



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Profesional de Investigación Operativa

**Optimización en la asignación de docentes y aulas en el
centro de capacitaciones DMC usando programación
lineal con Python**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación
Operativa

AUTOR

Noel Apelio YZAGUIRRE QUEZADA

ASESOR

Mg. Miky Gerónimo ORTIZ RAMÍREZ

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Yzaguirre, N. (2022). *Optimización en la asignación de docentes y aulas en el centro de capacitaciones DMC usando programación lineal con Python*. [Trabajo de Suficiencia Profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Noel Apelio Yzaguirre Quezada
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47787826
URL de ORCID	No aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Miky Gerónimo Ortiz Ramírez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	25796803
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2090-4544
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Gladys Giovanna Melgarejo Estremadoyro
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25673529
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Luis Antonio Durand Romero
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09516593
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.3.3.1. Optimización Matemática

Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2022
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

DECANATO

Foja. 11

Anexo 6

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL EN LA MODALIDAD VIRTUAL PARA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2022-I)

En la Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias Matemáticas, siendo las 17:37 horas del día domingo 24 de julio del año 2022, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado Evaluador del Trabajo de Suficiencia Profesional:

Lic. Gladys Giovanna Melgarejo Estremadoyro	(Presidente)
Mg. Luis Antonio Durand Romero	(Miembro)
Mg. Miky Gerónimo Ortiz Ramírez	(Miembro-Asesor)

Para la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional intitulada: OPTIMIZACIÓN EN LA ASIGNACIÓN DE DOCENTES Y AULAS EN EL CENTRO DE CAPACITACIONES DMC USANDO PROGRAMACIÓN LINEAL CON PYTHON, presentada por el señor Bachiller Yzaguirre Quezada, Noel Apelio, para obtener el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Luego de la exposición del Trabajo de Suficiencia Profesional, el Presidente invitó al expositor a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del jurado, el expositor mereció la aprobación **Aprobado con mención BUENO** con un calificativo promedio de: Dieciséis (16).

A continuación, los miembros del jurado dan manifiesto que el participante señor Bachiller Yzaguirre Quezada, Noel Apelio, en virtud de haber aprobado la sustentación de su Trabajo de Suficiencia Profesional, será propuesto para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Siendo las 18:07 horas, se levantó la Sesión, firmando para constancia la presente Acta en tres (3) copias originales o archivo PDF.

PRESIDENTE

Lic. Gladys Giovanna Melgarejo Estremadoyro

MIEMBRO

Mg. Luis Antonio Durand Romero

MIEMBRO-ASESOR

Mg. Miky Gerónimo Ortiz Ramírez



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

La Directora de la Escuela Profesional de Investigación Operativa, Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino, informa lo siguiente:

1. Operador del programa informático de similitudes: Dr. Paulo Cesar Olivares Taipe
2. Documento evaluado:
Optimización en la asignación de docentes y aulas en el centro de capacitaciones DMC usando programación lineal con Python
3. Autor de la tesis: Noel Apelio YZAGUIRRE QUEZADA
4. Fecha de recepción de la tesis: 01/06
5. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes: 01/06
 - Software utilizado: Turnitin
6. Configuración del programa detector de similitudes:
 - Excluye textos entrecomillados
 - Excluye bibliografía
 - Excluye cadenas menores a 40 palabras
7. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes:
8. Fuentes originales de las similitudes encontradas: 5%
Fuentes de internet: 5%
Publicaciones: 0%
9. Calificación de originalidad:
 - El documento mencionado cumple criterios de originalidad, sin observaciones

Lima, 01 de JUNIO 2023



UNMSM

Firmado digitalmente por
VELASQUEZ PINO Carmela Catalina
FAU 20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.06.2023 16:13:53 -05:00

Mg. Carmela Catalina Velásquez Pino
Directora

FICHA CATALOGRÁFICA

NOEL APELIO YZAGUIRRE QUEZADA

OPTIMIZACIÓN EN LA ASIGNACIÓN DE DOCENTES Y
AULAS EN EL CENTRO DE CAPACITACIONES DMC USANDO
PROGRAMACIÓN LINEAL CON PYTHON

Lima 2022.

Vi, 6 p., 25 p., 29.7 cm (UNMSM, Licenciado, Investigación Operativa,
2022).

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Facultad de Ciencias Matemáticas

Escuela Profesional de Investigación Operativa

UNMSM / FCM

Dedico este documento a mi mamá que siempre creyó en mí y desde el cielo me guía, a mi papá por su apoyo constante durante todo este tiempo, a mi hermano Ronald por ayudarme y motivarme a estudiar una carrera universitaria.

Resumen

OPTIMIZACIÓN EN LA ASIGNACIÓN DE DOCENTES Y AULAS EN EL CENTRO DE CAPACITACIONES DMC USANDO PROGRAMACIÓN LINEAL CON PYTHON

NOEL APELIO YZAGUIRRE QUEZADA

JULIO 2022

Título obtenido : Licenciado en Investigación Operativa

El objetivo principal es presentar un modelo de optimización para la asignación de docentes y aulas en un centro de capacitación usando programación lineal entera con Python, se usó la librería Pulp para formular el modelo y la librería Pandas para la conexión a las fuentes de datos y su procesamiento.

A raíz del inicio de la pandemia con el consecuente pase de clases presenciales a online originó el incremento de las capacitaciones ofrecidas por DMC, esta tarea resultaba levemente complicada antes de pandemia porque solo se trabajaba con 3 aulas, en la nueva normalidad se tiene 15 aulas virtuales y en varios meses más de 20 profesores dictando clases, por ello la tarea de programación de horarios se volvió más complicado porque se realiza manualmente, ocasionando en varias oportunidades cruces de horarios y posteriormente reprogramaciones, por lo cual se buscó una solución para mejorar el proceso de programación de horarios, proponiendo el uso de la programación lineal entera.

La principal conclusión fue que se redujo el tiempo de asignación de docentes y aulas, permitiendo asignar ese recurso en otras actividades que permitan mejorar las actividades del centro de capacitación.

Palabras clave: Programación lineal entera, Programación de horarios, DMC, Python.

Abstract

OPTIMIZATION OF TEACHER AND CLASSROOM ALLOCATION IN THE DMC TRAINING CENTER USING LINEAR PROGRAMMING WITH PYTHON

NOEL APELIO YZAGUIRRE QUEZADA

JULY 2022

Graduate : Operations Research

The main objective is to present an optimization model for the assignment of teachers and classrooms in a training center using integer linear programming with Python. The Pulp library was used to formulate the model and the Pandas library was used for the connection to the data sources and their processing.

As a result of the beginning of the pandemic with the consequent change from face-to-face to online classes, the number of training courses offered by DMC increased. This task was slightly complicated before the pandemic because only 3 classrooms were used; in the new normality, there are 15 virtual classrooms and in several months more than 20 teachers teaching classes, Therefore, the scheduling task became more complicated because it is done manually, causing on several occasions crossing schedules and later rescheduling, so a solution was sought to improve the scheduling process, proposing the use of integer linear programming.

The main conclusion was that the time required to assign teachers and classrooms was reduced, making it possible to allocate this resource to other activities that will improve the training center's activities.

Palabras clave: Integer linear programming, Scheduling, DMC, Python.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2: INFORMACIÓN DE LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD	3
2.1 INSTITUCIÓN DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD	3
2.2 PERÍODO DE DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD	3
2.3 FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ENTIDAD	3
2.4 RAZON SOCIAL	3
2.5 DIRECCIÓN POSTAL	3
2.6 CORREO ELECTRÓNICO DEL PROFESIONAL A CARGO	3
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	4
3.1 ORGANIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD	4
3.2 FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD	5
3.2.1 FINALIDAD DE LA ACTIVIDAD	5
3.2.2 OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD	5
3.3 PROBLEMÁTICA	6
3.3.1 PROBLEMA	8
3.4 METODOLOGÍA	9
3.4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	9
3.4.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	9
3.4.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	9
3.4.4 JUSTIFICACIÓN	10
3.4.5 DELIMITACION	10
3.4.6 VIABILIDAD	11
3.4.7 MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	11
3.5 PROCEDIMIENTOS	12
3.5.1 FORMULACIÓN DEL MODELO	12
3.5.2 PASOS	14
3.6 RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD	15
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES	20
4.1 DISCUSIÓN	20
CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES	21
Referencias	22

Índice de figuras

Figura N° 1	<i>Proceso Actual</i>	4
Figura N° 2	<i>Capacitaciones asignadas por mes desde el inicio de la modalidad Online</i>	7
Figura N° 3	<i>Hoja de Cálculo de Google "Programación DMC"</i>	16
Figura N° 4	<i>Matriz de Capacitaciones e Intervalos</i>	17
Figura N° 5	<i>Matriz de Docentes y Capacitaciones</i>	17
Figura N° 6	<i>Matriz de Docentes e Intervalos</i>	18
Figura N° 7	<i>Matriz de Aulas e Intervalos</i>	18

1. INTRODUCCIÓN

La programación de horarios es una actividad muy importante para el desarrollo de muchas actividades en distintos sectores como educación, trabajo, transporte, deportes, entre otros, ya que se determina que personas o equipos realizarán determinadas actividades en un lugar o periodo de tiempo, por lo cual resulta fundamental hacer esa actividad de forma correcta.

La programación de horarios también es conocida como asignación de horarios o timetabling, “el problema de Timetabling es un subproblema del problema de Scheduling; a su vez, este último está dentro del problema general de asignación” González Segura (2005). Es una tarea complicada por lo cual resulta un problema y es estudiado por diversas entidades, de las cuales destaca la EURO Working Group on Automated Timetabling (EWG-PATAT) que tiene por conferencia principal la Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT), también son sponsors de la competencia International Timetabling Competition on Sports Timetabling (ITC), también fue estudiado por 22 años por el grupo de investigación Automated Scheduling, Optimisation and Planning (ASAP) de la Universidad de Nottingham, contribuyendo con distintos estudios, con lo que queda claro que es un problema relevante y bien estudiado.

Dentro del timetabling existen categorías como la del Transport Timetabling, Sports Timetabling, Employee Timetabling, Nurse Rostering, Railway Timetabling, Educational Timetabling. El presente trabajo se ubica dentro de la clasificación de Education Timetabling, ya que se realizará la asignación de horarios en una institución que dicta capacitaciones.

La asignación de horarios es una actividad que realizan todas las instituciones educativas en todos los niveles de enseñanza antes del inicio del periodo académico, esto repercute directamente en el desarrollo de las actividades, si no se realiza correctamente puede ocasionar retraso en el inicio de las actividades, incorrecta asignación de los recursos, reprogramaciones posteriores, entre otros inconvenientes, es por ello que se busca la mejor manera de hacerlo.

Para resolver esta problemática dentro de la literatura se encuentra el planteamiento del modelo de programación lineal entera como en el artículo de Canseco-González, Sánchez-Partida, Zúñiga-Alcaraz, y Olivares-Benítez (2016), donde se aplica en El Centro Tecnológico Industrial y de Servicios # 104 de la ciudad de Puebla, México, para asignar los horarios de profesores para un conjunto de grupos y cursos, lo resolvieron usando el software LINGO. En el trabajo de Cobo Vargas y Osorio Arcila (2020) se aplicó para la programación de horarios de docentes y espacios de estudio en la Universidad del Valle, en el

programa académico de Ingeniería Industrial de la sede Zarzal, Colombia, para ello utilizaron el software Gurobi Optimizer. Por otro lado, en el trabajo elaborado por Fiallos, García, y Pérez (2008) lo aplican en la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) en Honduras para resolver el problema de asignación de clases, considerando preferencias de profesores, departamentos y alumnos, fue resuelto usando el software CPLEX. También hay otras opciones de solucionadores como se puede ver en el trabajo de Baquerizo Gómez (2021) usa la librería GLPK (GNU Linear programming kit) para crear una aplicación web para la gestión de horarios de clase en la escuela de educación básica Lic. Angélica Villón Lindao en Ecuador.

Dentro del ámbito nacional también tenemos muestras del uso de programación lineal entera para resolver la problemática de asignación de horarios, como en el trabajo de Bedoya Tello (2018) que lo uso en la Institución Educativa de Ciencias Aplicadas Víctor Valenzuela Guardia – COCIAP que pertenece a la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - UNASAM, en Huaraz, Perú, para maximizar la cantidad de bloques de 2 horas seguidas del mismo curso, se usó el software LINGO para resolver el problema. Por otro lado, en el trabajo de Cuycaposa Rojas (2016) se realizó la programación de horarios y asignación de islas de edición para la post producción de programas de un canal de televisión, se uso el software LINDO para resolver el problema.

Para casos más complejos se llega a usar otros métodos de solución que son las metaheurísticas, como en el caso de Blaz Aristo (2016) que utiliza la metaheurística de algoritmos genéticos aplicándolo a la generación de horarios de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, busca realizar la asignación para 27 salones, 336 clases, 103 docentes, 84 periodos, la solución se implementó en una aplicación web con el lenguaje de programación Java y empleó el motor de base de datos MySQL. En otro estudio como el de Restrepo y Velásquez (2011) utilizan la metaheurística de Búsqueda Tabú para la asignación de recursos académicos en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, busca realizar la asignación para 260 aulas, 871 asignaturas, 1493 grupos, la solución se implementó en una aplicación web con el lenguaje de programación PHP y empleó el motor de base de datos MySQL.

Las razones que dieron pie a esta investigación fue presentar un modelo de programación lineal entera que ayude a mejorar la actividad de asignación de docentes y aulas en el centro de capacitaciones DMC, reduciendo el tiempo que se empleaba en realizar esta tarea, automatizando la obtención información, porque se realizaba manualmente verificando varias fuentes.

2. INFORMACIÓN DE LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 INSTITUCIÓN DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

La institución donde se desarrolló el Trabajo de Suficiencia Profesional es la empresa J & J DATA MINING CONSULTING S.A.C.

2.2 PERÍODO DE DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD

La duración de la actividad fue desde Abril 2022 a Junio 2022 (480 horas)

2.3 FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ENTIDAD

La finalidad de DMC es siempre brindar un servicio educativo de calidad, abierto a las innovaciones y requerimientos del mundo laboral para colaborar en conseguir la cualificación de las personas a lo largo de la vida. DMC se dedica a la capacitación y consultoría de análisis de datos, con los siguientes objetivos:

- Contribuir en el desarrollo de las organizaciones ofreciendo a sus colaboradores conocimientos, actualización y perfeccionamiento en la capacitación de estas herramientas y habilidades, con los más altos estándares de calidad y servicio.
- Colaborar de manera empática, rápida y sencilla dando consultoría de analítica en los proyectos de nuestros clientes.

2.4 RAZON SOCIAL

J & J DATA MINING CONSULTING S.A.C

2.5 DIRECCIÓN POSTAL

Jr. Río de la Plata 167, Of. 102 - San Isidro

2.6 CORREO ELECTRÓNICO DEL PROFESIONAL A CARGO

cesar.quezada@dmc.pe

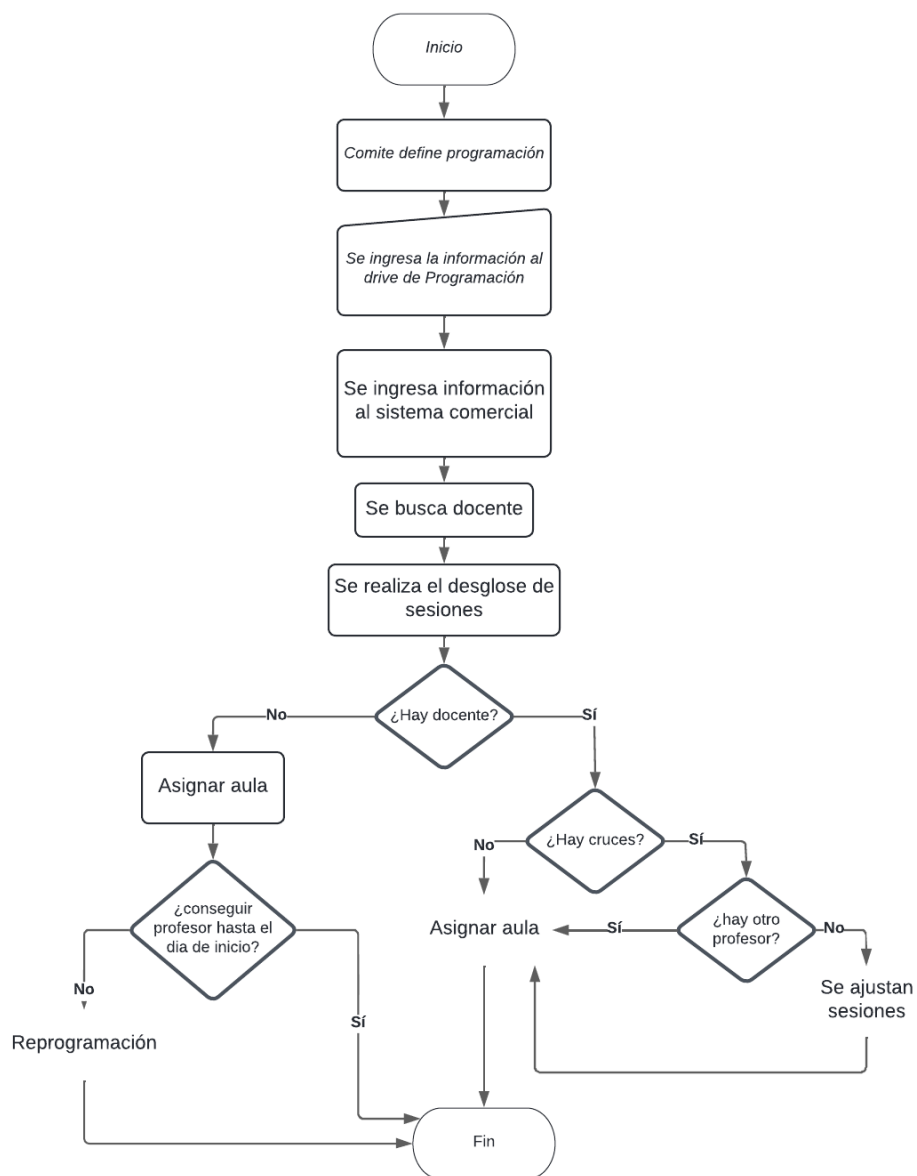
3. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 ORGANIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD

Actualmente el proceso de asignación de docentes y aulas se realiza de la siguiente manera:

Figura 1

Proceso Actual



Fuente: Elaboración propia

Este proceso lo realizaba solo un personal del área académica hasta fines del 2021, desde el 2022 se realizó un cambio, se subdividió el área creando las sub áreas de atención al cliente y gestión docente, el personal de gestión docente se encarga de contactar a los docentes y consultar su disponibilidad para el dictado de las capacitaciones, eligiendo el docente de acuerdo a los conocimientos que tiene y su disponibilidad, para esta actividad debe revisar diversas fuentes de datos; el personal de atención al cliente se encarga de desglosar las sesiones de todas las capacitaciones, verificar si hay cruce, es decir un profesor está asignado en mismo día y horario a más de una capacitación (habiendo la posibilidad que una de ellas sea una capacitación que ya inicio con anterioridad coincidiendo con el horario y fechas de una nueva capacitación que se va a asignar, o que exista capacitaciones a asignar con el mismo profesor con algunos días y horarios coincidentes), también se encarga de verificar la disponibilidad de las aulas para luego asignar el aula correspondiente para la capacitación.

3.2 FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD

3.2.1 FINALIDAD DE LA ACTIVIDAD

La finalidad del presente trabajo es presentar un modelo de optimización para la asignación de docentes y aulas en el centro de capacitaciones DMC usando programación lineal entera con Python.

3.2.2 OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD

El presente trabajo de suficiencia profesional tiene como objetivos:

Objetivo principal

Presentar un modelo de optimización para la asignación de docentes y aulas en un centro de capacitaciones usando programación lineal entera con Python.

Objetivos específicos

- Reducir el tiempo de asignación de docentes y aulas.
- Automatizar la obtención de la información que alimenta el modelo.
- Consolidar la información necesaria para el modelo de optimización.

3.3 PROBLEMÁTICA

J & J DATA MINING CONSULTING S.A.C. es una empresa que inicio labores el 2009, ofreciendo el servicio de digitación, en la actualidad brinda los servicios de consultoría y capacitación. Desde el 2011 ofrece formación en herramientas analíticas a través de los siguientes productos: cursos, especializaciones y programas de especialización.

El área Académica realiza la ejecución de las capacitaciones y da la cara al cliente que consume el servicio de capacitación, con el fin de que estén satisfechos con la atención para que puedan recomendar el servicio o seguir llevando capacitaciones. Desde el 2022 se divido el área para un mejor funcionamiento: Gestión docente se encarga de la programación, disponibilidad y reprogramación de los docentes; Atención al cliente se encarga de brindar la mejor atención a los alumnos y la asignación de aulas.

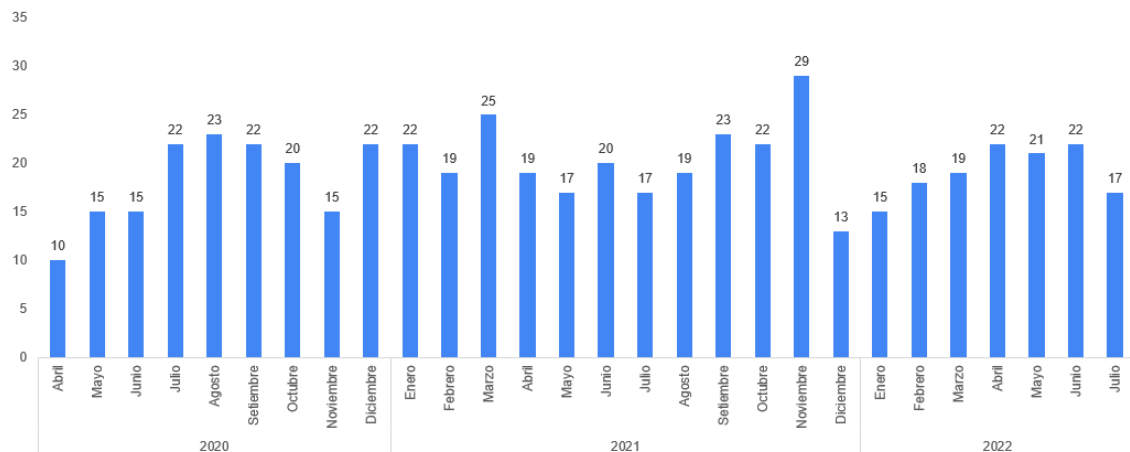
En la época presencial había 3 aulas y el proceso de asignar docentes y aulas representaba un reto que no era tan difícil, pero si tomaba tiempo, desde que empezó la cuarentena se empezó con las clases online, usando el servicio de Zoom, donde las salas se convirtieron en las aulas, por la nueva modalidad que se originó permitió ofrecer más capacitaciones provocando incremento en la cantidad de docentes y aulas a asignar, teniendo actualmente un total de 15 aulas, es por eso que desde 2022 se creó la sub área de gestión docente que realiza la tarea de conseguir al docente indicado para dictar una capacitación de acuerdo a la programación definida en comité. Este proceso es manual que resulta ser lento porque hay que revisar varios archivos, porque la información no está consolidada, además en este punto solo se ve a nivel de capacitación, el inconveniente ocurre cuando se hace el desglose por sesión, hallando que el docente estaba asignado en el mismo día y horario en otra capacitación. Cuando solo era una persona que realizaba esta labor podía tomarle hasta una semana, desde que se subdivido el área, el personal de gestión docente menciona que dependiendo de la cantidad de capacitaciones que se tengan planificadas, revisar los docentes que tienen los conocimientos necesarios para dictar las capacitaciones a asignar, para luego contactarlos y verificar su disponibilidad para el dictado de las clases, sus respuestas pueden variar entre 1 o 2 días y en algunos casos hasta una semana, esto hace que el tiempo puede ser muy variante, el personal de servicio al cliente que realiza el desglose de sesiones para verificar que no existan cruces, para luego revisar la disponibilidad de aulas y asignar el aula correspondiente para cada capacitación que se va a asignar en ese momento, puede tomarle entres 2 a 3 días. Esta tarea se realiza para la programación de un mes y se hace con 2 meses de anticipación.

Desde el inicio de la modalidad online en abril hasta fines del 2020 se dictaron un total de 164 capacitaciones, con un promedio de 18 capacitaciones por mes, durante el 2021 donde las clases online se posicionaron más, la cantidad de capacitaciones dictadas se incrementó a

245, con un promedio de 20 capacitaciones por mes, en el presente año 2022 hasta el mes de julio se ha dictado 134 capacitaciones con un promedio de 19 capacitaciones por mes.

Figura 2

Capacitaciones asignadas por mes desde el inicio de la modalidad Online



Fuente: Elaboración propia

Aunque en este año se inició paulatinamente con el retorno al trabajo presencial, hay que considerar lo que menciona el experto en gestión humana y cultura organizacional sobre el retorno a la presencialidad de parte de los trabajadores:

Tras gozar de las posibilidades de realizar un trabajo a distancia, con las ventajas que ello conlleva en tiempo y calidad de vida, las personas no están dispuestas a sacrificar su nuevo estilo de vida para regresar al anterior, en función de su trabajo. La posibilidad de laborar desde casa les permite dedicar más tiempo a su familia, ejercitarse o, simplemente, disfrutar de sus pasatiempos favoritos. El ahorro en tiempo que significa evitar el tráfico y la incomodidad del transporte público también representan motivaciones adicionales para trabajar desde casa.

Morales (2022)

Por lo cual se puede esperar que las capacitaciones aumenten, ya que hay mucha acogida del formato online, por parte de las empresas también hay aceptación como mencionan (Sissa, Ortiz, y Rengifo, 2022, p. 6) “ya que mientras que el 92 % de empresas se inclina por labores totalmente virtuales y/o híbridas, un 8 % considera continuar con sus operaciones 100 % presencial”, además con la modalidad virtual se evita el inconveniente de trasladarse al centro de capacitaciones y luego la travesía de retorno porque la mayoría de las clases de lunes a viernes son de 7 pm a 10 pm.

La tarea de asignación de horarios, docentes, aulas es un problema recurrente en los centros de formación como colegios, institutos, universidades y centros de capacitación, como en el estudio de Cobo Vargas y Osorio Arcila (2020) donde se aplica a la Universidad del valle sede Zarzal en Colombia para el programa académico de Ingeniería industrial considerando 7 semestres, a comparación el presente trabajo se hará la asignación para cada mes, ya que durante el transcurso del mes se da inicio a distintos cursos y especializaciones, considerando también los productos que ya han sido programados con anterioridad.

En el estudio de Bedoya Tello (2018) aplicado en la institución educativa de ciencias aplicadas Víctor Valenzuela Guardia - COCIAP-UNASAM, relata el inconveniente que tiene la institución, ya que se realiza la asignación de clases de forma manual, que conlleva a invertir horas o días en elaborar un horario que satisfaga la mayoría de las condiciones, por lo cual se opta por solucionar el problema mediante un modelo matemático de programación lineal, de similar forma acontece en DMC, cuando lo realizaba una sola persona esta labor de forma manual le podía tomar una semana esta tarea, por lo cual se propone un modelo de optimización que reduzca la actividad manual y el tiempo en encontrar una solución que satisfaga las necesidades del centro de capacitaciones.

Existen distintas herramientas para resolver este problema como lo hicieron Canseco-González et al. (2016) que usaron LINGO con el objetivo de maximizar la suma de las asignaciones de los cursos durante el ciclo 2013-2014 en El Centro Tecnológico Industrial y de Servicios # 104 (CETIS104), de la ciudad de Puebla. También se puede utilizar Python como en el caso de Suárez Londoño, Triana, y Stiven (2018), usaron la versión 2.7 para crear un software de escritorio para solucionar la asignación de docentes en el colegio Mixto San Vicente de Colombia. En DMC se usará Python 3 con la librería Pulp que permite formular el modelo de programación entera binaria para generar una asignación óptima.

Esta problemática nos lleva a la necesidad de replantear la forma en cómo se realiza la asignación de docentes y aulas a cada capacitación, para reducir el tiempo que toma realizar esta actividad manual y evitar las reprogramaciones.

3.3.1 PROBLEMA

Deficiencia en la programación de horarios en el área académica ocasiona cruces y reprogramación de las capacitaciones.

Pregunta principal

¿Cómo mejorar el proceso de asignación de docentes y aulas utilizando programación lineal entera?

Pregunta específicas

- ¿Cuánto tiempo se reducirá la asignación de docentes y aulas?
- ¿Cómo se realizará la obtención de la información que abastece el modelo de optimización?
- ¿Cómo se organizará la información que abastece el modelo de optimización?

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional es clasificado en tipo de investigación proyectiva porque “consiste en la elaboración de una propuesta o modelo para solucionar un problema que se plantea, intenta responder preguntas hipotéticas sobre el futuro o pasado a partir de datos actuales”(Sanca, 2011, p. 4).

3.4.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional es clasificado en nivel de investigación como Descriptivo ya que “puede servir para tomar decisiones correctivas a nivel de instituciones” (Esteban Nieto, 2018, p. 2). Se busca entender cómo se está desarrollando todo el problema, así como lo menciona (Carrasco Díaz, 2005, p. 42) “Nos dice y refiere sobre las características, cualidades internas y externas, propiedades y rasgos esenciales de los hechos y fenómenos de la realidad, en un momento y tiempo histórico concreto y determinado”.

3.4.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional es clasificado en diseño de investigación como no experimental, ya que se realiza ninguna modificación, además es transversal porque “recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único” (Fernández Collado, Baptista Lucio, y Hernández Sampieri, 2014, p. 142).

3.4.4 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de suficiencia profesional se enfocará en estudiar el problema de asignación de docentes y aulas en el centro de capacitaciones DMC, para ello se justifica en los siguientes aspectos:

Según su Conveniencia, el presente trabajo busca encontrar una solución que evite el cruce de horarios y los problemas que ello conlleva, beneficiando al personal del área académica y los docentes.

En el aspecto de relevancia social, según a los resultados que se busca obtener es favorecer al centro de capacitaciones DMC mejorando el proceso de asignación de docentes y aulas.

En el aspecto implicaciones prácticas, reducirá el tiempo en la ejecución de la actividad para poder destinar ese recurso y tiempo en otra actividad.

En el aspecto valor teórico, se justificó por el análisis de cómo se realiza la actividad de asignar docentes y aulas en otros tipos de centros educativos tanto nacionales como internacionales, permitiendo contrastar las similitudes y diferencias de cómo se lleva a cabo la actividad en DMC, desarrollando las consideraciones para la realización de futuras investigaciones en el tipo de instituciones como DMC.

3.4.5 DELIMITACION

El presente trabajo de suficiencia profesional tienes las siguientes delimitaciones de estudio:

Delimitación espacial, se desarrolló en el centro de capacitaciones DMC, ubicado en el distrito de San Isidro, Lima-Perú, para el beneficio de toda la comunidad educativa.

Delimitación temporal, se realiza entre los meses de abril a junio del 2022.

La Delimitación Teórica de acuerdo al tipo de problema que nos enfrentamos es el siguiente:

- Scheduling
- Timetabling
- Educational Timetabling

3.4.6 VIABILIDAD

En cuanto a la viabilidad del presente trabajo, se obtuvo el acceso al detalle del proceso y la ubicación donde se registraba la información, fue suministrado por el área académica, se contó con los permisos correspondientes. En cuanto al procesamiento de la información fue desafiante por el cómo se almacenaban los datos y lograr su conversión en las matrices que necesita el modelo, en las recomendaciones se detalla las acciones que ayudaran a mejorar el proceso.

Respecto al software que se utilizó, no hubo inconveniente porque se usó el lenguaje de programación Python que cuenta con librerías para el procesamiento de información y optimización que permitieron formular el modelo para realizar el trabajo.

Respecto al tiempo para elaborar el trabajo si presento un pequeño inconveniente, ya que solo se dispuso del 15 % de mi tiempo diario para su realización.

De acuerdo a la delimitación temporal se logró finalizar el trabajo de suficiencia profesional en el tiempo estimado.

3.4.7 MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos usada en el presente trabajo fueron la revisión documental cuantitativa.

Instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos fue el de ficha registral de datos, donde se listó la información necesaria que se debió buscar para alimentar el modelo de programación lineal, fueron los siguientes datos:

- Capacitaciones a las cuales se asignará docente y aula.
- Horarios de dictado de clases de las capacitaciones.
- Disponibilidad horaria del docente.
- Conocimiento de dictado de capacitación de cada docente.
- Disponibilidad de uso de las aulas.

Fuentes de información

Las fuentes de información usadas fueron la base de datos de la empresa, la principal es la base de datos en MySQL alojada en la nube de AWS de donde se obtiene las que capacitaciones que pueden dictar los docentes y disponibilidad de aulas, también se hace uso de las Hojas de cálculo de Google donde se obtiene que capacitaciones se van a asignar con sus horarios y la disponibilidad del docente.

3.5 PROCEDIMIENTOS

3.5.1 FORMULACIÓN DEL MODELO

La formulación del modelo es la siguiente:

Indices:

p : profesor $(1, \dots, n)$

c : capacitación $(1, \dots, m)$

t : intervalo de tiempo $(1, \dots, r)$

a : aula $(1, \dots, s)$

Parametros:

$$y_{pt} = \begin{cases} 1 & \text{Si el profesor } p \text{ tiene disponibilidad en el periodo } t \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

$$w_{pc} = \begin{cases} 1 & \text{Si el profesor } p \text{ tiene conocimientos para dictar la capacitación } c \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

$$q_{ct} = \begin{cases} 1 & \text{Si la capacitación } c \text{ debe ser asignado al intervalo } t \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

$$z_{at} = \begin{cases} 1 & \text{Si el aula } a \text{ tiene disponibilidad para ser asignado al intervalo } t \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

Variable de decisión:

$$x_{pcta} = \begin{cases} 1 & \text{Si se asigna al profesor } p \text{ a la capacitación } c \text{ en el intervalo } t \text{ en el aula } a \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

Función objetivo:

$$Max Z = \sum_{p=1}^n \sum_{c=1}^m \sum_{t=1}^r \sum_{a=1}^s x_{pcta}$$

Restricciones:

Todo profesor debe ser asignado a lo más una capacitación y un aula en un periodo.

$$\sum_{c=1}^m \sum_{a=1}^s x_{pcta} \leq 1; \forall p, t$$

Toda capacitación debe ser asignada a lo más un profesor y un aula en un periodo.

$$\sum_{p=1}^n \sum_{a=1}^s x_{pcta} \leq 1; \forall c, t$$

Toda aula debe ser asignada a lo más una capacitación y un profesor en un periodo.

$$\sum_{p=1}^n \sum_{c=1}^m x_{pcta} \leq 1; \forall a, t$$

Disponibilidad del profesor para ser asignado en un periodo.

$$\sum_{c=1}^m \sum_{a=1}^s x_{pcta} \leq y_{pt}; \forall p, t$$

Un profesor solo puede ser asignado a una capacitación del cual tenga conocimiento.

$$\sum_{t=1}^r \sum_{a=1}^s x_{pcta} \leq w_{pc} ; \forall p, c$$

Intervalos en los cuales se desarrollarán las capacitaciones.

$$\sum_{p=1}^n \sum_{a=1}^s x_{pcta} \leq q_{ct} ; \forall c, t$$

Disponibilidad de aulas.

$$\sum_{p=1}^n \sum_{c=1}^m x_{pcta} \leq z_{at} ; \forall a, t$$

No negatividad:

$$x_{pcta} \geq 0 ; \forall p, c, t, a$$

$$y_{pt} \geq 0 ; \forall p, t$$

$$w_{pc} \geq 0 ; \forall p, c$$

$$q_{ct} \geq 0 ; \forall c, t$$

$$z_{at} \geq 0 ; \forall a, t$$

Variables Binarias:

$$x_{pcta} \in \{0, 1\} ; \forall p, c, t, a$$

$$y_{pt} \in \{0, 1\} ; \forall p, t$$

$$w_{pc} \in \{0, 1\} ; \forall p, c$$

$$q_{ct} \in \{0, 1\} ; \forall c, t$$

$$z_{at} \in \{0, 1\} ; \forall a, t$$

3.5.2 PASOS

A continuación se describirán los pasos que se realizan para obtener la información que necesita el modelo para su posterior ejecución:

1. Conectarse a la Hoja de cálculo de Google, llamada Programación DMC para obtener que cursos están marcados como **PLANIFICACIÓN** que son los pendientes por asignar docentes y aulas. Para lograr esto primero se debe crear credenciales OAuth2 en la

consola API de Google para los servicios de Google Drive y GoogleSheets, luego dar permiso de editor en el documento de donde se obtendrá la información, se usará la librería **gsread** que facilita la conexión con el documento de Google. Luego con la librería Pandas la información obtenida, se convertirá a DataFrame para poder empezar el procesamiento.

2. Del DataFrame obtenido, las columnas de fecha inicio y fin se convierten al tipo de formato fecha, las columnas de desarrollo y horarios se uniformizan, para construir los intervalos de tiempo relacionados de las capacitaciones a asignar.
3. Se construye la matriz de correspondencias de las capacitaciones e intervalos con la ayuda de las librerías Pandas y NumPy.
4. Se utilizó la librería sqlalchemy para conectarse a la base de datos, se extraerá los docentes que han dictado con anterioridad las capacitaciones que se van a asignar.
5. Se construye la matriz de correspondencias de docentes y capacitaciones.
6. Con la lista de docentes se buscará en las hojas de cálculo de Google, la disponibilidad de los docentes.
7. Se construye la matriz de correspondencias de docentes e intervalos.
8. Se realiza la conexión a la base de datos para extraer la disponibilidad de las aulas en los intervalos de tiempo que se dictarán las capacitaciones.
9. Se construye la matriz de correspondencias de aulas e intervalos.
10. Se utiliza la librería Pulp para construir el modelo de programación lineal entera.
11. Se espera a que el modelo se resuelva, luego el resultado se transforma en un DataFrame para que sea más fácil la lectura.

3.6 RESULTADOS DE LA ACTIVIDAD

El modelo se utilizó para la asignación del mes de agosto que fueron 9 capacitaciones, con 22 profesores posibles, 15 aulas y 53 posibles intervalos en los cuales podrían dictarse las capacitaciones. Dando un total de 157410 de variables con 5074 restricciones.

Las capacitaciones a asignar que inician en el mes de agosto con su información respectiva como días de la semana que se realizaran las clases, fecha de inicio de clases, fecha de fin de clases y demás detalles que se extraerán de la Hoja de cálculo de Google **PROGRAMACIÓN DMC**, se pueden ver en la Figura 3.

Figura 3

Hoja de Cálculo de Google "Programación DMC"

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
	Ase	Detalle	Acad	Tipo de produc	Categori	Edi	Docente	M	e	Añ	Fechas de Inicio	Fe	Horario	Hor	Horas	ses	Des	E	
	sor			to	a	ción		s	o			cha		as	Acad	iones	arro	ve	
												Fin		Gro			llo	nto	
508		PLANIFICACIÓN	ESPECIALI	Visualización	18	Edición		8	2022	lunes, 1 de agosto	19/09	07:30pm a 10:30pm	45	60	15	LU-MI			
510		PLANIFICACIÓN	ESPECIALI	Analítica de	7	Edición		8	2022	viernes, 12 de agosto	30/09	07:30pm a 10:30pm	45	60	15	MI-VI			
511		PLANIFICACIÓN	CURSO	Analítica de	2	Edición		8	2022	viernes, 12 de agosto	31/08	7:30pm a 10:30pm	18	24	6	MI-VI	1		
513		PLANIFICACIÓN	ESPECIALI	Base de	18	Edición		8	2022	lunes, 15 de agosto	03/10	07:30pm a 10:30pm	45	60	15	LU-MA			
517		PLANIFICACIÓN	ESPECIALI	Analítica de	6	Edición		8	2022	jueves, 18 de agosto	15/10	07:30pm a 10:30pm / 10:00am a 01:00pm	51	68	17	JU-SA	1		
519		PLANIFICACIÓN	ESPECIALI	Cloud & Big	4	Edición		8	2022	sábado, 20 de agosto	15/10	07:30pm a 10:30pm / 10:00am a 01:00pm	48	64	16	JU-SA	1		
520		PLANIFICACIÓN	CURSO	Visualización	19	Edición		8	2022	lunes, 22 de agosto	05/09	07:30pm a 10:30pm	15	20	5	LU-MI			
521		PLANIFICACIÓN	ESPECIALI	Visualización	19	Edición		8	2022	martes, 23 de agosto	13/10	07:30pm a 10:30pm	45	60	15	MA-JU			
524		PLANIFICACIÓN	ESPECIALI	Analítica de	13	Edición		8	2022	sábado, 27 de agosto	15/10	07:30pm a 10:30pm / 10:00am a 01:00pm	45	60	15	MA-JU-SA			

Fuente: DMC

Con la información de la hoja de cálculo de Google se elaboran los intervalos de clase respectivos a cada capacitación, estos se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 1

Capacitaciones e Intervalos de Clases

CAPACITACION	INTERVALOS
Dashboards En Excel-Edición 19	['22/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '05/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm']
Especialización Big Data-Edición 4	['20/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '25/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '27/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '01/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '08/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '10/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '15/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '22/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '06/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '13/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/10/2022 - 10:00am a 13:00pm']
Especialización En Credit Scoring-Edición 6	['18/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '20/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '25/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '27/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '01/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '08/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '10/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '15/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '22/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '06/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '13/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/10/2022 - 10:00am a 13:00pm']
Especialización En Machine Learning Y Deep Learning Con Python-Edición 7	['12/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '19/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '26/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '02/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '07/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '09/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '14/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '16/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '21/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '23/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '28/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '30/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm']
Especialización En Power Bi Y Visualización De Datos-Edición 18	['01/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '10/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '22/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '05/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '07/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '12/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '14/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '19/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm']
Especialización En Power Bi Y Visualización De Datos-Edición 19	['23/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '25/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '30/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '06/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '13/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '20/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '22/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '27/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '04/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '06/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '11/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '13/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm']
Especialización En Python For Analytics-Edición 13	['27/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '30/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '06/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '10/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '13/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '20/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '22/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '27/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '04/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '06/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '11/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '13/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/10/2022 - 10:00am a 13:00pm']
Especialización En Sql Server For Bi-Edición 18	['15/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '22/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '05/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '07/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '12/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '14/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '19/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '21/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '26/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '28/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm']
Mlops Inmersion-Edición 2	['12/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '19/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '26/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm']

Fuente: Elaboración propia

Con la Tabla 1 se construye la Matriz de capacitaciones e intervalos que se puede ver en la Figura 4.

Figura 4

Matriz de Capacitaciones e Intervalos

CAPACITACION	01/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	03/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	08/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	10/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	12/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	15/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	18/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	19/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	...	29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm	30/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm	01/10/2022 - 10:00am a 13:00pm
Dashboards En Excel-Edición 19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0
Especialización Big Data-Edición 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	1.0	0.0	1.0
Especialización En Credit Scoring-Edición 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	...	1.0	0.0	1.0
Especialización En Machine Learning Y Deep Learning Con Python-Edición 7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	...	0.0	1.0	0.0
Especialización En Power Bi Y Visualización De Datos-Edición 18	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0
Especialización En Power Bi Y Visualización De Datos-Edición	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	1.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

Luego con los nombres de capacitaciones se realiza una consulta a la base de datos para obtener que docentes han dictado con anterioridad las capacitaciones a asignar en el mes de agosto. Luego se construye la matriz de docentes y capacitaciones que se puede ver en la Figura 5.

Figura 5

Matriz de Docentes y Capacitaciones

PROFESOR	Dashboards En Excel-Edición 19	Especialización Big Data-Edición 4	Especialización En Credit Scoring-Edición 6	Especialización En Machine Learning Y Deep Learning Con Python-Edición 7	Especialización En Power Bi Y Visualización De Datos-Edición 18	Especialización En Power Bi Y Visualización De Datos-Edición 19	Especialización En Python For Analytics-Edición 13	Especialización En Sql Server For Bi-Edición 18	Mlops Inmersión-Edición 2
Docente_1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Docente_2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
Docente_3	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Docente_4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
Docente_5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
...
Docente_18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
Docente_19	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Docente_20	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Docente_21	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Docente_22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

De la hoja de cálculo de Google se filtra la disponibilidad de los docentes para el rango de fechas de clases, con esa información se construye la matriz de docentes e intervalos que se puede ver en la Figura 6.

Figura 6

Matriz de Docentes e Intervalos

PROFESOR	01/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	03/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	08/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	10/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	12/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	15/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	18/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	19/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	...	29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm	30/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm	01/10/2022 - 10:00am a 13:00pm
Docente_1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	...	0.0	0.0	0.0
Docente_2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	...	0.0	0.0	0.0
Docente_3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	...	1.0	0.0	1.0
Docente_4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0
Docente_5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	...	0.0	0.0	0.0
...
Docente_18	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0
Docente_19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	1.0	0.0	0.0
Docente_20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0
Docente_21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0
Docente_22	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	...	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

De la hoja de cálculo de Google se filtran las capacitaciones que se encuentran en el rango de los intervalos de las capacitaciones a asignar del mes de agosto, para obtener la disponibilidad de las aulas. Con esa información se construye la matriz de aulas e intervalos que se puede ver en la Figura 7

Figura 7

Matriz de Aulas e Intervalos

AULA	01/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	03/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	08/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	10/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	12/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	15/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	18/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	19/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm	...	29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm	30/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm	01/10/2022 - 10:00am a 13:00pm
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	1	1.0
2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	1	1.0
3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	...	1.0	1	1.0
4.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	1	1.0
5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	1	1.0
...
11.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	...	0.0	1	0.0
12.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	1	1.0
13.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	...	1.0	1	1.0
14.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	...	1.0	1	1.0
15.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	...	1.0	1	1.0

Fuente: Elaboración propia

Usando la librería Pulp de Python, junto a las matrices que se construyeron anteriormente se plasmó el modelo de optimización para su ejecución obteniendo el resultado en 7 minutos, reduciendo considerablemente el tiempo en la asignación de docentes y aulas, porque cuando

se realizaba de manera manual se podía tardar hasta una semana, cabe resaltar que según lo recomendado se debe de tener la disponibilidad por mes de los docentes para poder alimentar el modelo.

A continuación, en la tabla 2 se muestra la asignación obtenida gracias al modelo:

Tabla 2

Resultados

PROFESOR	CAPACITACION	INTERVALOS	AULA
Profesor_6	Dashboards En Excel-Edición 19	['22/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '05/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm']	Aula_1
Profesor_13	Especialización Big Data-Edición 4	['20/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '25/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '27/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '01/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '08/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '10/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '15/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '22/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '06/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '13/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/10/2022 - 10:00am a 13:00pm']	Aula_4
Profesor_3	Especialización En Credit Scoring-Edición 6	['18/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '20/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '25/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '27/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '01/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '08/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '10/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '15/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '22/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '06/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '13/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/10/2022 - 10:00am a 13:00pm']	Aula_14
Profesor_17	Especialización En Machine Learning Y Deep Learning Con Python-Edición 7	['12/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '19/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '26/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '02/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '07/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '09/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '14/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '16/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '21/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '23/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '28/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '30/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm']	Aula_8
Profesor_8	Especialización En Power Bi Y Visualización De Datos-Edición 18	['01/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '10/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '22/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '05/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '07/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '12/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '14/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '19/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm']	Aula_7
Profesor_19	Especialización En Power Bi Y Visualización De Datos-Edición 19	['23/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '25/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '30/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '06/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '13/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '20/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '22/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '27/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '04/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '06/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '11/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '13/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm']	Aula_10
Profesor_7	Especialización En Python For Analytics-Edición 13	['27/08/2022 - 10:00am a 13:00pm', '30/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '06/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '10/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '13/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '20/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '22/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/09/2022 - 10:00am a 13:00pm', '27/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '01/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '04/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '06/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '08/10/2022 - 10:00am a 13:00pm', '11/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '13/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '15/10/2022 - 10:00am a 13:00pm']	Aula_13
Profesor_22	Especialización En Sql Server For Bi-Edición 18	['15/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '22/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '29/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '05/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '07/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '12/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '14/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '19/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '21/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '26/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '28/09/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '03/10/2022 - 19:00pm a 22:00pm']	Aula_3
Profesor_4	Mlops Inmersion-Edición 2	['12/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '17/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '19/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '24/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '26/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm', '31/08/2022 - 19:00pm a 22:00pm']	Aula_15

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

Se logró presentar un modelo de optimización para la asignación de docentes y aulas en un centro de capacitaciones usando programación lineal entera con Python.

Se redujo el tiempo de asignación de docentes y aulas que antes solía tardar de unos días hasta una semana a minutos. Se realizó la automatización de obtención de datos que alimentan el modelo a través de Python. Se logró consolidar la información necesaria para el modelo que son: disponibilidad de aulas, disponibilidad de docentes, capacitaciones dictadas por docentes, horarios de dictado de clases, capacitaciones a asignar.

Se usó los conceptos de scheduling y timetabling para lograr formular el modelo de optimización y establecer las restricciones que permitan ejecutar la asignación correctamente.

Se utilizó programación lineal entera para la asignación de aulas y docentes, el modelo se implementó en el lenguaje de programación Python, la información que alimento al modelo fue extraída desde la base de datos alojada en AWS y de Hojas de cálculo de Google. En el procesamiento de la información se usó Pandas y NumPy para crear las matrices que permiten el funcionamiento del modelo de optimización.

El modelo se podría usar para instituciones que imparten capacitaciones con distintas fechas de inicio en un horizonte de tiempo de 1 a 2 meses.

4.1 DISCUSIÓN

Se puede aplicar para instituciones que tengan las mismas características que DMC, que realicen la programación de varias capacitaciones en un mismo periodo de tiempo, pero con diferentes fechas de inicio y cantidad de sesiones.

Se puede confiar en los resultados del presente trabajo de investigación porque se logró disminuir el tiempo de realizar la asignación de docentes y aulas, la solución generada por el modelo respeto las restricciones planteadas. Dentro de las limitaciones que se tuvo fue el tiempo para desarrollar el trabajo, que un principio se pensó hacerlo dentro del sistema comercial, pero por cómo y dónde se almacenaba gran parte de la información no se llevó hasta ese término.

Las diferencias con otras investigaciones es el horizonte de tiempo donde se realiza la asignación, normalmente es para una programación semanal que se repite dentro de un año escolar o semestre de universidad.

5. RECOMENDACIONES

Al finalizar el presente trabajo se recomienda a la empresa DMC lo siguiente:

Almacenar la información de las Hojas de cálculo de Google dentro de la base de datos que se posee para poder procesar los datos de mejor manera, ya que al estar en el mismo lugar se puede uniformizar los tipos de datos fecha y texto.

Solicitar la disponibilidad mensual (o de un periodo mayor) de los docentes para evitar consultar por cada producto en cada programación.

Luego de cumplir las recomendaciones anteriores, permitiría que el modelo se puede agregar dentro del sistema comercial que se tiene.

Referencias

- Baquerizo Gómez, J. A. (2021). Aplicación web para la automatización y gestión de horarios de clases mediante algoritmos basados en el modelo de programación lineal en la escuela lic. angélica villón lindao.
- Bedoya Tello, F. B. (2018). Modelo matemático para la asignación de horarios en la institución educativa de ciencias aplicadas Víctor Valenzuela Guardia–Cociap–Unasam, 2018.
- Blaz Aristo, S. P. (2016). Un sistema de generación de horarios para la enseñanza de pregrado en universidades peruanas mediante algoritmos genéticos.
- Canseco-González, A., Sánchez-Partida, D., Zúñiga-Alcaraz, C., y Olivares-Benítez, E. (2016). Aplicación de programación lineal para la asignación de horarios en una institución educativa mexicana. *Revista Ingeniería Industrial*, 15(2).
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la investigación científica. pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación* (1.^a ed.). Editorial San Marcos.
- Cobo Vargas, D., y Osorio Arcila, J. A. (2020). Propuesta de programación de horarios y asignación de salones de clase en una institución de educación superior.
- Cuycaposa Rojas, J. (2016). Optimización en la programación de horarios de editores y asignación de islas de edición, para la postproducción de programas de un canal de televisión en Lima, aplicando programación lineal entera.
- Esteban Nieto, N. (2018). Tipos de investigación.
- Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., y Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación. *Editorial McGraw Hill*, 95.
- Fiallos, J., García, J., y Pérez, J. (2008). Diseño de un sistema de asignación automática

de horario de clases: Caso unitec. En *Sixth laccei international latin american and caribbean conference for engineering and technology (laccei'2008)* "partnering to success: Engineering, education, research and development" june.

González Segura, C. M. (2005). Educational timetabling resuelto con recocido simulado y modelado bajo una arquitectura web. generalización y aplicación práctica: Casos patat y uady.

Morales, O. (2022). *Nostalgias de la oficina y el trabajo remoto*. Descargado 2022-05-01, de <https://rpp.pe/columnistas/oswaldomorales/nostalgias-de-la-oficina-y-el-trabajo-remoto-noticia-1403754>

Restrepo, G. E., y Velásquez, L. F. M. (2011). Modelo para la asignación de recursos académicos en instituciones educativas utilizando la técnica metaheurística, búsqueda tabú. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 8(3), 111–123.

Sanca, M. (2011). Tipos de investigación científica. *Revista de actualización clínica investiga*, 9(1), 621–624.

Sissa, G., Ortiz, C., y Rengifo, I. (2022). *Estudio de retorno a oficinas 2022, realizado por deloitte*. Descargado 2022-05-10, de [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pe/Documents/human-capital/HC_PE_Estudio%20de%20retorno%20a%20oficinas%20Deloitte_2022\(v2\).pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pe/Documents/human-capital/HC_PE_Estudio%20de%20retorno%20a%20oficinas%20Deloitte_2022(v2).pdf)

Suárez Londoño, A. M., Triana, G., y Stiven, B. (2018). Desarrollo de un modelo de asignación de horarios en el entorno educativo mediante la programación lineal.

ANEXOS / ILUSTRACIONES

Anexo I: Ficha registral de datos

FICHA REGISTRAL DE DATOS	
INVESTIGADOR	NOEL YZAGUIRRE
EMPRESA	DMC
PROCESO	PROGRAMACION DE HORARIOS
DATOS	FUENTE
Capacitaciones a las cuales se asignará docente y aula.	Hojas de cálculo de Google
Horarios de dictado de clases de las capacitaciones	Hojas de cálculo de Google
Disponibilidad horaria del docente	Hojas de cálculo de Google
Conocimiento de dictado de capacitación de cada docente	Base de datos
Disponibilidad de uso de las aulas.	Base de datos

Anexo II: Conexión a Hojas de cálculo de Google

```
import gspread
import pandas as pd
from oauth2client.service_account import ServiceAccountCredentials

scope = ["https://spreadsheets.google.com/feeds", "https://www.googleapis.com/auth/spreadsheets",
         "https://www.googleapis.com/auth/drive.file", "https://www.googleapis.com/auth/drive"]
creds = ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name('./obtenerDataDrive.json', scope)
client = gspread.authorize(creds)
libro = client.open('PROGRAMACIÓN DMC')
hoja_info_detalle = libro.worksheet('Informacion detallada')
valores_info_detalle = hoja_info_detalle.get_all_values()
df = pd.DataFrame(valores_info_detalle)
```

Anexo III: Formulación del modelo con la librería Pulp

```
modelo = pulp.LpProblem("Asignacion_Horarios", pulp.LpMaximize)
modelo += pulp.lpSum(x[pi][ci][ti][ai] for pi in profesores for ci in capacitaciones for ti in intervalos for ai in aulas)

for p in profesores:
    for t in intervalos:
        modelo += pulp.lpSum(x[p][c][t][a] for a in aulas for c in capacitaciones) <= 1

for c in capacitaciones:
    for t in intervalos:
        modelo += pulp.lpSum(x[p][c][t][a] for p in profesores for a in aulas) <= 1

for a in aulas:
    for t in intervalos:
        modelo += pulp.lpSum(x[p][c][t][a] for p in profesores for c in capacitaciones) <= 1

for p in profesores:
    for c in capacitaciones:
        modelo += pulp.lpSum(x[p][c][t][a] for t in intervalos for a in aulas) == w[p][c]

for c in capacitaciones:
    for t in intervalos:
        modelo += pulp.lpSum(x[p][c][t][a] for p in profesores for a in aulas) == q[c][t]

for p in profesores:
    for t in intervalos:
        modelo += pulp.lpSum(x[p][c][t][a] for a in aulas for c in capacitaciones) == y[p][t]

for a in aulas:
    for t in intervalos:
        modelo += pulp.lpSum(x[p][c][t][a] for p in profesores for c in capacitaciones) <= z[a][t]
```

Anexo IV: Parte inicial del modelo de programación lineal entera

```
Asignacion_Horarios:
MAXIMIZE
1*x_10_1_10_10 + 1*x_10_1_10_10 + 1*x_10_1_10_11 + 1*x_10_1_10_12 + 1*x_10_1_10_13 + 1*x_10_1_10_14 + 1*x_10_1_10_15 + 1*x_1
SUBJECT TO
C1: x_1_1_1_1 + x_1_1_1_10 + x_1_1_1_11 + x_1_1_1_12 + x_1_1_1_13
+ x_1_1_1_14 + x_1_1_1_15 + x_1_1_1_2 + x_1_1_1_3 + x_1_1_1_4 + x_1_1_1_5
+ x_1_1_1_6 + x_1_1_1_7 + x_1_1_1_8 + x_1_1_1_9 + x_1_2_1_1 + x_1_2_1_10
+ x_1_2_1_11 + x_1_2_1_12 + x_1_2_1_13 + x_1_2_1_14 + x_1_2_1_15 + x_1_2_1_2
+ x_1_2_1_3 + x_1_2_1_4 + x_1_2_1_5 + x_1_2_1_6 + x_1_2_1_7 + x_1_2_1_8
+ x_1_2_1_9 + x_1_3_1_1 + x_1_3_1_10 + x_1_3_1_11 + x_1_3_1_12 + x_1_3_1_13
+ x_1_3_1_14 + x_1_3_1_15 + x_1_3_1_2 + x_1_3_1_3 + x_1_3_1_4 + x_1_3_1_5
+ x_1_3_1_6 + x_1_3_1_7 + x_1_3_1_8 + x_1_3_1_9 + x_1_4_1_1 + x_1_4_1_10
+ x_1_4_1_11 + x_1_4_1_12 + x_1_4_1_13 + x_1_4_1_14 + x_1_4_1_15 + x_1_4_1_2
+ x_1_4_1_3 + x_1_4_1_4 + x_1_4_1_5 + x_1_4_1_6 + x_1_4_1_7 + x_1_4_1_8
+ x_1_4_1_9 + x_1_5_1_1 + x_1_5_1_10 + x_1_5_1_11 + x_1_5_1_12 + x_1_5_1_13
+ x_1_5_1_14 + x_1_5_1_15 + x_1_5_1_2 + x_1_5_1_3 + x_1_5_1_4 + x_1_5_1_5
+ x_1_5_1_6 + x_1_5_1_7 + x_1_5_1_8 + x_1_5_1_9 + x_1_6_1_1 + x_1_6_1_10
+ x_1_6_1_11 + x_1_6_1_12 + x_1_6_1_13 + x_1_6_1_14 + x_1_6_1_15 + x_1_6_1_2
+ x_1_6_1_3 + x_1_6_1_4 + x_1_6_1_5 + x_1_6_1_6 + x_1_6_1_7 + x_1_6_1_8
+ x_1_6_1_9 + x_1_7_1_1 + x_1_7_1_10 + x_1_7_1_11 + x_1_7_1_12 + x_1_7_1_13
+ x_1_7_1_14 + x_1_7_1_15 + x_1_7_1_2 + x_1_7_1_3 + x_1_7_1_4 + x_1_7_1_5
+ x_1_7_1_6 + x_1_7_1_7 + x_1_7_1_8 + x_1_7_1_9 + x_1_8_1_1 + x_1_8_1_10
+ x_1_8_1_11 + x_1_8_1_12 + x_1_8_1_13 + x_1_8_1_14 + x_1_8_1_15 + x_1_8_1_2
+ x_1_8_1_3 + x_1_8_1_4 + x_1_8_1_5 + x_1_8_1_6 + x_1_8_1_7 + x_1_8_1_8
+ x_1_8_1_9 + x_1_9_1_1 + x_1_9_1_10 + x_1_9_1_11 + x_1_9_1_12 + x_1_9_1_13
+ x_1_9_1_14 + x_1_9_1_15 + x_1_9_1_2 + x_1_9_1_3 + x_1_9_1_4 + x_1_9_1_5
+ x_1_9_1_6 + x_1_9_1_7 + x_1_9_1_8 + x_1_9_1_9 <= 1
```