.3.	Programación Lineal Binaria	26
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		27
3.1.	Método de la investigación.....	27
3.2.	Diseño de la investigación	27
3.3.	Alcance de la investigación	28
3.4.	Técnicas e Instrumentos	29
3.4.1.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	29
3.4.1.1.	Técnicas.....	29
3.4.2.	Técnicas e Instrumentos de Análisis de Datos.....	29
3.4.2.1.	Técnica	29
3.4.2.2.	Instrumentos.....	29
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		30
4.1.	Análisis de Requerimiento	30
4.2.	Desarrollo de Modelo de Programación Lineal	32
4.2.1.	Análisis de Modelo Anterior	32
4.2.2.	Nuevo Modelo.....	33
4.2.3.	Análisis Comparativo de Modelos	35
4.3.	Resultados del modelo de programación lineal	35
4.3.1.	Resultados del <i>modelo anterior</i>	35
4.3.2.	Resultados de <i>modelo nuevo</i>	36
4.3.3.	Análisis Comparativo de Resultados.....	37
Conclusiones		46
Recomendaciones		47
Referencias Bibliográficas		49

Índice de Tablas

Tabla 1 Características por Tipo de Aula	30
Tabla 2 Distribución de Facultades y Carreras.....	30
Tabla 3 Alumnos Matriculados por Carrera y Nivel	31
Tabla 4 Resultados de Modelo Anterior, Aulas asignadas	35
Tabla 5 Resultados de Nuevo Modelo, Carreras y alumnos con aulas asignadas	36
Tabla 6 Análisis de resultados de asignación Modelo Anterior	39
Tabla 7 Análisis de resultados modelo replicado	39
Tabla 8 Análisis de resultados de Nuevo Modelo	40
Tabla 9 Análisis de resultados en asignación de Nuevo Modelo	45

Resumen

La asignación de recursos, especialmente en entornos educativos, es un desafío que requiere soluciones óptimas para maximizar beneficios y minimizar costos. Este estudio se enfoca en mejorar la asignación de aulas en una universidad de Nigeria, tomando como referencia un modelo previo de programación lineal que, si bien representó un avance, también presenta limitaciones frente a las dinámicas y necesidades reales de la institución. Por eso, en este trabajo se propone un *modelo nuevo* de programación lineal que se ha diseñado para optimizar el uso de los recursos y atender mejor las demandas de asignación de la universidad. Para lograr resolver los problemas del *modelo anterior*, el estudio seguirá una metodología experimental, en la que se aplica el método Simplex a través de OpenSolver. Por consiguiente, esta metodología permitirá comparar los resultados de los modelos, así como evaluar la eficacia de cada uno, en términos de cumplimiento de restricciones y eficiencia en la asignación. Los resultados de este análisis buscarán constatar la hipótesis de que la asignación de aulas mejora en comparación con el modelo anterior. De este modo, se proporcionará un marco práctico y replicable que pueda ser útil para otras instituciones educativas que enfrenten retos similares; así que se fomentaría el uso de herramientas que optimicen la toma de decisiones ante problemas de esta índole.

Palabras Clave: Optimización, Programación Lineal, Asignación, Toma de Decisiones.

Abstract

Resource allocation, particularly in educational settings, is a challenge that requires optimal solutions to maximize benefits and minimize costs. This study focuses on improving classroom allocation in a Nigerian university, using a previous linear programming model as a reference. While the earlier model represented progress, it also faced limitations in addressing the institution's real dynamics and needs. Therefore, this research proposes a new linear programming model designed to optimize resource usage and better meet the university's allocation demands. To address the issues of the previous model, the study adopts an experimental methodology, applying the Simplex method through OpenSolver. Consequently, this approach will enable the comparison of model results and assess the effectiveness of each model in terms of meeting constraints and allocation efficiency. The findings of this analysis aim to confirm the hypothesis that classroom allocation improves compared to the earlier model. This will provide a practical and replicable framework that can benefit other educational institutions facing similar challenges, encouraging the use of tools that optimize decision-making for these types of problems.

Keywords: Optimization, Linear Programming, Allocation, Decision-Making.

Introducción

En las instituciones educativas, la eficiente asignación de recursos –particularmente de aulas– es esencial para optimizar el uso del espacio y reducir costos operativos. Esta tesis propone un modelo de programación lineal que se basa en el método Simplex y utiliza OpenSolver. De hecho, busca optimizar la asignación de aulas en la universidad y mejorar un modelo anterior de Oladejo et al. (2019) que, aunque innovador, no logró capturar plenamente las dinámicas y restricciones específicas de la institución educativa, resultando así en una subutilización y sobrecarga de algunas aulas.

Esta investigación de diseño experimental y metodología cuantitativa, que propone un nuevo modelo de asignación de aulas en una universidad, se basa en un análisis exhaustivo de los requerimientos. Por lo tanto, considera el número de estudiantes matriculados por carrera y nivel, así como la capacidad de las aulas disponibles. Como la hipótesis central plantea que el nuevo modelo de programación lineal mejorará significativamente la asignación en comparación con el modelo anterior, se realizará un análisis comparativo entre ambos modelos para validar esta afirmación. Este análisis evaluará indicadores de eficiencia, tales como el porcentaje de capacidad de aforo utilizado y la cantidad de estudiantes asignados a las aulas, además de la viabilidad práctica de su implementación. En consecuencia, proporcionará soluciones aplicables en la realidad.

Los resultados de esta investigación no solo contribuirán a mejorar la gestión de aulas en la universidad estudiada, sino que también proporcionarán un marco metodológico replicable para otras instituciones educativas enfrentadas a desafíos similares. La adopción de modelos de programación lineal en la toma de decisiones les permitirá a las universidades maximizar el uso de sus recursos, reducir costos operativos y mejorar la calidad del ambiente educativo para estudiantes y profesores.

Finalmente, esta tesis busca demostrar que la programación lineal, aplicada de manera adecuada y adaptada a las necesidades específicas de una institución educativa, puede ser una herramienta invaluable para la optimización de la asignación de recursos. Al desarrollar y validar un nuevo modelo de asignación de aulas mediante programación lineal, este estudio pretende ofrecer una solución práctica y efectiva para uno de los problemas más apremiantes en la gestión universitaria.

.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

La toma de decisiones implica elegir la mejor opción entre varias alternativas, después de considerar los objetivos y restricciones; mientras que, en los problemas de asignación, significa decidir cómo distribuir los recursos disponibles para optimizar un objetivo particular, ya sea minimizar el costo o maximizar el uso de recursos (1). Este tipo de problema surge en diversos campos, desde la construcción y la logística hasta la educación y la salud, en los que la gestión eficiente de recursos es crucial. La complejidad de la asignación como problema de optimización se manifiesta en su naturaleza combinatoria, ya que la cantidad de posibles combinaciones de asignación puede ser enorme, especialmente al considerar múltiples orígenes, destinos y recursos (2). En el contexto específico de la asignación de aulas, hay varios factores que convierten este problema en uno de optimización: su estructura combinatoria (que requiere coordinar numerosas clases, estudiantes y profesores con limitaciones de espacio y horario), además de una función objetivo que podría buscar reducir el espacio que no se utiliza, así como incrementar la satisfacción de preferencias de los profesores o disminuir las distancias de desplazamiento para los estudiantes (3). Si bien con la programación lineal se puede encontrar la solución óptima para problemas de asignación, también pueden existir errores en la definición de la función objetivo debido a la dificultad para abarcar todos los objetivos relevantes, la necesidad de simplificar la realidad, los errores en la formulación matemática y la necesidad de considerar las restricciones adecuadamente. Por lo tanto, definir de forma apropiada la función objetivo es clave para guiar el proceso de optimización, lo que requiere un análisis cuidadoso del problema y de los factores involucrados (4).

En 2019, Oladejo et al. desarrollaron un modelo (de ahora en adelante *modelo anterior*) para abordar el problema de la asignación de aulas de una universidad de Nigeria (de ahora en adelante *la Universidad*) y utilizaron programación lineal. Su modelo fue diseñado para optimizar la distribución de aulas, con la finalidad de mejorar la eficiencia y el uso de los recursos disponibles (5). Sin embargo, al revisar el contenido de este estudio indexado en Scopus, se observa que el modelo podría mejorarse, ya que la distribución debería considerar de manera más adecuada las restricciones y la construcción del modelo para proporcionar una solución óptima más precisa y adecuada a la realidad.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera la aplicación de principios de optimización para asignación de aulas, mediante programación lineal, mejora al *modelo anterior*?

1.2.2. Problemas Específicos

- PE1: ¿Cuál el requerimiento de asignación de aulas de “La Universidad”?
- PE2: ¿Cuál es el modelo de programación Lineal que satisface el requerimiento de la universidad “La Universidad”?
- PE3: ¿De qué manera mejora la asignación de aulas en comparación al Modelo Anterior luego de aplicar programación lineal?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Explicar de qué manera la aplicación de principios de optimización para asignación de aulas mediante programación lineal mejora el *modelo anterior*.

1.3.2. Objetivos Específicos

- OE1: Analizar el requerimiento de asignación de *la Universidad*.
- OE2: Desarrollar modelo de programación lineal que satisfaga el requerimiento de *la Universidad* y compararlo con el *modelo anterior*.
- OE3: Analizar de qué manera mejora la asignación de aulas en comparación al *modelo anterior*, luego de aplicar programación lineal.

1.4. Justificación

1.4.1. Por Implicancias Prácticas

La adopción de un modelo mejorado puede incrementar notablemente la eficiencia en el uso de los recursos educativos, tales como las aulas y el personal docente. Esto no solo optimiza el aprovechamiento del espacio físico, sino que también puede disminuir los costos operativos al reducir el tiempo y los recursos necesarios para la planificación y asignación de aulas, representando así una contribución de la ingeniería industrial.

1.4.2. Por Conveniencia

Este estudio atiende la necesidad de verificar y evaluar mejoras en las propuestas de implementación presentadas en publicaciones científicas.

1.4.3. Por Valor Teórico

Es una herramienta metodológica valiosa, pues –al ofrecer soluciones más precisas y eficientes– esta investigación puede ser un referente para otras instituciones educativas con problemas similares. De este modo, promueve la adopción de prácticas fundamentadas en evidencia y fomenta la mejora continua en la gestión de recursos educativos.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

H₀: La implementación de principios de optimización, a través de programación lineal, mejoraría la asignación de aulas en *la Universidad* en comparación con el modelo previo.

1.5.2. Hipótesis Específicas

HE₁: Los requerimientos de asignación de *la Universidad* son suficientes para definir el modelo.

HE₂: El *modelo nuevo* cubre en mejor medida los requerimientos de asignación de *la Universidad*.

HE₃: La asignación de aulas de *la Universidad* mejora con el *modelo nuevo* en comparación al *modelo anterior*.

1.6. Delimitación de la investigación

Esta investigación se fundamentará en los datos presentados en el artículo científico de Olajedo et al. (2019), que muestra datos recopilados durante el año académico de 2018 al 2019, en la Universidad Landmark de Nigeria. De este modo, se podrán comparar los resultados obtenidos, al usar los mismos valores de entrada, aunque en modelos matemáticos distintos.

1.7. Operacionalización de Variables

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	Tipo de Variable
Programación Lineal	Herramienta matemática utilizada para determinar la mejor solución a un problema, al maximizar o minimizar una función objetivo lineal, sujeta a restricciones lineales (6; 7).	Tipo de Modelo	Eficiencia en el Resultado de Nuevo Modelo vs Modelo Anterior	Razón	Cuantitativa
		Función Objetivo	Ecuación matemática que busca maximizar el uso de aulas según su capacidad. Cómo la estructura de la función objetivo atiende al problema de asignación	Nominal	Cualitativa
		Restricciones	Ecuaciones o inecuaciones lineales que representan las limitaciones del problema. Cómo se definen las restricciones y sus límites para la solución del problema	Razón/Nominal	Cuantitativa/Cualitativa
Optimización de la Asignación de Aulas	Grado en que se maximiza el uso de las aulas, según su capacidad, cumpliendo con las restricciones del problema (7; 8)	Uso de la Capacidad de las Aulas	Porcentaje de aulas utilizadas respecto a su capacidad total. # total de alumnos que pueden ser asignados a las aulas.	Razón	Cuantitativa
		Restricciones presentan un modelo viable	¿El modelo puede ser aplicado a la realidad? Si, No	Razón/Nominal	Cuantitativa/Cualitativa

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Nacionales

En su tesis de licenciatura, “Aplicación de programación lineal entera y mixta para optimizar la asignación de contenedores en una empresa de venta de productos por catálogo”, Luis Pampa (2024) elaboró un modelo para optimizar la asignación de contenedores en una empresa de ventas por catálogo. Para ello, utilizó técnicas avanzadas de programación lineal entera y mixta con el objetivo principal de reducir los costos de importación. Para lograr esto, analizó el proceso de planificación de compras para identificar áreas clave en las que se podían implementar mejoras. También recopiló y analizó cotizaciones de fletes y gastos locales. Con esta información, creó un modelo matemático que maximiza el uso del espacio disponible y minimiza los costos asociados. Esto permitió incrementar la utilización del espacio de los contenedores del 90% al 94%, lo que representa una mejora significativa en la eficiencia del uso del espacio. Además, se redujo el promedio de contenedores utilizados de 5 a 4.3, contribuyendo directamente a la reducción de costos. Finalmente, el tiempo de procesamiento disminuyó drásticamente, de 390 minutos a solo 10 minutos.

Por su parte, en su tesis de maestría “Propuesta del programa de producción utilizando un modelo de programación lineal entera”, Carlos Rojas (2024) tenía como objetivo aplicar el método científico de la investigación de operaciones para solucionar el problema de programación de producción en la empresa Indulactea. La investigación se centró en la programación de producción en dicha empresa, utilizando la modelación de programación lineal entera. El estudio está estructurado en cuatro capítulos: marco teórico, estudio del caso, planes de mejoras y conclusiones y recomendaciones. Las técnicas e instrumentos empleados incluyeron el análisis de datos históricos y el modelamiento matemático. Los principales resultados mostraron mejoras significativas en la eficiencia de la programación de producción.

Asimismo, en su tesis de licenciatura “Aplicación de programación lineal para la asignación de horarios en una institución educativa trujillana”, Horacio González (2023) empleó la programación lineal y el complemento Solver de Excel, para desarrollar un modelo matemático que optimiza la asignación de horarios en los niveles inicial, primaria y secundaria. La meta era mejorar la distribución de horarios escolares en una institución educativa en Trujillo. Este enfoque resultó en una reducción del tiempo dedicado a la asignación de horarios y generó un beneficio económico. En conclusión, la aplicación de modelos matemáticos facilita la toma de decisiones y optimiza la distribución de recursos en las instituciones educativas.

De igual forma, Noel Yzaguirre (2022), en su tesis de licenciatura “Optimización en la asignación de docentes y aulas en el centro de capacitaciones DMC usando programación lineal con Python”, desarrolló un modelo de optimización que utilizó la librería Pulp para programación lineal y Pandas para el procesamiento de datos. Su modelo está dirigido a la asignación de aulas y docentes del centro de capacitaciones DMC y utiliza programación lineal entera con Python. De hecho, logró reducir el tiempo en la asignación de docentes y aulas, lo que mejoró significativamente la eficiencia y permite evitar cruces y reprogramaciones.

Por otro lado, Kevin Ruiz (2022), con el objetivo de determinar un modelo de programación lineal que optimizara la asignación de horarios en el Instituto Eugenio Paccely, enfocó su tesis en maximizar los bloques de dos horas seguidas de la misma materia, con el fin de mejorar el aprendizaje de los estudiantes y la organización de los horarios de los docentes. El estudio “Aplicación de programación lineal para la asignación de horarios en el Instituto Eugenio Paccely”, de diseño cuantitativo y de tipo transversal, se centró en la carrera técnica de farmacia del instituto ubicado en Huancayo, Perú. La investigación consideró variables, tales como: el número de estudiantes, aulas, laboratorios, cursos, días de clase, turnos y disponibilidad de docentes. Mediante el uso del *software* de optimización LINGO® 19.0, se propuso un modelo de programación lineal binaria que resultó en una solución factible de 27 bloques para los ciclos 3º y 4º de farmacia. Por cierto, empleó 2,788 restricciones y 1,560 variables binarias para mejorar la distribución horaria de clases. De esta manera, demostró la adaptabilidad del modelo a ciclos futuros.

En su artículo científico, “Optimal Student/School/Class/Teacher/Classroom Matching to Support Efficient Public School System Resource Allocation”, Sérgio Mayerle (2022) presentó una metodología de soporte de decisiones para aumentar la eficiencia de la educación en las escuelas públicas a nivel municipal, distrital y metropolitano, en Brasil. Se enfocó en la correspondencia adecuada entre la oferta de recursos humanos e infraestructurales como, por ejemplo, entre la disponibilidad de aulas o las especializaciones de maestros y la demanda de estudiantes que solicitaban matrícula en cada grado. Esta tarea de planificación fue un proceso periódico necesario que precedía a tareas operativas como la inscripción y la programación. El estudio describió un modelo matemático y una herramienta computacional para optimizar la asignación de recursos en las etapas de planificación estratégica y táctica. La idea era alcanzar la optimización simultánea de las variables de demanda (estudiantes) y de oferta (infraestructura y recursos humanos), a través de una formulación de programación lineal entera mixta. Además, ilustró la implementación de este sistema mediante el análisis de la educación pública en Itacoatiara, una región con recursos limitados y bajo índice de desarrollo humano en Brasil, antes de la incorporación de una nueva escuela a la red local en 2019.

Igualmente, Mireya Callupe (2021) es la autora de “Modelo de optimización mediante programación lineal entera binaria para la asignación de la cartera de clientes a supervisores en una empresa de saneamiento ambiental”. Se trata de un trabajo de suficiencia profesional que la autora redactó para obtener su licenciatura. El estudio tuvo como objetivo proponer un modelo de optimización basado en programación lineal entera binaria, para asignar clientes a supervisores, con el fin de maximizar la satisfacción de ambas partes. El modelo fue probado mediante el uso del *software* Lingo. Cabe señalar que, el modelo propuesto consiguió una mejor distribución de clientes.

En el caso de Teresa Salazar (2021), también realizó un estudio de suficiencia profesional para obtener su licenciatura titulado “Programación lineal entera para mejorar la programación de horarios de trabajo de conductores en la E.T. Transvial Lima S.A.C.”. Este trabajo, al igual que otros descritos anteriormente, utilizó la programación lineal entera. Así pues, aplicó un diseño transversal, retrospectivo y cuantitativo-aplicativo, en el que empleó métodos científicos y deductivos. El estudio se centra en la programación de horarios dentro de la empresa. De hecho, utiliza fichas técnicas y boletas de observación como instrumentos de recolección de datos y demostró que el modelo propuesto mejoró la asignación de conductores. Esto redujo el número necesario de conductores de 293 a 276, por lo que significó una disminución en los costos de un 6%. De esta manera, el enfoque de la tesis destacó la eficacia de la programación lineal entera para optimizar la gestión de recursos en empresas de transporte.

En ese mismo renglón, Manuel Villafana (2021) realizó la investigación “Programación lineal para la distribución de horarios del personal de atención telefónica en una empresa de telecomunicaciones”. Lo hizo con el objetivo de determinar la distribución de horarios de dicho personal a través de la programación lineal. Su tesis, basada en un método científico y deductivo, se centró en la programación de horarios del personal de atención telefónica en una empresa de telecomunicaciones. Con un diseño transversal, retrospectivo y cuantitativo-aplicativo, se valió de fichas técnicas y boletas de observación como instrumentos de recolección de datos. Los principales resultados mostraron que el modelo propuesto mejoró significativamente la asignación de horarios, al grado de reducir las llamadas abandonadas y de mejorar el nivel de atención en comparación con semanas anteriores.

Por último, Enrique Roca (2019) obtuvo su licenciatura con una tesis titulada “Programación de la producción en una empresa siderúrgica usando programación lineal entera mixta”. El objetivo de esta tesis fue plantear un modelo matemático para optimizar los costos de una mezcla de ingredientes de fundición. El modelo fue probado mediante el *software* Lingo y logró ahorros de hasta \$836,248. Por consiguiente, los resultados mostraron que el modelo de programación lineal propuesto fue significativamente mejor que los anteriores. Además, se

destacó que el resultado fue estático, mientras que la realidad de la empresa es dinámica debido a la variabilidad en los ingredientes.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

En el artículo científico “Linear Programming for the Analysis and Virtual Recreation of Historical Events: the Allocation of the Artillery During the Siege of Bilbao in 1874”, Álvaro Rodríguez-Miranda et al. (2021) aplicaron la programación lineal para modelar y optimizar la distribución y asignación de suministros durante el sitio de Bilbao en 1874, en el marco de la Tercera Guerra Carlista. La investigación se centró en la recreación y análisis de eventos históricos mediante sistemas de información geográfica (GIS) y programación lineal para los que utilizaron modelos basados en informes textuales del frente de guerra. Los modelos diseñados recrean el escenario a través de las variables del sistema y de las restricciones. Los principales resultados mostraron pistas interesantes sobre las dinámicas involucradas durante los procesos y destacaron problemas críticos que condicionaron significativamente los resultados finales. Además, el proceso de modelado demostró ser una oportunidad para la colaboración entre historiadores y científicos informáticos.

Por su cuenta, Kambombo Mtonga et al (2021) publicaron “Modelling Classroom Space Allocation at University of Rwanda: A Linear Programming Approach”, un artículo científico que evalúa el sistema educativo de Ruanda y destaca los avances realizados para ampliar el acceso a la educación terciaria, mediante la asignación óptima del espacio en las aulas. A través de un modelo de programación lineal resuelto mediante el algoritmo Dual Simplex, con el CPLEX Solver implementado en AMPL, la investigación se centró en la asignación de espacio en las aulas del College of Science and Technology, de la Universidad de Ruanda, durante el año académico 2019-2020. Con un diseño transversal y cuantitativo, se emplearon datos obtenidos del College of Science and Technology. Los principales resultados del análisis de solución mediante AMPL revelaron que, de las 68 aulas disponibles en el campus de Nyarugenge, solo 18 –con una capacidad de 2,147 asientos– se utilizaban para facilitar el aprendizaje de aproximadamente 4,088 estudiantes; mientras que 50 aulas, con una capacidad de 1,506 asientos, estaban infrautilizadas o no se utilizaban en absoluto.

Por otra parte, “A Mathematical Model for Course Timetabling Problem with Faculty-Course Assignment Constraints”, un artículo científico de H. Algethami et al, (2021), tenía como objetivo fundamental maximizar la asignación de eventos y la satisfacción de las preferencias de los miembros de la facultad, mientras se equilibran los requisitos de la universidad y se minimizan los días de aprendizaje de los estudiantes y los eventos no asignados. Para lograrlo, utilizaron un modelo de programación lineal mixta de enteros, combinado con restricciones relacionadas con la facultad y se llevaron a cabo experimentos computacionales

para demostrar la eficiencia del modelo. La investigación se centra en la programación automatizada de horarios de cursos en universidades bajo limitaciones de recursos y considera tanto las restricciones relacionadas con los estudiantes como con la facultad. El diseño es un estudio transversal, con pruebas en ocho instancias del mundo real. Las técnicas e instrumentos utilizados incluyen el modelado matemático y experimentos computacionales. Los principales resultados indican que el método propuesto puede generar horarios óptimos para todas las instancias del problema, lo que satisfaría las restricciones de la facultad y también demuestra su eficiencia en diversas situaciones del mundo real.

Asimismo, en su tesis *Mejora de asignacion de salas en Ucampus*, Cristóbal Sepúlveda (2020), explica el proceso para optimizar la distribución de salas en la plataforma *web* de Ucampus, con el objetivo de mejorar la eficiencia de la asignación, mantener los requisitos fundamentales de la solución previa y reducir los tiempos de validación de la distribución realizada. La investigación, que utiliza un método científico y deductivo, se concentra en la distribución de salas y cursos en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Con un diseño transversal, retrospectivo y cuantitativo-aplicativo, emplea técnicas e instrumentos como entrevistas, análisis de datos históricos y validación con usuarios. Los principales resultados mostraron mejoras significativas en la eficiencia de la asignación y reducción en los tiempos de validación.

Según el artículo “Application of Optimization Principles in Classroom Allocation Using Linear Programming”, Nathaniel Kayode Oladejo et al. (2019) aplicaron principios de optimización para resolver el problema de sobreasignación y subasignación de espacios en aulas en la Universidad Landmark de Nigeria. Para ello, formularon un modelo de programación lineal fundamentado en datos obtenidos del comité de horarios de exámenes y clases. La investigación consideró específicamente la asignación de aulas en dicha universidad, utilizando un estudio transversal y cuantitativo. Las técnicas e instrumentos empleados incluyeron el uso del *software* AMPL para la formulación y resolución del modelo. De hecho, los principales resultados del estudio mostraron que 16 de las 32 aulas disponibles, con una capacidad de 2,066 asientos, siempre se utilizaban para acomodar a la población estudiantil actual de 2,522, lo que causaba desbordamiento y congestión. Con la capacidad total proyectada de 3,544 asientos, se podrían acomodar cómodamente 1,022 estudiantes más, lo que generaría ingresos adicionales y muy significativos para la universidad.

En el caso de la tesis “Algoritmos basados en programación lineal entera para el problema de ruteo de buses escolares”, Martín Mongi (2019) se dedicó a estudiar diferentes maneras de resolver el problema de ruteo de buses escolares mediante programación lineal entera (PLE), presentando tres modelos básicos y variantes para mejorar su rendimiento. El

estudio se limitó a un sector urbano, considerando paradas potenciales y ubicaciones de estudiantes, con una única escuela de destino y buses de igual capacidad. Mongi creó un diseño cuantitativo, utilizó modelado con PLE y la agrupación de estudiantes como técnica principal. Los resultados más sobresalientes del estudio demostraron que la agrupación de estudiantes reduce la simetría de los modelos y mejora la eficiencia. Igualmente, probaron que el modelo directo con variables de flujo y cota de caminos mínimos mejora el rendimiento en comparación con la formulación original.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Investigación de Operaciones

La investigación de operaciones es también conocida como ciencia de la gestión. Es una disciplina que, mediante métodos cuantitativos, ayuda en la toma de decisiones (6). Se enfoca en la optimización del uso de recursos, de la manera más eficiente, para obtener los mejores resultados respecto a un objetivo, ya sea de maximización o minimización (7). Así pues, la programación lineal es una de las herramientas más poderosas dentro de la investigación de operaciones (6).

2.2.2. Optimización

La optimización se refiere a la representación abstracta de un problema real mediante consideraciones matemáticas, con el objetivo de obtener resultados óptimos. En términos generales, la optimización busca alcanzar los mejores resultados posibles en una situación determinada, ya sea minimizando los recursos utilizados o maximizando los beneficios obtenidos (8). Este proceso es esencial en múltiples disciplinas, tales como: la ingeniería, la economía y la gestión de proyectos, en las que es crucial tomar decisiones eficientes y efectivas. La optimización ayuda a encontrar soluciones que no sólo cumplen con las restricciones del problema, sino que también mejoran el rendimiento y la eficiencia en la utilización de los recursos disponibles.

2.2.3. Algoritmo Simplex

George Dantzig desarrolló el método Simplex en 1956. Se trata de un algoritmo diseñado para abordar problemas de programación lineal con el fin de resolver problemas de transporte (9). Este método encuentra soluciones factibles iniciales que satisfacen la función objetivo y optimiza el resultado a través de iteraciones realizadas a lo largo de los vértices del conjunto de restricciones (10). El algoritmo Simplex ha demostrado ser eficiente en diversas industrias, al hallar rápidamente la solución óptima para problemas que implican matrices de restricciones dispersas (11).

2.2.4. Función Lineal

Una función lineal se caracteriza por ser una combinación de variables y coeficientes constantes en una ecuación de primer grado, en la que las variables están elevadas a la primera potencia (12). Por ejemplo, en el contexto de programación lineal, si el objetivo es maximizar las ganancias (Z) y las variables son la cantidad de producto A (x) y la cantidad de producto B (y) que se fabrican, la función objetivo lineal podría ser:

$$Z = Ax + By$$

Donde:

Z : Representa el valor buscado

A y B : Representan los coeficientes constantes.

x e y : Representan las variables de primer grado

2.3. Definición de Términos Básicos

Optimización: Proceso de hacer algo lo más efectivo posible; en el contexto de la programación lineal, se refiere a encontrar la mejor solución posible dentro de un conjunto de restricciones (6).

Programación Lineal: Técnica matemática utilizada para maximizar o minimizar una función objetivo lineal, sujeta a un conjunto de restricciones lineales (10).

Función Objetivo: Ecuación matemática que representa el objetivo principal del problema de optimización, como maximizar beneficios o minimizar costos (10; 13).

Variables de Decisión: Elementos que se pueden controlar o ajustar dentro del problema de optimización. Representan las incógnitas que se deben determinar para alcanzar el objetivo deseado (10).

Restricciones: Limitaciones o condiciones que deben cumplirse en el problema de optimización. Se expresan como ecuaciones o inecuaciones lineales que delimitan el espacio de soluciones factibles (10).

Algoritmo Simplex: Método desarrollado por George Dantzig para resolver problemas de programación lineal. Encuentra soluciones factibles iniciales y optimiza el resultado a través de iteraciones (6).

Modelo de Programación Lineal: Representación matemática de un problema de optimización que incluye una función objetivo y un conjunto de restricciones. Puede ser general, entero o binario (13).

Capacidad de Aforo: Número máximo de personas que pueden ser acomodadas en un espacio determinado, como un aula (5).

Asignación de Recursos: Proceso de distribuir recursos disponibles, como aulas o personal, de manera óptima para maximizar beneficios y minimizar costos (8).

Método Simplex: Algoritmo utilizado para resolver problemas de programación lineal, optimizando la función objetivo a través de iteraciones (10; 14; 13).

Open Solver: Herramienta de código abierto que funciona como complemento para Microsoft Excel. Permite resolver modelos de optimización lineal, entera y no lineal utilizando diferentes motores de optimización, como el COIN-OR CBC1 (9).

2.4. Marco Conceptual

2.4.1. Programación Lineal

Es una herramienta matemática utilizada para determinar la mejor solución a un problema, al maximizar o minimizar una función objetivo lineal, sujeta a un conjunto de restricciones lineales (13). Estas restricciones representan las limitaciones o condiciones del problema y se expresan matemáticamente como ecuaciones o inecuaciones lineales, estableciendo límites dentro de los que se debe encontrar la solución (6).

2.4.1.1. Función Objetivo

En un modelo de programación lineal, la función objetivo es una expresión matemática en la que las variables de decisión se multiplican por coeficientes constantes y se suman entre sí. Esto significa que las variables y el valor de la función objetivo tienen una relación proporcional (13). La función busca, mediante una combinación lineal de variables de decisión, optimizar un resultado que es expresado de la siguiente forma:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Donde:

Z: Representa el valor resultante de la función objetivo.

c_i : Representa el coeficiente constante asociado a la variable de decisión x_i .

x_i : Representa la variable de decisión i -ésima.

Es importante destacar que la solución óptima de un problema de programación lineal puede verse afectada por cambios en los parámetros del modelo, tales

como los coeficientes de la función objetivo o los valores de las restricciones (6).

2.4.1.2. Variables de Decisión

Las variables de decisión representan las incógnitas al problema, es decir, son elementos que se deben determinar para lograr cumplir con la función objetivo. Estas variables representan los elementos que se pueden controlar o ajustar dentro del problema y son fundamentales para alcanzar el objetivo deseado, ya sea maximizar o minimizar un resultado específico (14). Además, las variables de decisión deben cumplir con todas las restricciones impuestas, que son las limitaciones o condiciones que definen el marco del problema.

2.4.1.3. Restricciones

Las restricciones representan las limitaciones presentes en el mundo real, tales como: la disponibilidad de recursos, la capacidad de producción, la demanda del mercado y las regulaciones legales, entre otras (6). Las restricciones se muestran como un conjunto de ecuaciones e inecuaciones lineales que delimitan el espacio de soluciones factibles al establecer los límites que deben respetar las variables de decisión, para que la solución sea válida en el contexto del problema. Se expresan de la siguiente forma:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n \geq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \cdots + a_{3n}x_n = b_3$$

Donde:

x_i : Representa a las variables de decisión presentes en cada restricción.

a_{ij} : Reflejan la relación entre las variables de decisión y la restricción mediante valores constantes.

b_i : Representan los valores límite, mínimo o de igualdad que se deben cumplir.

Las restricciones son mucho más que simples ecuaciones o inecuaciones, pues se trata del lenguaje que permite modelar las limitaciones del mundo real en un problema de programación lineal. Por tanto, su correcta formulación y comprensión son fundamentales para el éxito del modelo y la obtención de soluciones óptimas y significativas (14).

2.4.2. Modelo de Programación Lineal

Un modelo de programación lineal es una herramienta matemática empleada para identificar la solución óptima de un problema que puede ser expresado mediante relaciones lineales. Este modelo se centra en la optimización de una función objetivo, la cual representa la cantidad que se busca maximizar o minimizar. Está sujeta a un conjunto de restricciones que limitan las soluciones posibles, debe cumplir con que todas las variables se conozcan con certeza (coeficientes y términos independientes) (6) y que, tanto las funciones objetivo como las restricciones, tengan una relación proporcional de linealidad (13). De existir otro tipo de relación, estaríamos ante un modelo de programación no lineal.

Para resolver un modelo de programación lineal se utilizan algoritmos de optimización y el método Simplex es el más conocido. Este método parte de una solución factible y la mejora iterativamente, hasta encontrar la solución óptima (6).

Los modelos de programación lineal son herramientas sumamente efectivas para la toma de decisiones en diversas situaciones, debido a su capacidad para identificar soluciones óptimas para problemas complejos y porque tienen en cuenta las limitaciones del mundo real. Por ello, constituye una herramienta invaluable para la gestión eficiente de recursos y la optimización de procesos.

2.4.2.1. Programación Lineal General

En la programación lineal general las variables de decisión pueden tomar cualquier valor real dentro de los límites establecidos por las restricciones (13).

2.4.2.2. Programación Lineal Entera

Es una extensión de la programación lineal general donde se añade la restricción de que algunas o todas las variables de decisión deben tomar valores enteros (15). Esta restricción adicional transforma el problema de optimización, ya que el espacio de soluciones factibles deja de ser continuo y se convierte en un conjunto de puntos pues tendrá valores discretos (16).

2.4.2.3. Programación Lineal Binaria

La programación lineal binaria es un tipo específico de programación lineal entera, donde las variables de decisión solo pueden tomar dos valores: 0 o 1 (17). Estos valores binarios representan decisiones de tipo "sí" o "no", "encendido" o "apagado", "activo" o "inactivo", "asignado" o "no asignado", etc.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método de la investigación

Este estudio se lleva a cabo con un enfoque cuantitativo, ya que se basa en mediciones numéricas para corroborar la hipótesis. Además, también es descriptivo, porque se compararán en detalle los resultados obtenidos con los resultados iniciales, para explicar con detalle cómo mejoran los resultados obtenidos (19). De modo que puede proporcionar información valiosa para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

En un principio, se analizarán de manera crítica los requerimientos de la universidad, a partir de la situación presentada en el artículo científico "Application of Optimization Principles in Classroom Allocation Using Linear Programming" (en adelante, *artículo de referencia*). El análisis del modelo generado, denominado como *modelo anterior* desde el inicio de este trabajo, tiene como fin comprender la lógica matemática utilizada en su definición. Posteriormente, se propondrá un nuevo modelo matemático, denominado *modelo nuevo*, que buscará mejorar la asignación de aulas en *la Universidad*, pero utilizando la misma información del artículo científico ya reseñado.

A continuación, se replicará el modelo matemático propuesto en el artículo científico para aplicar el algoritmo Simplex de programación lineal mediante la herramienta Solver, con el objetivo de analizar los resultados en detalle. Este paso es necesario para validar la precisión y eficacia del *modelo anterior*. Para el *modelo nuevo*, se seguirá el mismo procedimiento, al ejecutar el algoritmo Simplex mediante OpenSolver debido a la magnitud de las variables, con el fin de analizar y comparar los resultados con el *modelo anterior*. La utilización de OpenSolver es necesaria debido a la complejidad y el tamaño del *modelo nuevo*, ya que permite manejar un mayor número de variables y restricciones.

Finalmente, se realizará un análisis comparativo numérico para evaluar en qué medida el *modelo nuevo* mejora los resultados obtenidos en comparación con el *modelo anterior*. Este análisis comparativo servirá para corroborar la efectividad del modelo propuesto en este estudio y para identificar las áreas específicas en las que se han logrado mejoras de acuerdo a lo que plantea la hipótesis.

3.2. Diseño de la investigación

Esta investigación adopta un diseño analítico de intervención experimental (20), en el que se utilizan datos obtenidos de estudios previos, realizados en *la Universidad*, para desarrollar un modelo de programación lineal. Entonces, se procederá a analizar los resultados obtenidos en comparación con los resultados presentados en el *artículo de referencia*. Además, se manipularán las variables al plantear un *modelo nuevo* para evaluar su efectividad en la optimización de la asignación de aulas (18). El proceso se dividirá en las siguientes etapas:

1. **Análisis de requerimiento de la universidad con base en el *modelo anterior*:** Se analizará de manera crítica la situación actual de *la Universidad* y cómo el artículo científico definió la necesidad.
2. **Análisis del *modelo anterior*:** Se analizará el modelo matemático presentado en el *artículo de referencia*, para comprender la lógica matemática utilizada en su definición.
3. **Propuesta del *modelo nuevo*:** Se desarrollará un modelo matemático nuevo, que buscará mejorar la asignación de aulas en *la Universidad*, utilizando la misma información del *artículo de referencia*.
4. **Aplicación del algoritmo Simplex:**
 - Para el *modelo anterior*, se replicará el modelo matemático y se aplicará el algoritmo Simplex de programación lineal mediante la herramienta Solver, con el objetivo de analizar los resultados en detalle.
 - Para el *modelo nuevo*, se seguirá el mismo procedimiento, pues se ejecutará el algoritmo Simplex, mediante OpenSolver, debido a la magnitud de las variables, con el fin de analizar y comparar los resultados con el *modelo anterior*.
5. **Análisis comparativo:** Finalmente, se realizará un análisis comparativo numérico para evaluar en qué medida el *modelo nuevo* mejora los resultados obtenidos en comparación con el *modelo anterior*.

3.3. Alcance de la investigación

El *modelo nuevo* que propone esta investigación busca exponer cómo la aplicación de principios de optimización para la asignación de aulas, mediante programación lineal, mejora los resultados en comparación con el *modelo anterior*. Para lograr este objetivo, se analizarán las necesidades de asignación de *la Universidad* y se desarrollará un *modelo nuevo* que se comparará con el *modelo anterior*. Para ello, se empleará el método Simplex, a través de la utilización del *software* OpenSolver, el cual es adecuado para resolver problemas de programación lineal y facilita su aplicación en el contexto de este estudio. Además, se realizará un análisis numérico comparativo para evaluar la eficacia del *modelo nuevo* en comparación con el modelo original, identificando así las mejoras en la asignación y el aprovechamiento de la capacidad instalada, por medio del análisis de indicadores relevantes y de los datos disponibles. Una vez finalizado este proceso, se procederá a describir los resultados obtenidos de ambos modelos.

Esta investigación se limita al análisis del modelo con los datos originales del *artículo de referencia*, excluyendo el análisis dual y escenarios futuros, dado que se enfoca en la

optimización del modelo actual y no en un análisis de sensibilidad. También se excluyen comparaciones con información adicional o métodos de asignación con restricciones distintas, como horarios, ya que estos datos no están disponibles en el *artículo de referencia*. Estas limitaciones aseguran la viabilidad del estudio al concentrar el análisis en los datos disponibles y evitar extrapolaciones que no se puedan sustentar.

3.4. Técnicas e Instrumentos

3.4.1. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1.1. Técnicas

Para esta investigación, se realizará una revisión documental para la cual se usará la información indicada en el *artículo de referencia* como fuente principal.

3.1.2. Instrumentos

Para la recolección de datos se usaron tablas de Excel para organizar la información obtenida.

3.4.2. Técnicas e Instrumentos de Análisis de Datos

3.4.2.1. Técnica

Para el análisis comparativo de datos, se utilizará la información indicada en el *artículo de referencia*.

3.4.2.2. Instrumentos

Para registrar la revisión documental, se utilizó Microsoft Excel, mediante la creación de una estructura similar al modelo matemático con los mismos datos del *artículo de referencia* con el fin de replicar los resultados obtenidos. El análisis comparativo se llevará a cabo utilizando el mismo *software*. Para el *modelo anterior*, se empleará la función Solver; mientras que para el *modelo nuevo*, se utilizará OpenSolver debido al gran volumen de variables.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Análisis de Requerimiento

En el *artículo de referencia* se abordó el problema de la subestimación en la distribución de ambientes. La universidad dispone de 19 tipos de aulas con diferentes capacidades y una capacidad de aforo total para 2,861 estudiantes. Actualmente, la universidad cuenta con 3 facultades que ofrecen 19 carreras distintas, cada una con 5 niveles y un total de 2,522 alumnos matriculados (5).

Tabla 1 Características por Tipo de Aula

Tipo de Aula	Número de Aulas	Capacidad del Aula	Capacidad Total
A01	1	92	92
A02	1	36	36
A13	1	38	38
A12	1	40	40
A22, A23	2	42	84
A03	1	45	45
B12, B13, B22, B23	4	48	192
B02, B03	2	55	110
C02, C12, C13	3	60	180
C14	1	70	70
A11, A14	2	72	144
B04, B14, B24	3	91	273
A315	1	96	96
A04, A21, A24	3	98	294
B01, A215	2	100	200
A316	1	104	104
B21	1	119	119
LT2 PLANTA ALTA	1	350	350
LT1 PLANTA BAJA	1	394	394
Total	32		2,861

Fuente: *artículo de referencia*

Tabla 2 Distribución de Facultades y Carreras

Facultad	Carrera
CAS	Agrícola Economías
	Ciencia de Cultivo
	Ciencias de los animales
	Ing. Agrícola
	Ciencia de Suelo
CSE	Ciencias de la Computación
	Ciencias Biológicas
	Ciencias Físicas

	Ing. Civil
	Ing. Química
	Ing. Mecánica
	EIE
	ABE
	Contabilidad
	Administración Bus
CBS	Economía
	Sociología
	BFN
	Pol Sc & Int Rel

Fuente: *artículo de referencia*

Tabla 3 Alumnos Matriculados por Carrera y Nivel

Carreras	Alumnos en Nivel 100	Alumnos en Nivel 200	Alumnos en Nivel 300	Alumnos en Nivel 400	Alumnos en Nivel 500	Total
Agrícola						
Economías	15	12	18	4	7	56
Ciencia de						
Cultivo	9	7	5	4	0	25
Ciencias de los						
animales	10	14	6	4	4	38
Ing. Agrícola	5	8	5	7	2	27
Ciencia de						
Suelo	2	4	3	2	2	13
Ciencias de la						
Computación	114	52	36	25	0	227
Ciencias						
Biológicas	68	66	54	39	0	227
Ciencias Físicas	12	9	17	18	0	56
Ing. Civil	86	45	46	47	27	251
Ing. Química	30	30	20	25	28	133
Ing. Mecánica	97	72	48	36	35	288
EIE	86	57	58	65	50	316
ABE	8	23	14	12	8	65
Contabilidad	61	69	52	37	0	219
Administración						
Bus	21	27	30	27	0	105
Economía	45	33	22	32	0	132
Sociología	31	23	18	14	0	86
BFN	5	8	6	14	0	33
Pol Sc & Int Rel	76	52	60	37	0	225
Total	781	611	518	449	163	2,522

Fuente: *artículo de referencia*

El *artículo de referencia* propone maximizar la asignación de aulas, tomando en cuenta la capacidad total de aforo para cada grupo de alumnos en las diferentes carreras. Por lo tanto,

interpreta que la necesidad de *la Universidad* era asignar las aulas a la mayor cantidad de alumnos por carrera para incrementar así el uso del aforo.

Al hacer un análisis crítico y observar que existen distintos niveles y carreras, el requerimiento real de *la Universidad* es asignar las aulas para la mayor cantidad de alumnos posible de manera exclusiva, es decir, por carrera y nivel, aumentando la cantidad de alumnos matriculados y aprovechando en mayor medida el aforo.

4.2. Desarrollo de Modelo de Programación Lineal

4.2.1. Análisis de Modelo Anterior

El modelo presentado en el artículo de referencia muestra una estructura que asigna estudiantes de manera lineal y en el que cada grupo de alumnos por carrera solo puede ser asignado a un tipo de aula*:

Función Objetivo

Se busca maximizar el uso de aulas según capacidad.

$$\begin{aligned} \text{Max } P = & 36x_1 + 38x_2 + 40x_3 + 84x_4 + 45x_5 + 192x_6 + 110x_7 + 180x_8 + 70x_9 \\ & + 144x_{10} + 273x_{11} + 92x_{12} + 96x_{13} + 294x_{14} + 200x_{15} + 104x_{16} \\ & + 119x_{17} + 350x_{18} + 394x_{19} \end{aligned}$$

Restricciones

La asignación de alumnos por carrera en las aulas no debe exceder el número total de estudiantes en el nivel 100.

$$\begin{aligned} 19x_1 + 9x_2 + 10x_3 + 5x_4 + 2x_5 + 114x_6 + 68x_7 + 12x_8 + 86x_9 + 30x_{10} + 97x_{11} \\ + 86x_{12} + 8x_{13} + 61x_{14} + 21x_{15} + 45x_{16} + 31x_{17} + 5x_{18} + 76x_{19} \\ \leq 781 \end{aligned}$$

La asignación de alumnos por carrera en las aulas no debe exceder el número total de estudiantes en el nivel 200.

$$\begin{aligned} 12x_1 + 7x_2 + 14x_3 + 8x_4 + 4x_5 + 52x_6 + 66x_7 + 9x_8 + 45x_9 + 30x_{10} + 72x_{11} \\ + 57x_{12} + 23x_{13} + 69x_{14} + 27x_{15} + 33x_{16} + 23x_{17} + 8x_{18} + 52x_{19} \\ \leq 611 \end{aligned}$$

La asignación de alumnos por carrera en las aulas no debe exceder el número total de estudiantes en el nivel 300.

$$\begin{aligned}
&18x_1 + 5x_2 + 6x_3 + 5x_4 + 3x_5 + 36x_6 + 54x_7 + 17x_8 + 46x_9 + 20x_{10} + 48x_{11} \\
&\quad + 58x_{12} + 14x_{13} + 52x_{14} + 30x_{15} + 22x_{16} + 18x_{17} + 6x_{18} + 60x_{19} \\
&\leq 518
\end{aligned}$$

La asignación de alumnos por carrera en las aulas no debe exceder el número total de estudiantes en el nivel 400.

$$\begin{aligned}
&4x_1 + 4x_2 + 4x_3 + 7x_4 + 2x_5 + 25x_6 + 39x_7 + 18x_8 + 47x_9 + 25x_{10} + 36x_{11} \\
&\quad + 65x_{12} + 12x_{13} + 37x_{14} + 27x_{15} + 32x_{16} + 14x_{17} + 14x_{18} \\
&\quad + 37x_{19} \leq 449
\end{aligned}$$

La asignación de alumnos por carrera en las aulas no debe exceder el número total de estudiantes en el nivel 500.

$$7x_1 + 4x_2 + 2x_3 + 2x_4 + 27x_5 + 28x_6 + 35x_7 + 50x_8 + 8x_9 \leq 163$$

La suma de aulas asignadas es menor o igual al total de aulas en la universidad

$$\begin{aligned}
&x_1 + x_2 + x_3 + 2x_4 + x_5 + 4x_6 + 2x_7 + 3x_8 + x_9 + 2x_{10} + 3x_{11} + x_{12} + x_{13} \\
&\quad + 3x_{14} + 2x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} \leq 32
\end{aligned}$$

Límite de capacidad de aforo total

$$\begin{aligned}
&92x_1 + 36x_2 + 38x_3 + 40x_4 + 45x_5 + 48x_6 + 55x_7 + 60x_8 + 70x_9 + 72x_{10} \\
&\quad + 91x_{11} + 96x_{12} + 98x_{13} + 100x_{14} + 104x_{15} + 119x_{16} + 350x_{17} \\
&\quad + 394x_{18} \leq 2,861
\end{aligned}$$

Distribución en asignación por cantidad total de tipo de aula

$$\begin{aligned}
&x_1 \leq 1, x_2 \leq 1, x_3 \leq 2, x_4 \leq 1, x_5 \leq 4, x_6 \leq 2, x_7 \leq 3, x_8 \leq 1, x_9 \leq 2, x_{10} \leq 3, x_{11} \\
&\leq 1, x_{12} \leq 1, x_{13} \leq 3, x_{14} \leq 2, x_{15} \leq 1, x_{16} \leq 1, x_{17} \leq 1, x_{18} \leq 1
\end{aligned}$$

Condición de no negatividad

$$x_1; x_2; x_3; x_4; x_5; x_6; x_7; x_8; x_9; x_{10}; x_{11}; x_{12}; x_{13}; x_{14}; x_{15}; x_{16}; x_{17}; x_{18}; x_{19} \geq 0$$

(*) Se respetaron los valores indicados en el artículo, aunque este presenta valores incorrectos e inconsistencias. No obstante, el modelo es claro en su alcance.

4.2.2. Nuevo Modelo

Se propone un modelo basado en matrices donde cada grupo de alumnos por carrera puedan ser asignados a las diferentes aulas:

Matrices por nivel de estudios y carreras

$$L_{100} = \begin{bmatrix} a_{1;1} & \cdots & a_{1;19} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{19;1} & \cdots & a_{19;19} \end{bmatrix}, L_{200} = \begin{bmatrix} b_{1;1} & \cdots & b_{1;19} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{19;1} & \cdots & b_{19;19} \end{bmatrix}, L_{300} = \begin{bmatrix} c_{1;1} & \cdots & c_{1;19} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{19;1} & \cdots & c_{19;19} \end{bmatrix}$$

$$L_{400} = \begin{bmatrix} d_{1;1} & \cdots & d_{1;19} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{19;1} & \cdots & d_{19;19} \end{bmatrix}, L_{500} = \begin{bmatrix} e_{1;1} & \cdots & e_{1;19} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{19;1} & \cdots & e_{19;19} \end{bmatrix}$$

Matriz de distribución de alumnos matriculados

$$M_1 = \begin{bmatrix} m_{1;1} & \cdots & m_{1;5} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{19;1} & \cdots & m_{19;5} \end{bmatrix}$$

Los elementos de la matriz son los alumnos matriculados de la Tabla 3.

Función Objetivo

Se busca maximizar la cantidad de alumnos asignados según la capacidad de cada aula por Nivel y Carrera.

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{19} \sum_{k=1}^{19} ((a_{i,j} + b_{i,j} + c_{i,j} + d_{i,j} + e_{i,j}) \cdot k)$$

Donde i = (Alumnos asignados a cada tipo de aula), j = (Alumnos asignados por Carrera), k = (Capacidad por tipo de aula)

Restricciones

Restricciones por capacidad total de aula según tipo

$$\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^5 (a_{i,j} \cdot m_{i,1} + b_{i,j} \cdot m_{i,2} + c_{i,j} \cdot m_{i,3} + d_{i,j} \cdot m_{i,4} + e_{i,j} \cdot m_{i,5}) \leq R_{1j}$$

$$R_1 = \{92; 36; 38; 40; 84; 45; 192; 110; 180; 70; 144; 273; 96; 294; 200; 104; 119; 350; 394\}$$

Restricción de números de aula por tipo

$$\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{19} (a_{i,j} + b_{i,j} + c_{i,j} + d_{i,j} + e_{i,j}) \leq R_{2j}$$

$$R_2 = \{1; 1; 1; 1; 2; 1; 4; 2; 3; 1; 2; 3; 1; 3; 2; 1; 1; 1; 1\}$$

Restricción de cantidad máxima de alumnos por carrera

$$\sum_{j=1}^{19} \sum_{i=1}^5 (a_{i,j} \cdot m_{i,j} + b_{i,j} \cdot m_{i,j} + c_{i,j} \cdot m_{i,j} + d_{i,j} \cdot m_{i,j} + e_{i,j} \cdot m_{i,j}) \leq m_{i,j}$$

Restricción de asignación binaria

$$(a_{i,j}; b_{i,j}; c_{i,j}; d_{i,j}; e_{i,j}) \in \{0; 1\} \text{ para cada } i, j$$

Donde $i, j = \{1; 2; 3; \dots; 19\}$

4.2.3. Análisis Comparativo de Modelos

El *modelo anterior* presenta una matriz de 19 x 19 con una asignación de aulas de 1 a 19. Busca que la capacidad de aforo sea utilizada de la mejor manera, mediante el análisis de 361 opciones, mientras que el *modelo nuevo* se extiende en una suma de 5 matrices de 19 x 19. Esto permite una asignación de 95 a 19, ya que cada grupo de alumnos puede ser asignado a cualquier aula, buscando maximizar la cantidad de alumnos que puedan tener un aula asignada, analizando así 1,805 opciones.

Por lo tanto, respecto a los indicadores, la estructura de la función objetivo del *modelo nuevo* atiende todas las posibilidades de asignación de aulas. En cuanto a la definición de restricciones y límites para la solución del problema, el *modelo anterior* tiene 44 restricciones, mientras que el *modelo nuevo* presenta 1,938 restricciones, tal y como se muestra en el siguiente cuadro de análisis comparativo entre los modelos:

Restricción	Modelo Anterior	Nuevo Modelo
Restricción por capacidad de aula	Presenta 1 restricción por capacidad total de aforo	Contempla las 19 restricciones por cada tipo de aula
Restricción de números de aula por tipo	Presenta 19 restricciones	Presenta 19 restricciones
Restricciones de número de alumnos por carrera	Presenta 5 restricciones	Presenta 95 restricciones
Restricción de asignación	Presenta 19 restricciones de no negatividades	Presenta 1,805 restricciones de asignación binaria

Fuente: Elaboración Propia

4.3. Resultados del modelo de programación lineal

4.3.1. Resultados del *modelo anterior*

El *artículo de referencia*, tras aplicar la programación lineal al modelo propuesto mediante el *software* AMPL, indica que puede asignar aulas a 2,066 de los 2,522 alumnos matriculados. De manera que solo utiliza el 72.2% de la capacidad total de aforo.

Tabla 4 Resultados de Modelo Anterior, Aulas asignadas

Tipo de aula	Número de aulas	Capacidad del aula	Capacidad total	Aulas asignadas	Capacidad utilizada
A01	1	92	92	1	92
A02	1	36	36	0	0
A13	1	38	38	0	0
A12	1	40	40	0	0
A22, A23	2	42	84	0	0

A03	1	45	45	0	0
B12, B13, B22, B23	4	48	192	0	0
B02, B03	2	55	110	0	0
C02, C12, C13	3	60	180	0	0
C14	1	70	70	0	0
A11, A14	2	72	144	2	144
B04, B14, B24	3	91	273	3	273
A315	1	96	96	1	96
A04, A21, A24	3	98	294	3	294
B01, A215	2	100	200	2	200
A316	1	104	104	1	104
B21	1	119	119	1	119
LT2 PLANTA ALTA	1	350	350	1	350
LT1 PLANTA BAJA	1	394	394	1	394
Total	32		2,861	16	2,066

Fuente: “Application of optimization principles in classroom allocation using linear programming” (artículo científico)

4.3.2. Resultados de *modelo nuevo*

Luego de ejecutar el algoritmo matemático Simplex en el *modelo nuevo*, mediante OpenSolver se asignan aulas para 1,811 alumnos utilizando el 100% del aforo.

Tabla 5 Resultados de Nuevo Modelo, Carreras y alumnos con aulas asignadas

Carreras	Alumnos en nivel 100	Alumnos en nivel 200	Alumnos en nivel 300	Alumnos en nivel 400	Alumnos en nivel 500	Total
Agrícola						
Economías	0	0	0	0	0	0
Ciencia de Cultivo	0	0	0	0	0	0
Ciencias de los animales	0	0	0	0	0	0
Ing. Agrícola	0	0	0	0	0	0
Ciencia de Suelo	0	0	0	0	0	0
Ciencias de la Computación	114	52	36	0	0	202
Ciencias Biológicas	68	66	54	39	0	227
Ciencias Físicas	0	0	0	0	0	0
Ing. Civil	86	45	46	47	0	224
Ing. Química	0	0	0	0	0	0
Ing. Mecánica	97	72	48	36	35	288
EIE	86	57	58	65	50	316
ABE	0	0	0	0	0	0
Contabilidad	61	69	52	37	0	219
Administración						
Bus	0	0	0	0	0	0
Economía	45	33	0	32	0	110
Sociología	0	0	0	0	0	0
BFN	0	0	0	0	0	0

Pol Sc & Int Rel	76	52	60	37	0	225
Total	633	446	354	293	85	1,811

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Análisis Comparativo de Resultados

Al intentar analizar los resultados del *modelo anterior*, no se encontraron datos sobre la cantidad de alumnos y las carreras que podrán utilizar las aulas asignadas. Por ello, se replicó el modelo para ser resuelto con Solver. A continuación, se muestran observaciones y comentarios obtenidos a los resultados presentados en la tabla 6

Al replicar el modelo, se obtuvo un uso del 73.2% de la capacidad de aforo (2,095 de 2,861), mientras que el artículo llegó a utilizar el 72.2% de la capacidad (2,066 de 2,861). La asignación de alumnos por aula y carrera se puede ver en la tabla 7.

A pesar de que en la réplica se logra una mejor optimización, se evidencia una asignación incorrecta de aulas. Debido al modelo, los resultados muestran que algunas aulas fueron asignadas hasta 5 veces, lo que implica que la misma aula deberá ser utilizada simultáneamente o en turnos por alumnos de la misma carrera y durante el mismo día. Además, no se puede determinar el uso real del aforo, ya que hay aulas con una capacidad de 42 alumnos que se utilizadan por 5 grupos de menos de 5 alumnos cada uno (véase la carrera de Ciencia de Suelo).

Cabe destacar que, se tuvo que incorporar una restricción de variables enteras a la réplica, a pesar de que esta condición no se establece en el *modelo anterior*. Esto se hizo para evitar resultados decimales que no reflejan la realidad. De hecho, los resultados del *modelo nuevo* se muestran en la tabla 8. La asignación de aulas ha sido altamente eficiente, sin ninguna doble asignación. De esta forma, puede asegurarse que todas las carreras tengan acceso a cualquier tipo de aula disponible. Además, el uso real del aforo se puede determinar fácilmente mediante una simple multiplicación de la cantidad de alumnos por las aulas asignadas. Por cierto, para garantizar una gestión óptima y transparente de los recursos educativos, véase la tabla 9.

El siguiente cuadro presenta indicadores de eficiencia en el resultado del *modelo nuevo* vs el *modelo anterior*

Factores	Modelo anterior	Modelo nuevo
Capacidad de aforo utilizada	2095 de 2861	2861 de 2861
Porcentaje de aulas utilizadas respecto a su capacidad total	73%	100%
Núm. total de alumnos que pueden ser asignados a las aulas	2424 de 2522	1811 de 2522

Asignación viable	Aulas asignadas más de 5 veces	Aulas asignadas 1 sola vez
¿El modelo puede ser aplicado a la realidad?	No	Si

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6 Análisis de resultados de asignación Modelo Anterior

Variable	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19
Tipo de aula	A01	A02	A13	A12	A22, A23	A03	B12, B13, B22, B23	B02, B03	C02, C12, C13	C14	A11, A14	B04, B14, B24	A315	A04, A21, A24	B01, A215	A316	B21	LT2 PLANT A ALTA	LT1 PLANT A BAJA
Capacidad	92	36	38	40	42	45	48	55	60	70	72	91	96	98	100	104	119	350	394
Asignación	1	1	1	1	1	1	0	2	0	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Análisis de resultados modelo replicado

Carrera	Alumnos asignados					Aula asignada	Cant. de aulas	Var.	Capacidad	Asignación	Veces asignado	Aforo no utilizado
	Nivel 100	Nivel 200	Nivel 300	Nivel 400	Nivel 500							
Agrícola Economías	15	12	18	4	7	A01	1	x1	92		1	56
Ciencia de Cultivo	9	7	5	4	0	A02	1	x2	36		1	25
Ciencias de los animales	10	14	6	4	4	A13	1	x3	38		1	38
Ing. Agrícola	5	8	5	7	2	A12	1	x4	40		1	27
Ciencia de Suelo	2	4	3	2	2	A22, A23	2	x5	42		1	13
Ciencias de la Computación	114	52	36	25	0	A03	1	x6	45		1	227
Ciencias Biológicas	68	66	54	39	0	B12, B13, B22, B23	4	x7	48		0	0
Ciencias Físicas	12	9	17	18	0	B02, B03	2	x8	55		2	112
Ing. Civil	86	45	46	47	27	C02, C12, C13	3	x9	60		0	0
Ing. Química	30	30	20	25	28	C14	1	x10	70		1	133
Ing. Mecánica	97	72	48	36	35	A11, A14	2	x11	72		1	288
EIE	86	57	58	65	50	B04, B14, B24	3	x12	91		1	316

ABE	8	23	14	12	8	A315	1	x13	96	1	5	65
Contabilidad	61	69	52	37	0	A04, A21, A24 B01,	3	x14	98	2	4	438
Administración Bus	21	27	30	27	0	A215	2	x15	100	2	4	210
Economía	45	33	22	32	0	A316	1	x16	104	1	4	132
Sociología	31	23	18	14	0	B21	1	x17	119	1	4	86
BFN	5	8	6	14	0	LT2 PLANTA ALTA	1	x18	350	1	4	33
Pol Sc & Int Rel	76	52	60	37	0	LT1 PLANTA BAJA	1	x19	394	1	4	225
Fuente: Elaboración propia												

Tabla 8 Análisis de resultados de Nuevo Modelo

		Cantidad de alumnos	Tipo de aula																			Uso de Aforo
Nivel	Carrera		A01	A02	A13	A12	A22, A23	A03	B12, B13, B22, B23	B02, B03	C02, C12, C13	C14	A11, A14	B04, B14, B24	A315	A04, A21, A24	B01, A215	A316	B21	LT2 P ALTA	LT1 P BAJA	
L100	Agrícola	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Economías	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencia de Cultivo	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencias de los animales	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ing. Agrícola	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencia de Suelo	114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	114
	Ciencias de la Computación	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	68
	Ciencias Biológicas																					

L200	Ciencias Físicas	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ing. Civil	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	86	
	Ing. Química	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ing. Mecánica	97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	97	
	EIE	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	86	
	ABE	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Contabilidad	61	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61
	Administración																				
	Bus	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Economía	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	45
	Sociología	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BFN	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pol Sc & Int																				
	Rel	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	76
	Agrícola																				
	Economías	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencia de																				
	Cultivo	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencias de los																				
	animales	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ing. Agrícola	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencia de																				
	Suelo	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencias de la																				
	Computación	52	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52
	Ciencias																				
Biológicas	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	66	
Ciencias																					
Físicas	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ing. Civil	45	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	
Ing. Química	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ing. Mecánica	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	72	
EIE	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	57	
ABE	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

L300	Contabilidad	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69
	Administración																				
	Bus	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Economía	33	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
	Sociología	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BFN	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pol Sc & Int																				
	Rel	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	52
	Agrícola																				
	Economías	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencia de																				
	Cultivo	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencias de los																				
	animales	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ing. Agrícola	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencia de																				
	Suelo	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencias de la																				
	Computación	36	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
	Ciencias																				
	Biológicas	54	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54
	Ciencias																				
	Físicas	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ing. Civil	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	46
	Ing. Química	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ing. Mecánica	48	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
	EIE	58	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58
	ABE	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Contabilidad	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	52
	Administración																				
	Bus	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Economía	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sociología	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BFN	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pol Sc & Int																				
	Rel	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	60

L400	Agrícola																				
	Economías	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencia de																				
	Cultivo	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencias de los																				
	animales	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ing. Agrícola	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencia de																				
	Suelo	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencias de la																				
	Computación	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencias																				
	Biológicas	39	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
	Ciencias																				
	Físicas	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L500	Ing. Civil	47	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47
	Ing. Química	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ing. Mecánica	36	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
	EIE	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	65
	ABE	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Contabilidad	37	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
	Administración																				
	Bus	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Economía	32	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
	Sociología	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BFN	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pol Sc & Int																				
	Rel	37	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
	Agrícola																				
	Economías	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencia de																				
	Cultivo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ciencias de los																				
	animales	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ing. Agrícola	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ciencia de Suelo	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciencias de la Computación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciencias Biológicas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciencias Físicas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ing. Civil	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ing. Química	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ing. Mecánica	35	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
EIE	50	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
ABE	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Contabilidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Administración	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Economía	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sociología	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BFN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pol Sc & Int	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totales		1	1	1	1	2	1	4	2	3	1	2	3	1	3	2	1	1	1	1	1811

Fuente: Elaboración propia

Donde 0 indica que el aula no está asignada y 1 indica que el aula está asignada.

Tabla 9 Análisis de resultados en asignación de Nuevo Modelo

Nivel	Carrera	Asignación	Aula asignada	Capacidad de aula	Aforo no utilizado
L100	Ciencias de la Computación	114	B21	119	5
L100	Ciencias Biológicas	68	B04	91	23
			LT1 PLANTA		
L100	Ing. Civil	86	BAJA	394	308
L100	Ing. Mecánica	97	A04	98	1
L100	EIE	86	B01	100	14
L100	Contabilidad	61	A01	92	31
L100	Economía	45	A21	98	53
L100	Pol Sc & Int Rel	76	A215	100	24
L200	Ciencias de la Computación	52	B02	55	3
L200	Ciencias Biológicas	66	A11	72	6
L200	Ing. Civil	45	A03	45	0
L200	Ing. Mecánica	72	A14	72	0
L200	EIE	57	B14	91	34
L200	Contabilidad	69	B24	91	22
L200	Economía	33	A13	38	5
L200	Pol Sc & Int Rel	52	A24	98	46
L300	Ciencias de la Computación	36	B12	48	12
L300	Ciencias Biológicas	54	C02	60	6
L300	Ing. Civil	46	C14	70	24
L300	Ing. Mecánica	48	B13	48	0
L300	EIE	58	C12	60	2
L300	Contabilidad	52	A316	104	52
			LT2 PLANTA		
L300	Pol Sc & Int Rel	60	ALTA	350	290
L400	Ciencias Biológicas	39	B22	48	9
L400	Ing. Civil	47	C13	60	13
L400	Ing. Mecánica	36	A02	36	0
L400	EIE	65	A315	96	31
L400	Contabilidad	37	A22	42	5
L400	Economía	32	A12	40	8
L400	Pol Sc & Int Rel	37	B23	48	11
L500	Ing. Mecánica	35	A23	42	7
L500	EIE	50	B03	55	5

Fuente: Elaboración propia

La asignación de aulas ha demostrado una distribución óptima de los estudiantes, maximizando la capacidad de cada tipo de aula y destacando áreas clave para futuras mejoras.

Conclusiones

La aplicación de principios de optimización mediante programación lineal mejoró la asignación de aulas, en comparación con el *modelo anterior*, ya que se pudo maximizar el uso de la capacidad de las aulas, evitar la duplicidad en la asignación por carrera, así como oportunidades de mejora. El *modelo nuevo* logra una distribución más eficiente y transparente de los recursos educativos, lo que implica una gestión más efectiva en la *Universidad*.

1. La necesidad de la *Universidad* se puede resumir en una asignación eficiente de alumnos a las aulas disponibles, en la que se utilizara de manera óptima la capacidad de aforo. Por tanto, esta asignación debe ser exclusiva para cada carrera y nivel. El requerimiento principal es maximizar el uso de la capacidad de cada aula por los alumnos que la utilizarán.
2. El *modelo nuevo*, propuesto en esta tesis, satisface en mayor medida dicho requerimiento. Este modelo asigna las aulas de manera más eficiente, pues aprovecha al máximo la capacidad de cada una y explora todas las opciones; a diferencia del *modelo anterior*, que presentaba limitaciones en la asignación. Además, garantiza que no haya duplicidad en la asignación de aulas, lo cual facilita un análisis posterior al uso de las mismas. El *modelo nuevo* extiende las opciones de asignación al considerar una matriz de $5 \times 19 \times 19$, mientras que el *modelo anterior* tenía una matriz de 19×19 .
3. Con el *modelo nuevo*, la asignación de aulas se optimiza significativamente en comparación con el *modelo anterior*, pues logra maximizar el uso de las aulas según su capacidad. En ese sentido, evita la duplicidad en la asignación por carrera y señala oportunidades de mejora. Además, el *modelo nuevo* asignó aulas a 1,811 alumnos utilizando el 100% del aforo, mientras que el modelo anterior asignaba aulas a 2,066 alumnos, lo que implicaba el uso solo del 72.2% del aforo. En definitiva, la asignación del *modelo nuevo* es altamente eficiente y transparente, sin doble asignación y permite un análisis más fácil del uso real del aforo.

Cabe indicar que el *modelo nuevo* no solo promete una gestión de recursos más eficaz, sino también un proceso replicable para futuras asignaciones. Es importante destacar que la solución y las restricciones aplican solo para este caso; por lo que se deben analizar las variables en otras situaciones. Sin embargo, el criterio para el desarrollo del modelo puede ser utilizado en casos similares, asegurando así que se mantenga la eficiencia y efectividad en diversos contextos.

Recomendaciones

Para futuras investigaciones o aplicaciones prácticas, se recomienda que al enfrentar problemas de optimización, se identifiquen claramente los objetivos, opciones y restricciones para satisfacer adecuadamente los requerimientos de maximización y minimización. Esto es crucial para el desarrollo de modelos que reflejen la realidad y proporcionen soluciones óptimas, asegurando que los modelos sean tan efectivos en su propósito como sea posible.

1. Basado en la necesidad de *la Universidad* de una asignación eficiente y exclusiva de aulas por carrera y nivel, se recomienda realizar un análisis exhaustivo de los requerimientos específicos de cada programa académico. Esto incluye considerar factores como la cantidad de alumnos por nivel, las necesidades de espacio específicas (laboratorios, talleres, etc.) y la disponibilidad de recursos adicionales. Este análisis permitirá refinar aún más los modelos de asignación, haciéndolos más adaptados a la realidad de cada carrera.
2. Se recomienda, considerando la mejoría lograda por el *modelo nuevo*, utilizar modelos de programación lineal que permitan flexibilidad en la asignación, tal y como el modelo propuesto. En el caso de este estudio, cada grupo de alumnos puede ser asignado a diferentes aulas para maximizar la cantidad de estudiantes que obtienen un espacio. Además, es crucial realizar pruebas comparativas con diferentes modelos y enfoques para identificar las estrategias más efectivas. Se recomienda mantener la estructura del *modelo nuevo* como base, debido a su flexibilidad y capacidad de asignación.
3. Dado que el *modelo nuevo* optimizó significativamente la asignación de aulas, se sugiere realizar un seguimiento continuo y evaluar periódicamente los resultados para identificar áreas en las que se pueda mejorar aún. Además, se recomienda explorar la incorporación de restricciones adicionales que puedan refinar aún más la asignación. Se destaca la necesidad de considerar variables como horarios, turnos y necesidades de aulas específicas por carrera profesional, las cuales pueden ser atendidas con el *modelo nuevo*, incluyéndolas para lograr un resultado en el que todos los alumnos tengan un aula asignada.

Esta investigación puede ser utilizados para la asignación de aulas a alumnos en colegios, institutos, universidades e, incluso, áreas de trabajo que necesiten optimizar el uso y la capacidad de aforo. Además, el modelo proporciona información sobre la subutilización de áreas, de modo que facilita decisiones como la ampliación de espacios o la implementación de divisiones, lo cual puede ser evaluado mediante un análisis de sensibilidad. Se recomienda realizar más estudios relacionados para seguir mejorando el proceso de asignación de aulas y la eficiencia de la gestión de recursos. Así también se puede explorar el uso de otros métodos de optimización o la incorporación de elementos de programación no lineal para abordar complejidades adicionales. Igualmente, se deben considerar variables como horarios, turnos y necesidades de aulas específicas por carrera profesional, garantizando

así una asignación eficiente y adaptada a las necesidades particulares de cada situación educativa o laboral.

Referencias Bibliográficas

1. **FAUDZI, Syakinah, ABDUL-RAHMAN, Syariza y ABD RAHMAN, Rosshairy.** An Assignment Problem and Its Application in Education Domain: A Review and Potential Path. *Advances in Operations Research*. 2018, Vol. 2018.
2. **TINDWANI, Amit y CHOUDHARI, Sanjay.** Logistics Optimisation in Road Construction Project. *Construction Innovation*. 2017, Vol. 17, No 2.
3. **FAUDZI, Syakinah, ABDUL-RAHMAN, Syariza y ABD RAHMAN, Rosshairy.** An Assignment Problem and Its Application in Education Domain: A Review and Potential Path. *s.n.* 2018, Vol. 2018, No 1.
4. **FERNANDES, Pedro G.P.S., NOBRE JÚNIOR, Ernesto F. y DE A. PRATA, Bruno.** Optimization of Earthworks Planning: A Systematic Mapping Study. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2022, Vol. 49.
5. **OLADEJO, Nathaniel Kayode, SULYMAN, Salawu y BAMIRO, Olasunkanmi M.** Application of Optimization Principles in Classroom Allocation Using Linear Programming. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*. 2019, Vol. 10, No 01. ISSN: 0976-6359.
6. **EISELT, H. A. y SANDBLOM, Carl-Louis.** Operations Research A Model-Based Approach. Cham: *Springer Nature Switzerland AG*, 2022. ISBN: 978-3-030-97161-8.
7. **TANG, Chengyou.** The Investigation and Research on Operation Management. *International Conference on Management Research and Economic Development*, Brighton, 2024.
8. **PÉREZ, Rodrigo.** Introducción a los Modelos de Optimización. Bogota: *Universidad Piloto de Colombia*, 2019. ISBN: 9789588957999.
9. **SAHS, Jordan M.** The Double-Pivot Network Simplex Method. Omaha: *University of Nebraska*, 2024.
10. **DANTZIG, George B.** Basic Concepts. En: George B. Dantzig. *Linear Programming and Extensions*. Princeton, N.J.: *Princeton University Press*, 1963.
11. **NASH, J. C.** The (Dantzig) Simplex Method for Linear Programming. *Computing in Science & Engineering*. 2000, Vol. 2, No 1.
12. **JOHN, García, MORENO, Sonia y PATIÑO, Margarita.** PRINCIPIOS DE ÁLGEBRA LINEAL. Medellín: *Pascual Bravo*. Ecuaciones lineales.
13. **BRENES, Humberto, GONZÁLEZ, Silvia y LIZANO, Juana.** La Programación Lineal como Herramienta en la Toma de Decisiones de Inversiones. *Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas*. 2024, Vol. 12, No 23. Managua.
14. **MATOUŠEK, Jiří y GÄRTNER, Bernd.** Understanding and Using Linear Programming. Praga: *Springer*, 2007. ISBN: 978-3-540-30697-9.
15. **LIN, Peng, CAI, Shaowei y ZOU, Mengchuan.** Local Search for Integer Linear Programming. Beijing: *Seed Math Technology Limited*, 2023.
16. **EBOJON, Erhuvwuvoke y AKPOBI, John.** INTEGER LINEAR PROGRAMMING AN OBJECT ORIENTED APPROACH. *Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics*. 2022.

17. **ALTAMIRANO, Fredy y VALLEJO-HUANGA, Diego.** Cost Operation Optimization with Binary Integer Linear Programming in a Cosmetic Company. Quito: *IDEIAGEOCA Research Group*, 2024.
18. **BARELLA, Yusawinur y otros.** Quantitative Methods in Scientific Research. *JURNAL PENDIDIKAN SOSIOLOGI DAN HUMANIORA*. 2024, Vol. 15, No 1. Indonesia.
19. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto.** METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Sexta Edición. Mexico: *McGRAW-HILL*, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
20. **SÁNCHEZ-MARTÍN, Micaela y otros.** Una Aproximación Práctica a los Diseños de Investigación Cuantitativa. *Espiral. Cuadernos del Profesorado*. 2024, Vol. 17, No 35. Granada. ISSN: [no especificado].
21. **CRESWELL, John.** Research Design Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches. Los Angeles: *SAGE*, 2009. ISBN: 978-1-4129-6557-6.

Anexos

Anexo 1 – Matriz de Consistencia Propuesta de Mejora en Aplicación de Principios de Optimización Para Asignación de Aulas Mediante Programación Lineal

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	MARCO TEÓRICO	VARIABLES Y JUSTIFICACIÓN	METODOLOGÍA Y DISEÑO
Problema General: ¿De qué manera mejora la aplicación de principios de optimización para asignación de aulas mediante programación lineal al Modelo Anterior?	Objetivo General: Explicar de qué manera la aplicación de principios de optimización para asignación de aulas mediante programación lineal mejora al Modelo Anterior.	Hipótesis: La implementación de principios de optimización a través de programación lineal mejora la asignación de aulas en “La Universidad” en comparación con el modelo previo.	Bases Teóricas: • Investigación de Operaciones • Optimización • Algoritmo Simplex • Función Lineal	Variable Independiente: Programación lineal Variable Dependiente: Optimización de asignación de aulas	Metodología Enfoque cuantitativo, experimental y descriptivo
Problemas Específicos: • PE1: ¿Cuál el requerimiento de asignación de aulas de “La Universidad”? • PE2: ¿Cuál es el modelo de programación Lineal que satisface el requerimiento de “La Universidad”? • PE3: ¿De qué manera mejora la asignación de aulas en comparación al Modelo Anterior luego de aplicar programación lineal?	Objetivos Específicos: • OE1: Analizar el requerimiento de asignación de “La Universidad”. • OE2: Desarrollar modelo de programación lineal que satisface el requerimiento de “La Universidad” y comparar con el Modelo Anterior • OE3: Analizar de qué manera mejora la asignación de aulas en comparación al Modelo Anterior luego de aplicar programación lineal	Hipótesis Específicas: • HE1: Los requerimientos de asignación de “La Universidad” es suficiente para definir el modelo. • HE2: El Nuevo Modelo cubre en mejor medida los requerimientos de asignación de “La Universidad”. • HE3: La asignación de aulas de “La Universidad” mediante el Nuevo Modelo mejora en comparación al Modelo Anterior.	Marco Conceptual: • Programación Lineal ○ Función Objetivo ○ Variables de Decisión ○ Restricciones • Modelo de Programación ○ Programación Lineal General ○ Programación Lineal Entera ○ Programación Lineal Binaria	Justificación: • Por Implicancias Prácticas • Por Conveniencia • Por Valor Teórico	Diseño Experimental

Anexo 2 - Instrumento de recolección de datos del Artículo de Referencia

Autoguardado Linear Programmi... • Última modificación: 21/08/2024

Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Automatizar Ayuda Nitro PDF Pro Acrobat Workspace Lite

5																				
	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	Classroom Type	Capacity	Available Cassrooms	Total Capacity	To be assigned	Available	Max		DEPT	Assigned 100 in Room		Assigned 200 in Room		Assigned 300 in Room		Assigned 400 in Room		Assigned 500 in Room		
	A01	92	1	92	1	1	92		Agric. Econs.	15	15	12	12	18	18	4	4	7	7	56
	A02	36	1	36	1	1	36		Crop Sc.	9	9	7	7	5	5	4	4	0	0	25
	A13	38	1	38	1	1	38		Animal Sc.	10	10	14	14	6	6	4	4	4	4	38
	A12	40	1	40	1	1	40		Agric. Eng. Ext.	5	5	8	8	5	5	7	7	2	2	27
	A22,A23	42	2	84	0	0	0		Soil Sc.	2	0	4	0	3	0	2	0	2	0	13
	A03	45	1	45	0	0	0		Computer Sc.	114	0	52	0	36	0	25	0	0	0	227
	B12,B13,B22,B23	48	4	192	0	0	0		Biological Sc.	68	0	66	0	54	0	39	0	0	0	227
	B02,B03	55	2	110	1	2	55		Physical Sc.	12	12	9	9	17	17	18	18	0	0	56
	C02,C12,C13	60	3	180	1	3	60		Civil Eng.	86	86	45	45	46	46	47	47	27	27	251
	C14	70	1	70	1	1	70		Chem. Eng.	30	30	30	30	20	20	25	25	28	28	133
	A11,A14	72	2	144	2	4	144		Mech. Eng.	97	194	72	144	48	96	36	72	35	70	288
	B04,B14,B24	91	3	273	0	0	0		EIE	86	0	57	0	58	0	65	0	50	0	316
	A315	96	1	96	1	1	96		ABE	8	8	23	23	14	14	12	12	8	8	65
	A04,A21,A24	98	3	294	3	9	294		Accounting	61	183	69	207	52	156	37	111	0	0	219
	B01,A215	100	2	200	2	4	200		Bus. Admin.	21	42	27	54	30	60	27	54	0	0	105
	A316	104	1	104	1	1	104		Economics	45	45	33	33	22	22	32	32	0	0	132
	B21	119	1	119	1	1	119		Sociology	31	31	23	23	18	18	14	14	0	0	86
	LT2	350	1	350	1	1	350		BFN	5	5	8	8	6	6	14	14	0	0	33
	LT1	394	1	394	1	1	394		Pol. Sc. & Int. Rel.	76	76	52	52	60	60	37	37	0	0	225
			32	2861	19	32	2092			781	751	611	669	518	549	449	455	163	146	2522

Anexo 3 – Réplica Modelo Anterior y resultado (Instrumento de análisis de datos del Artículo de Referencia)

[illegible]

Anexo 4 – Parámetros en Solver a Modelo Anterior

Parámetros de Solver

Establecer objetivo:

Para: ☒ Máx ☐ Min ☐ Valor de:

Cambiando las celdas de variables:

Sujeto a las restricciones:

-
-
-

☒ Convertir variables sin restricciones en no negativas

Método de resolución:

Método de resolución
 Seleccione el motor GRG Nonlinear para problemas de Solver no lineales suavizados. Seleccione el motor LP Simplex para problemas de Solver lineales, y seleccione el motor Evolutionary para problemas no lineales no suavizados.

Botones: Ayuda, Resolver, Cerrar

[illegible]

[illegible]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
147		BFN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
148		Pol So & Int Rel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0
149	L300	Agrícola Economías		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150		Ciencia de Cultivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151		Ciencias de los animales		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
152		Ing. Agrícola		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
153		Ciencia de Suelo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
154		Ciencias de la Computación		0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
155		Ciencias Biológicas		0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156		Ciencias Físicas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157		Ing. Civil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
158		Ing. Química		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
159		Ing. Mecánica		0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160		EIE		0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
161		ABE		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
162		Contabilidad		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0
163		Administración Bus		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164		Economía		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
165		Sociología		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166		BFN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
167		Pol So & Int Rel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0
168	L400	Agrícola Economías		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
169		Ciencia de Cultivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170		Ciencias de los animales		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
171		Ing. Agrícola		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
172		Ciencia de Suelo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
173		Ciencias de la Computación		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
174		Ciencias Biológicas		0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
175		Ciencias Físicas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
176		Ing. Civil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
177		Ing. Química		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
178		Ing. Mecánica		0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
179		EIE		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0	0	0	0	0	0	0
180		ABE		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
181		Contabilidad		0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
182		Administración Bus		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
183		Economía		0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
184		Sociología		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
185		BFN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
186		Pol So & Int Rel		0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
187	L500	Agrícola Economías		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
188		Ciencia de Cultivo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
189		Ciencias de los animales		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
190		Ing. Agrícola		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
191		Ciencia de Suelo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
192		Ciencias de la Computación		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
193		Ciencias Biológicas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
194		Ciencias Físicas		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
195		Ing. Civil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
196		Ing. Química		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
197		Ing. Mecánica		0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
198		EIE		0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
199		ABE		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200		Contabilidad		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
201		Administración Bus		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
202		Economía		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
203		Sociología		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
204		BFN		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
205		Pol So & Int Rel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
206				A01	A02	A13	A12	A22, A2	A03	B12, B1	B02, B1	C02, C1	C14	A11, A1	B04, B14,	A315	A04, A21,	B01, A2	A316	B21	LT2 PL,	LT1	PLANTA BAJA