

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Economía, Administración y
Mercadología
Especialidad en Analítica de Negocios



Optimización de la Planeación de Grupos en el ITESO

TRABAJO RECEPCIONAL que para obtener el **GRADO** de
ESPECIALISTA EN ANALÍTICA DE NEGOCIOS

Presenta: **RIEMANN RUÍZ CRUZ**

Tutor **RODRIGO TORRES MEJORADA, MARIANA TERESA
RODRÍGUEZ MOTA**

Tlaquepaque, Jalisco. 3 de diciembre de 2025

Contenido

Especialidad en Analítica de Negocios	1
Optimización de la Planeación de Grupos en el ITESO.....	1
1. Fundamentación del trabajo	6
1.1. Descripción del escenario que se planea analizar y diagnosticar	6
1.2. Descripción de la problemática percibida que justifica al proyecto	12
1.3. Validación de las condiciones del escenario	17
1.4. Análisis del entorno de la organización.....	18
1.5. Diagnóstico preliminar: primera hipótesis	20
1.6. Objetivos del proyecto profesionalizante	20
1.7. Delimitación y área funcional por analizar y diagnosticar	21
1.8. Relevancia y pertinencia del trabajo	27
2. Marco conceptual de referencia	29
2.1. Estado de la cuestión.....	29
2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados.....	35
2.2.1. Metodología BPM (“Business Process Management”)	35
2.2.2. Programación entera.....	37
2.3. Análisis de referencia	39
3. Diagnóstico: Marco de referencia y metodología	42
3.1. Definición de la metodología, selección de las herramientas requeridas y el cronograma del diagnóstico	42
3.2. Metas de información	50
3.3. Propuesta de métricas.....	51
3.4. Descripción del análisis: correlación e interpretación de la información	52
3.5. Definición de los factores prioritarios a corregir en la problemática	53

4.	Propuesta de implementación de la metodología	54
4.1.	Justificación de la implementación propuesta.....	54
4.1.1.	Consideraciones costo/beneficio de la implementación	54
4.2.	Etapas del proceso de la propuesta de implementación	55
4.2.1.	Cronograma de la implementación	56
4.2.2.	Imprevistos	57
4.3.	Impacto de la estrategia en la organización.....	58
5.	Conclusiones	58
5.1.	Reflexiones personales.....	60
5.2.	Relevancia y trascendencia disciplinaria del proyecto profesionalizante.....	61
6.	Apéndice A. Diccionario de datos.....	62
7.	Apéndice B. Implementación de la prueba de concepto.	66
	Bibliografía	69

Índice de siglas

TOG: Trabajo de Obtención de Grado

IDI: Investigación, Desarrollo e Innovación

DEAM: Departamento de Economía, Administración y Mercadología

ITESO: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de técnicas utilizadas para resolver el problema de planeación de horarios. Fuente: (Chen et al., 2021).....	43
Tabla 2. Resultado de la planeación de horarios inicial como prueba de concepto.....	49
Tabla 3. Cronograma de la implementación de la propuesta. Fuente: Elaboración propia	57
Tabla 4. Diccionario de datos del reporte Acompañamiento Escolar.....	64
Tabla 5. Diccionario de datos del reporte Bajas Académicas.....	64
Tabla 6. Diccionario de datos del reporte Seguimiento de alumnos.	65

Índice de gráficos

Figura 1. Organigrama de funcionarios del ITESO.....	10
Figura 2. Reporte de estado del programa de estudios "Ingeniería y Ciencia de Datos", relación entre periodo de ingreso al plan de estudios y estatus del alumno.	22
Figura 3. Comportamiento del estatus de los estudiantes del programa de estudios por periodo.	23

Abstracto

Este trabajo diagnostica la problemática de la planeación de horarios en el programa de Ingeniería y Ciencia de Datos del ITESO y traza una ruta sugerida de implementación basada en programación entera. Se delimita el alcance al análisis de datos disponibles y a la formulación preliminar del modelo, dejando para trabajos posteriores la validación y el desarrollo de una herramienta. El propósito es fundamentar decisiones y priorizar condiciones para una eventual implementación.

Palabras clave: planeación académica, programación entera, “course timetabling”, gestión educativa, ITESO

OPTIMIZACIÓN DE LA PLANEACIÓN DE GRUPOS EN EL ITESO

1. Fundamentación del trabajo

1.1. Descripción del escenario que se planea analizar y diagnosticar

El Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), Universidad Jesuita de Guadalajara, es una institución educativa fundada en 1957 (ITESO, s. f.-a). Forma parte del Sistema Universitario Jesuita, el cual está conformado por las siguientes instituciones de educación superior (Provincia Mexicana de la Compañía de Jesús, s. f.):

- Universidad Iberoamericana:
 - o Campus Ciudad de México (IBERO Ciudad de México)
 - o Campus Puebla (IBERO Puebla)
 - o Campus León (IBERO León)
 - o Campus Tijuana (IBERO Tijuana)
 - o Campus Torreón (IBERO Torreón)
- Universidad Indígena Intercultural Ayuuk (ISIA-AYUUK)
- Tecnológico Universitario del Valle de Chalco (TUVCH)
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO)

El ITESO está ubicado en el municipio de Tlaquepaque, perteneciente a la Zona Metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. Esta universidad se distingue por su

compromiso con la excelencia académica y la formación integral de sus estudiantes (ITESO, s. f.-e).

Como aspectos destacados del ITESO pueden mencionarse los siguientes:

Enfoque educativo

La universidad ofrece una amplia gama de programas académicos, incluyendo preparatoria, licenciaturas, posgrados, diplomados y cursos, así como opciones de estudio en línea.

Se promueve la investigación y la innovación a través de diversos centros de investigación y desarrollo.

La institución tiene como uno de sus principales enfoques la formación de líderes éticos y responsables, con un fuerte sentido de servicio social y compromiso con el medio ambiente.

Comunidad y valores

El ITESO fomenta la inclusión y la diversidad, asegurando la igualdad de oportunidades para todos sus estudiantes.

Se promueve el desarrollo integral de los estudiantes a través de actividades extracurriculares y programas de bienestar.

La universidad tiene una fuerte presencia internacional, con convenios de intercambio con universidades de una gran cantidad de países alrededor del mundo (ITESO, 2025a).

Compromiso social

El ITESO tiene programas de voluntariado, los cuales permiten a los estudiantes contribuir a la sociedad (CRUCE, 2023).

La universidad se preocupa por la formación de ciudadanos del mundo y la formación de personas que sean capaces de transformar el mundo (ITESO, 2025b; Morfin Otero, s. f.).

Infraestructura

El ITESO cuenta con una infraestructura moderna que permite a los estudiantes desarrollar sus habilidades y conocimientos. Además, el campus cuenta con una gran variedad de árboles; en ocasiones es mencionado como "Bosque ITESO" (*ITESO - Bosque ITESO*, s. f.).

Para finales del año 2024, el ITESO contaba con 44 programas académicos de nivel licenciatura en las áreas de ingenierías, negocios y humanidades (Zatyrka-Pacheco, 2025).

Como parte de la estructura organizacional dentro del ITESO (ITESO, s. f.-d), existen 5 direcciones generales, las cuales son:

- Rectoría
- Dirección General Académica
- Dirección de Relaciones Externas
- Dirección de Integración Comunitaria
- Dirección de Administración y Finanzas

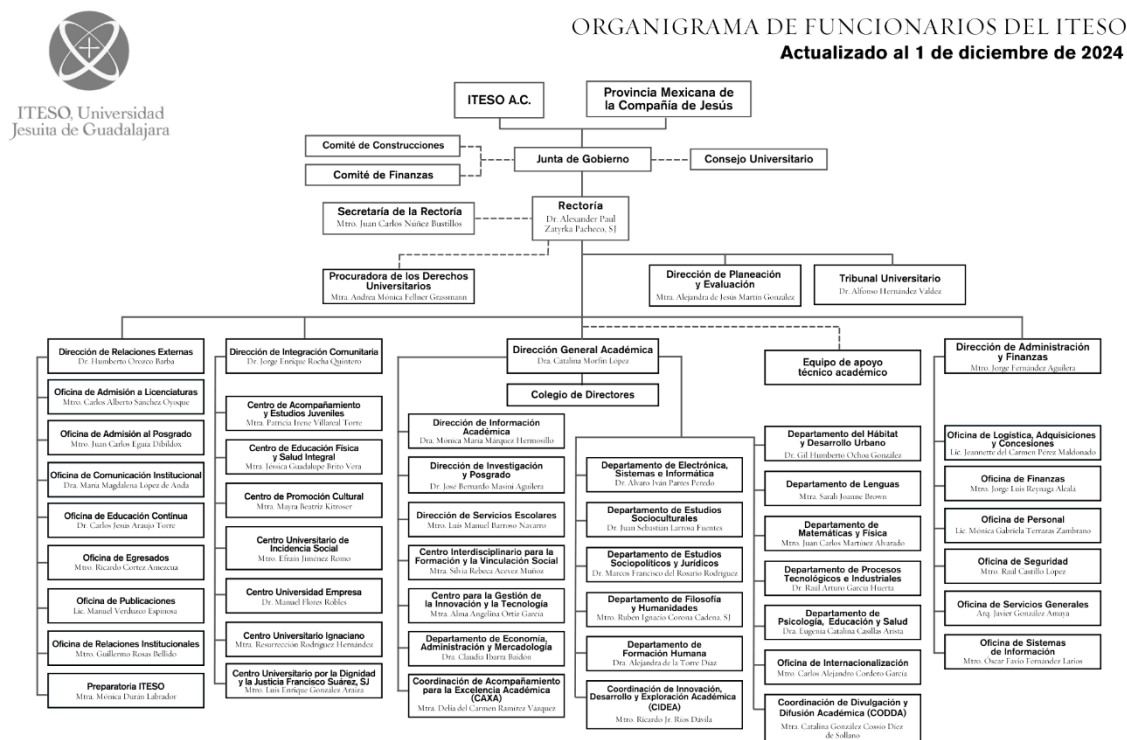
Los programas educativos ofrecidos por la universidad pertenecen a la Dirección General Académica, la cual está organizada en departamentos y en coordinaciones. Las coordinaciones se centran en las actividades administrativas y de apoyo, y los departamentos

se centran en la impartición de asignaturas agrupadas en áreas de conocimiento afines. Las coordinaciones y departamentos que pertenecen a la Dirección General Académica son los siguientes (ITESO, s. f.-d):

- Asistente del Director General Académico (DGA)
- Dirección de Información Académica – Biblioteca (DIA)
- Dirección de Investigación y Posgrado (DIP)
- Dirección de Servicios Escolares (DSE)
- Coordinación de Acompañamiento para la Excelencia Académica (CAXA)
- Coordinación de Divulgación y Difusión Académica
- Coordinación de Innovación, Desarrollo y Exploración Académica (CIDEA)
- Centro para la Gestión de la Innovación y la Tecnología (CEGINT)
- Centro Interdisciplinario para la Formación y la Vinculación Social
- Departamento de Economía, Administración y Mercadología (DEAM)
- Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática (DESI)
- Departamento de Estudios Socioculturales (DESO)
- Departamento de Estudios Sociopolíticos y Jurídicos (DESOJ)
- Departamento de Filosofía y Humanidades
- Departamento de Formación Humana (DFH)
- Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano (DH DU)
- Departamento de Lenguas (DELE)
- Departamento de Matemáticas y Física (DMAF)

- Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales (DPTI)
- Departamento de Psicología, Educación y Salud (DPES)
- Oficina de Internacionalización

Figura 1. Organigrama de funcionarios del ITESO



Fuente: (ITESO, s. f.-d)

Los programas educativos están adscritos al departamento donde el conocimiento base o la mayor parte del conocimiento en el que se enfoca el programa educativo es afín al conocimiento de estudio del departamento.

Generalmente, cada programa educativo tiene un coordinador que es una figura en la que se deposita la responsabilidad de velar por la gestión y administración de este. Basado en documentos realizados en el Departamento de Matemáticas y Física, se puede definir el objetivo de un coordinador de programa en el ITESO como:

Dar seguimiento a las actividades sustantivas del Programa Educativo, velando por su buen funcionamiento, así como coordinar académicamente a los alumnos con el objetivo de que cursen en tiempo objetivo el programa educativo. Diseñar y administrar las líneas de conocimiento que integran el programa educativo y revisar el logro de los objetivos educativos de las asignaturas que conforman el plan de estudios, así como realizar exitosamente todas las tareas administrativas y de promoción que las áreas de servicio de la universidad indiquen para fines de mejora y sostenibilidad el programa académico (ITESO, 2025c).

Adicionalmente, las actividades a realizar por el coordinador de programa se pueden agrupar en las siguientes categorías:

1. Gestión académica
 - Promoción
 - Alumnos
 - Vinculación
2. Planeación escolar
3. Programa educativo
4. Docencia
5. Asesoría

6. Tutoría
7. Investigación
8. Rutas de formación
9. Comunicación

De las actividades antes mencionadas, el mayor tiempo se dedica fundamentalmente a las 6 primeras actividades.

1.2. Descripción de la problemática percibida que justifica al proyecto

Como se mencionó previamente, los programas educativos están adscritos a los departamentos que agrupan las áreas de estudio afines. En el Departamento de Matemáticas y Física se encuentran adscritos 3 programas de ingeniería y 1 programa de posgrado, los cuales son Ingeniería Financiera, Ingeniería en Nanotecnología, Ingeniería y Ciencia de Datos y la Maestría en Ciencia de Datos.

Como coordinador de la carrera de Ingeniería y Ciencia de Datos en el ITESO, se deben atender diferentes actividades relacionadas con la operación y gestión del programa educativo.

La planeación de los horarios semestrales es una de las actividades que se realizan al menos dos veces por año y representa un reto debido a que varias de las decisiones que se toman

para su realización se basan en el conocimiento empírico transmitido por coordinadores previos al coordinador en turno o por experiencia del coordinador en turno.

La planeación de las asignaturas y la cantidad de grupos de cada asignatura que se deben de ofertar para el semestre inmediato es una tarea que está afectada por la incertidumbre, ya que debe de planearse sin tener certeza de la cantidad de alumnos que requerirán esa oferta, pues en el momento en el que se lleva la planeación, aún no se conocen los resultados de aprobación de los estudiantes del semestre en curso, y se deben de hacer suposiciones del índice de aprobación. La razón por la que se hace en este momento es que se debe tener el tiempo suficiente para poder realizar las gestiones de contratación de profesores para cubrir los grupos planeados.

Desde los últimos años, la planeación de grupos se apoya en reportes que proporciona la Oficina de Servicios Escolares basados en el comportamiento histórico de la oferta previa, haciendo el supuesto de que la oferta del periodo a planear se debe comportar igual o muy similar a la oferta del mismo periodo del año previo. Además, los reportes mencionados se centran únicamente en alumnos del programa educativo en cuestión, sin considerar la estimación completa de la demanda para las asignaturas compartidas por varios programas. Generalmente, estas asignaturas forman parte del tronco común de más de un programa educativo.

Aunque sí aparece en el reporte este tipo de asignaturas, las métricas proporcionadas únicamente incluyen a los alumnos de un solo programa educativo. Por lo que la estimación de grupos puede ser menor a la necesaria. Por ejemplo: para carreras con pocos alumnos se

puede considerar que no se ofertará el grupo por no alcanzar la cuota mínima de alumnos, pero si se hubiera considerado a alumnos de otras carreras, podría cambiar esa estimación. Además, la oferta incorrecta de grupos puede afectar a programas con pocos alumnos, por ejemplo: si se ofertan menos grupos de lo esperado, se puede dar el caso (más común de lo que se pensaría) de que, debido a la prioridad de inscripción dada a estudiantes con mayor avance en sus estudios, los alumnos de carreras pequeñas no alcancen cupos en los grupos ofertados para poder cursar de manera correcta su plan de estudios.

Con relación a los reportes e insumos con los que se dispone para realizar la planeación, los reportes se proporcionan en archivos de Excel en diferentes formatos o presentaciones, lo que dificulta su sistematización. Además, el proceso de decisión recae en el coordinador del programa únicamente y es quien propone horarios y clases sin considerar disponibilidad de profesores o distribución de horarios en función de los espacios disponibles. La complicación sucede cuando dos coordinadores (cada uno desde su perspectiva) toman decisiones sobre la misma asignatura y esto hace que se oferten grupos duplicados.

Debido a que la mayoría de las decisiones son tomadas basadas en la experiencia del coordinador de programa en turno, es posible que se surjan problemas debido a la omisión de situaciones al momento de la planeación.

Los escenarios identificados más comunes son los siguientes:

- **Cruces de horarios.** La oferta de asignaturas en los mismos horarios y que los estudiantes deben de cursar en el mismo semestre y debido al cruce de horario solo es posible que pueda cursar una asignatura. Esto es más común que ocurra con

asignaturas que pertenecen a otros departamentos y que por la falta de información entre las necesidades de cada departamento se puede incurrir en estos cruces. Aunque también es posible que ocurra entre asignaturas de la misma carrera, donde la dificultad del coordinador de programa de visualizar todos los posibles escenarios del avance de los estudiantes hace los cruces entre asignaturas de semestres diferentes también sea necesario de evitar. Esto afecta en el ritmo de avance del estudiante en el cumplimiento de su ruta sugerida del plan de estudios.

- **No oferta de asignaturas importantes.** Si la planeación se hace por la demanda general solamente, en ocasiones se omite la necesidad de estudiantes en línea de egreso o con un avance desfasado de su generación, lo cual provoca que no se oferten asignaturas que son necesarias para su avance, haciendo que se desfase (atrase) aún más de los estudiantes que conforman su generación.
- **Dispersión de horarios.** La falta de información de otros departamentos provoca que las ofertas de asignaturas entre departamentos provoquen una dispersión de horarios muy grande, lo que en ocasiones provoca que los estudiantes decidan no inscribirlas (aunque puedan) por la dificultad de estar buena parte del día en la escuela o por la decisión de no querer pasar mucho tiempo en ella.
- **Intercambios.** Los estudiantes que deciden ausentarse uno o dos semestres de la universidad para realizar un intercambio académico en el extranjero tienen un reto a su regreso para poder sincronizar su avance en el plan de estudios. La ausencia provoca que esos estudiantes ya salgan de la estadística general y normalmente no sean considerados para la toma de decisiones de la planeación de las asignaturas.

- **Razones económicas.** Los estudiantes que por alguna razón no tienen la posibilidad de cursar la carga normal de asignaturas (frecuentemente por dificultades en el pago de la colegiatura) se ven en la necesidad de tener cargas reducidas. Esto provoca que se genere un desfase en el avance, provocando que cada vez sea más complicado cursar asignaturas que les corresponden.

Cabe mencionar que, si sucede alguno de los escenarios mencionados anteriormente o algún otro, en ocasiones se pueden omitir (en función del grado de impacto hacia los estudiantes que el mismo coordinador evalúa) o, es necesario hacer modificaciones en la planeación de asignaturas, lo que implica retrabajo. Depende del momento en el que se identifiquen los problemas; el retrabajo puede solo implicar al coordinador de programa o también al departamento de servicios escolares e incluso a los profesores. El riesgo aumenta cuando las modificaciones que se hayan identificado como necesarias afectan a otro programa de estudios, provocando retrabajo de actores que no estaban considerados en la planeación inicial.

La manera de lidiar con estos inconvenientes identificados no está reglamentada por la institución y se limita a que el coordinador decida la mejor opción en el momento, involucrando al departamento de servicios escolares si es necesario.

1.3. Validación de las condiciones del escenario

El proyecto está acotado al escenario de planeación de grupos de la carrera de Ingeniería y Ciencia de Datos, lo cual facilita las condiciones de la realización del proyecto debido a los siguientes aspectos:

- En este proyecto, el cliente directo es el coordinador de la carrera en Ingeniería y Ciencia de Datos y los clientes indirectos o segundos beneficiados son los alumnos inscritos en dicha carrera, lo cual favorece la viabilidad temporal de un diagnóstico profundo y de la elaboración de una ruta sugerida de implementación.
- En el SIA se tiene acceso a datos detallados de la trayectoria escolar de cada uno de los estudiantes que están cursando la carrera.
- En el ADG se tiene acceso a los datos históricos de las planeaciones de grupos de cada departamento de la Universidad. En este caso, la carrera de Ingeniería y Ciencia de Datos está adscrita al Departamento de Matemáticas y Física (DMAF) lo que facilita la obtención de datos, porque la mayoría de las asignaturas que componen el plan de estudios son impartidas por este departamento y se cuenta con el acceso al histórico desde que se ofertó por primera vez el plan de estudios en el año 2020.
- El problema por tratar en este proyecto no es nuevo en la universidad, pero ha perdurado por la magnitud de la institución y la rotación de los CPE. No obstante, con la experiencia del actual CPE se considera que es posible lograr el objetivo del proyecto en un periodo de un año o un año y medio, aproximadamente. Además, el

alcance esperado en tiempo de duración de la especialidad es lograr el diagnóstico del problema, lo cual es alcanzable.

- El objetivo del presente trabajo es caracterizar la problemática y proponer una ruta sugerida de implementación más sistemática, automatizada y sustentada en datos para la planeación de horarios. De adoptarse posteriormente, podría pilotearse en una sola carrera y, con base en los resultados, evaluar su escalabilidad a otros programas del departamento.

Aunque ya se mencionó en la problemática inicial, el problema de la planeación no es necesariamente un problema de un solo programa de estudio, debido a las asignaturas compartidas entre planes de estudio. Estas relaciones entre programas de estudios no serán tomadas en cuenta aun para mantener acotado el problema, que es la misma manera en la que se realizan las planeaciones actualmente.

1.4. Análisis del entorno de la organización

El ITESO tiene una posición destacada dentro de las instituciones educativas de la región y en México, ya que es reconocido dentro del top 10 de las mejores universidades privadas de México (Mextudia, s. f.) y está considerado como una de las 30 mejores universidades de educación superior en México (UniRank, s. f.). Por otro lado, basado en la producción de investigación, prominencia no académica e influencia de los exalumnos de la universidad, el ITESO ha sido clasificado dentro de las primeras 30 mejores universidades de México en el 2025 (EduRank, 2025).

A nivel internacional, el ITESO es una universidad que se encuentra posicionada dentro de las primeras 1200 universidades en el *QS World Universities Ranking* (QS Quacquarelli Symonds, 2025), el cual se enfoca en evaluar el nivel de investigación, empleabilidad, compromiso global, experiencia del aprendizaje y la sustentabilidad.

Además, ha tenido reconocimiento como una de las universidades más sustentables de México en *UI GreenMetric Ranking 2021*, *Ranking El Universal 2022*, entre otros. También ha sido reconocida como la universidad número uno de la región Bajío en años consecutivos en el periodo de 2018 al 2021 por la revista *Readers Digest Guía Universitaria* (ITESO, s. f.-c). Ha sido reconocida como la universidad privada más sustentable de México (ITESO, s. f.-b).

El ITESO cerró el año 2024 con una matrícula de 10,478 estudiantes inscritos en los 44 programas académicos de educación superior, y 694 estudiantes inscritos en los diferentes programas de posgrado. La universidad continúa creciendo y fortaleciendo su impacto académico y social tanto a nivel nacional como internacional.

Aunque la carrera particular donde se centra el proyecto es un programa relativamente joven con una matrícula total de 89 alumnos activos y con apenas 7 egresados a finales del 2024, esto es una ventaja, ya que la cantidad de datos históricos está acotada y es posible establecer diferentes escenarios para realizar las pruebas de concepto.

1.5. Diagnóstico preliminar: primera hipótesis

Si se estructura el problema de planeación de horarios mediante un modelo formal de programación entera que incorpore variables institucionales clave (carga docente, disponibilidad de aulas, secuencias curriculares y demanda estudiantil), entonces será posible identificar inconsistencias, redundancias y oportunidades de mejora en el proceso actual, permitiendo generar una ruta de implementación que potencialmente reduzca tiempos operativos y conflictos de horario.

La hipótesis se sostiene en que la universidad cuenta con bases de datos bien estructuradas de su control escolar que permiten tener datos históricos de cada programa de estudio de la universidad. El tipo de datos que se manejan se encuentran estructurados, lo que permite la transformación de estos para adecuarlos a ser utilizados en un algoritmo de optimización. La dificultad identificada en este aspecto es que las herramientas disponibles para los coordinadores de programa no permiten de forma simple la descarga de forma masiva de los datos.

1.6. Objetivos del proyecto profesionalizante

Las metas del diagnóstico se formulan con base en métricas institucionales disponibles (tiempos de planeación del CPE, datos de ocupación de aulas, registros de carga docente y reportes de conflictos). Los porcentajes establecidos corresponden a umbrales operativos típicamente utilizados por la dirección de servicios escolares (DSE).

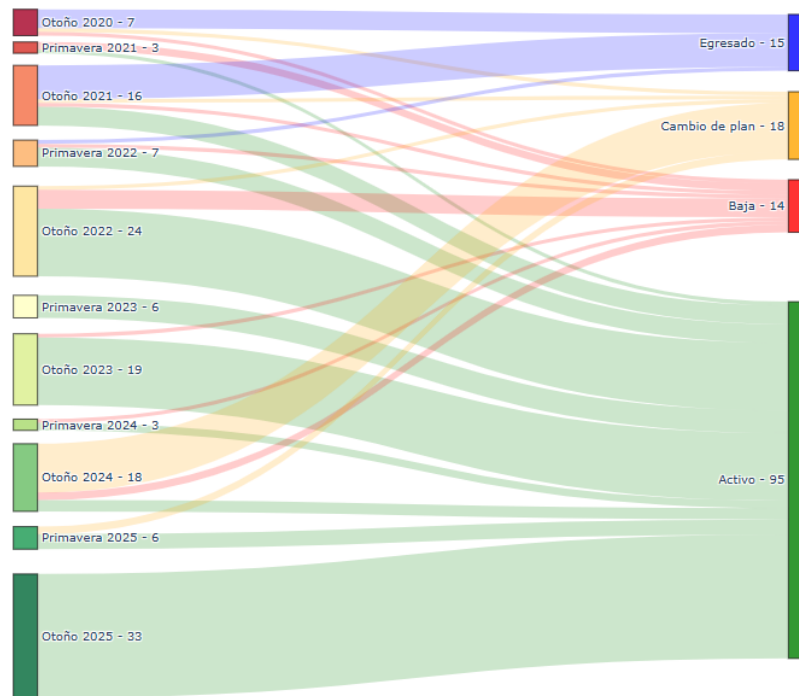
- Definir los elementos, métricas y criterios necesarios para evaluar, en una implementación futura, la eficiencia y coherencia del proceso de planeación de horarios del programa de Ingeniería y Ciencia de Datos.
- Caracterizar los tiempos operativos actuales de la planeación y establecer un protocolo de medición que permita comparar ciclos posteriores (línea base temporal).
- Determinar indicadores de eficiencia en el uso de aulas y distribución docente, identificando umbrales institucionales o líneas base comparables (p. ej., ocupación histórica promedio, dispersión de carga docente).
- Documentar los principales conflictos de horario y secuenciación reportados por estudiantes y docentes en los últimos ciclos, definiendo métricas de frecuencia e impacto.
- Formular criterios de evaluación para una futura propuesta algorítmica, incluyendo coherencia horaria, cumplimiento de restricciones y estabilidad de la oferta.

1.7. Delimitación y área funcional por analizar y diagnosticar

Debido a que la cantidad de datos de un programa de estudios puede variar en función de la cantidad de alumnos activos y el tiempo de vida del mismo programa, el proyecto se encuentra enfocado en el análisis de datos particularmente de la carrera de Ingeniería y Ciencia de Datos. Este programa educativo comenzó a operar en el periodo de otoño de 2020 y tiene una totalidad de 8 semestres, lo que hace posible que ya se cuente con datos de alumnos egresados y la cantidad de alumnos activos aún sea pequeña comparada con otros programas educativos.

Al semestre de Otoño 2025, el programa de estudios cuenta con 95 estudiantes activos, 15 egresados, 18 cambios de carrera y 14 bajas académicas. En la Figura 2 se observa la distribución de los estudiantes en cada uno de los estatus mencionados previamente, segmentados por el semestre de ingreso al plan de estudios. Se puede observar que en las generaciones más antiguas es donde se tiene un mayor número de estudiantes egresados.

Figura 2. Reporte de estado del programa de estudios "Ingeniería y Ciencia de Datos", relación entre periodo de ingreso al plan de estudios y estatus del alumno.

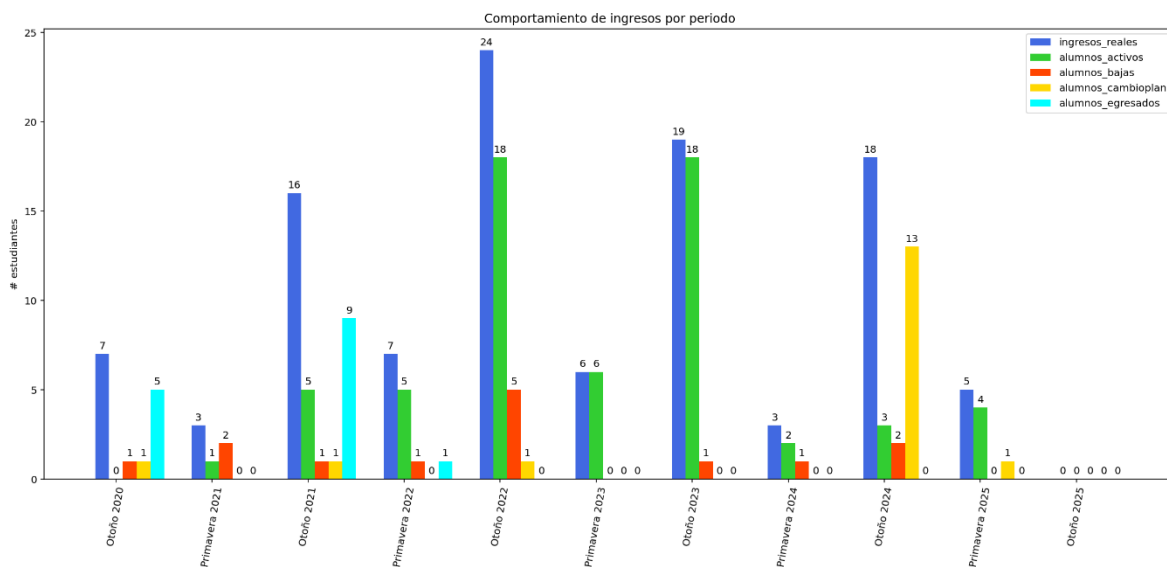


Fuente: Elaboración propia

Normalmente el ingreso de más estudiantes se ha llevado a cabo en los semestres de otoño, ya que en los semestres de primavera se reciben a estudiantes que tienen un desfase en sus estudios por diversas razones, como se muestra en la Figura 3. Aquí se puede apreciar que la

cantidad de estudiantes que ingresan en el periodo de primavera no alcanza el límite mínimo de apertura de grupos (12 estudiantes), por lo que se puede inferir que se tendrá dificultad para la apertura de grupos de las asignaturas propias del plan de estudios y los obliga a no cursar la ruta sugerida ideal. Por otro lado, este plan de estudios tiene la característica de que se deben cursar asignaturas complementarias que dependen de otros planes de estudio, lo cual hace necesario el conocimiento de la demanda de ese programa de estudios para planificar si es posible la apertura de los grupos en conjunto. Esto generalmente no se lleva a cabo de forma natural y es necesaria la intervención y disposición de cada coordinador de programa educativo.

Figura 3. Comportamiento del estatus de los estudiantes del programa de estudios por periodo.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las herramientas de información disponibles en la institución tienen limitaciones al momento de consultar datos históricos de programas de estudio con mucha historia. Este es otro motivo importante para mantener el proyecto enfocado en un programa educativo pequeño.

Las oficinas internas involucradas dentro de la institución es el mismo DMAF y la oficina de servicios escolares. Inicialmente, se considera que el DMAF tiene el acceso a los datos y a los insumos necesarios para poder llevar a cabo el proyecto, y la Oficina de Servicios Escolares tendrá una participación de consulta sobre interpretación de datos disponibles y posible acceso a nuevos datos complementarios que durante la realización del proyecto se consideren indispensables.

De las fuentes de datos disponibles se cuenta con alrededor de 40 variables distintas relacionadas con un programa de estudios. De estas 40 variables, las variables relacionadas con la inscripción de asignaturas, semestre de la inscripción, ruta sugerida y bajas académicas son las que se consideran necesarias para la realización de la planeación de manera preliminar.

El origen de datos principales son el sistema SIA y ADG, donde se pueden obtener tener reportes organizados en archivos .xlsx. Del SIA se pueden obtener tres reportes principales, lo cuales son el de Acompañamiento Escolar, el de Bajas Académicas y el de Seguimiento a Alumnos.

- **Acompañamiento Escolar.** El reporte de datos de Acompañamiento Escolar integra información a nivel alumno sobre características demográficas (alumno, género y

fecha de nacimiento), identificación académica (código y plan de estudios, nivel académico, programa educativo y código de departamento), estatus y fechas asociadas (activo, egresado, baja, cambio de plan), así como trayectoria y desempeño: ciclos cursados, porcentaje de avance, promedios (general y del periodo anterior), asignaturas reprobadas (del periodo previo y acumulables), y un desglose detallado de créditos (requeridos, aprobados, inscritos, reprobados, por baja o renuncia, en intercambio sin calificar y por modalidad: regular, complementaria y proyecto). También incluye eventos académicos relevantes (bajas académicas, revalidantes, cambios de plan y códigos de plan afectados), periodos clave (primer y último periodo en el plan, en el programa y en ITESO), información de intercambio (estatus en curso/por cursar, último periodo y créditos cursados), cumplimiento de PAP (asignaturas requeridas y aprobadas) y RIEL, así como campos de idioma/PCI–COE (última asignatura/periodo PCI inscrito y aprobado, regla PCI y nivel COE). A nivel socioacadémico se capturan datos del tutor (nombre, parentesco, fecha de nacimiento, fecha de actualización, condición de “tutor asegurado”), el correo institucional del alumno, y banderas como seguro de vida y titulación; finalmente, se registran métricas administrativas útiles para planeación (número de cambios de plan, asignaturas inscritas en periodo ordinario y otros metadatos de control). El diccionario de datos del reporte se puede revisar en el Apéndice A. Diccionario de datos. en la Tabla 4.

- **Bajas Académicas.** El reporte de Bajas Académicas registra, por evento y por alumno, las bajas de asignaturas dentro del plan LICD2020 de Ingeniería y Ciencia de Datos, incluyendo el Expediente (identificador del alumno), el nombre del alumno, la clave del grupo y la asignatura afectada, además del código y nombre del plan de estudios. Para cada baja se consignan el Motivo (p. ej., Exceso de faltas, No entiendo la materia, No me gustó el profesor, Llevo una carga muy pesada, El horario ya no se me acomoda, Otra causa, Personal) y los Comentarios en texto libre que contextualizan la decisión; también se registra el(los) Profesor(es) responsable(s) y el Periodo escolar en que se produce el evento. Este dataset puede vincularse con el de Acompañamiento Escolar por el campo Expediente para enriquecer la planeación con historia académica y métricas de avance. El diccionario de datos del reporte se puede revisar en el Apéndice A. Diccionario de datos. en la Tabla 5.
- **Seguimiento de Alumnos.** El reporte de seguimiento de alumnos contiene el historial detallado de asignaturas cursadas por cada alumno en el plan de estudios de Ingeniería y Ciencia de Datos. Cada registro corresponde a una asignatura cursada por un alumno en un periodo escolar específico, e incluye información clave como el expediente (identificador único del alumno), código y nombre del plan de estudios, programa educativo, estatus del alumno en el plan (activo, baja, egresado, cambio de plan), nombre completo del alumno, código y nombre de la asignatura, calificación obtenida, periodo escolar, tipo de evaluación (ordinario, equivalencia, intercambio, etc.), número de créditos, ciclo sugerido, código de departamento académico, grupo, sub-área y área curricular, número de ciclos cursados y, en su caso, inscripción en

otros planes. Este reporte permite analizar trayectorias académicas, rendimiento por asignatura, avance curricular y patrones de inscripción, y puede vincularse con los archivos de acompañamiento escolar y bajas académicas mediante el campo expediente para estudios longitudinales y de planeación. El diccionario de datos del reporte se puede revisar en el Apéndice A. Diccionario de datos. en la Tabla 6.

Se considera que es indispensable en las etapas iniciales contar únicamente con los datos de estos reportes proporcionados por servicios escolares para resolver el problema de forma automática en las mismas condiciones en que se resuelve actualmente y evaluar el impacto que tiene la optimización en un escenario conocido por la institución.

1.8. Relevancia y pertinencia del trabajo

Como se mencionó anteriormente, la coordinación de un programa educativo en el ITESO cuenta con tareas relacionadas con la gestión y toma de decisiones que afectan el tránsito de estudiantes por sus estudios. La planeación de grupos es una tarea que se hace de forma recurrente dos veces al año y es una tarea que, aunque se hace una vez al semestre, es de suma importancia para que los estudiantes avancen de forma fluida. Esta tarea, generalmente, lleva mayor o menor tiempo en función de la cantidad de estudiantes inscritos en el programa educativo y también de la habilidad del CPE para tener una buena visualización del comportamiento de los semestres posteriores.

Si se logra la optimización del proceso de planeación de tal manera que la habilidad de CPE o experiencia en turno no sea un factor determinante, entonces se logra una reducción del tiempo invertido por el mismo CPE. El tiempo ahorrado puede ser usado para atender otras actividades enfocadas al crecimiento del programa de estudios y no solamente a la operación de este. Además, estableciendo un criterio optimizado y estandarizado de planeación, se facilita la transición entre coordinadores de programa al finalizar su periodo de gestión, ya que la experiencia lograda muchas veces no se transfiere y el nuevo coordinador debe reinventar el proceso basado en sus habilidades personales.

Logrando un proceso de planeación más ordenado, se facilita la trazabilidad del comportamiento del alumno durante sus estudios y se logra facilitar la generación de métricas de desempeño para evaluar el propio programa educativo.

2. Marco conceptual de referencia

2.1. Estado de la cuestión

El problema de planeación de horarios ha sido abordado por años debido a que representa una situación compleja; además, se ha agregado un factor adicional que es la flexibilidad en la realización de los estudios así como la modalidad virtual (Loáiciga-Gutiérrez et al., 2022).

En un estudio se buscó entender la interacción de los estudiantes con un modelo educativo flexible y cómo sortean la conformación de su carga académica semestral, centrándose en la perspectiva de los estudiantes en el proceso de selección de asignaturas (Ocampo-Gómez, 2021). Basados en este estudio se definieron cuatro etapas o factores en este proceso:

1. **El candado:** Evaluación docente del semestre previo como prerrequisito.
2. **Visualización de la oferta:** Selección de asignaturas deseadas.
3. **Inscripción:** Registro definitivo de asignaturas.
4. **Cursar las asignaturas:** Cumplimiento de horarios y permanencia diaria.

El estudio aporta una visión de las experiencias y desafíos que enfrentan los estudiantes en un modelo educativo flexible, y destaca la importancia de la administración y el apoyo institucional.

Siguiendo con la perspectiva de los estudiantes, los estudios se centran en la planeación escolar como la gestión de tiempos para estudiar y poder cumplir con sus actividades durante sus estudios (devteam, 2021).

Por otro lado, desde la perspectiva administrativa de las instituciones se han hecho esfuerzos por tratar de solventar el problema de la planeación de horarios, aunque la mayoría de los esfuerzos son aislados desde la particularidad de cada universidad. Un reflejo de esto es que en la búsqueda realizada para este trabajo se encontraron herramientas comerciales que abordan el problema específico de la planeación de horarios y la asignación de espacios, pero los escenarios contemplados se centran en la optimización de recursos humanos y materiales. Ejemplos de estas herramientas son Shiftboard (*Employee Scheduling Software*, s. f.), Workday Scheduling, Shifton (*Optimiza con Software de Gestión de la Fuerza Laboral*, s. f.), Opcenter Advanced Scheduling, Monitask entre otros. Existen herramientas comerciales específicamente aplicadas al sector educativo y utilizadas en escuelas, institutos y universidades; entre las más conocidas están Peñalara GHC, Untis, Additio App, ascTimetables, entre otras. La herramienta Peñalara GHC es de las más reconocidas para la generación y optimización automáticas de horarios de centros educativos de cualquier nivel y complejidad, siendo de las más utilizadas en España y Latinoamérica (*GHC App | Peñalara GHC*, s. f.). A pesar de esto, los escenarios de optimización de estas herramientas se centran en los recursos de la institución (profesores, aulas, horarios) y no contemplan la demanda de estudiantes y, obviamente, el software tiene un costo. Por otra parte, existen herramientas de software gratuitas aplicadas en el sector educativo como FET, aSc TimeTables, Docendo,

Generador de horarios ARSAAC, Custombit, entre otras, las cuales facilitan el manejo de restricciones básicas y avanzadas, pero son ideales para centros educativos con recursos limitados y se enfocan sólo en restricciones estructurales de la institución (aulas, profesorado, horarios disponibles) y no consideran la trayectoria académica de los estudiantes.

La idea de incluir datos para resolver el problema de realizar una mejor planeación no es nueva y puede resultar hasta obvia; pero la complejidad del problema ha hecho que aún sea un problema que se ha intentado resolver de forma aislada. Ejemplo de esto es el sistema SysPro que genera un pronóstico que sirve de soporte para desarrollar actividades de planificación y programación de un semestre académico (Muñoz & Zúñiga, 2008). Aunque no se dan muchos detalles técnicos sobre el funcionamiento o las capacidades que tiene, se hace énfasis en que fue un desarrollo propio de la universidad para apoyar la gestión de archivos, la migración, validación, pronóstico y programación de programas de estudio. Este sistema está desarrollado en Visual Basic y toma ventaja de bases de datos escolares propias.

Más recientemente, en la Universidad de Manizales en Colombia se desarrolló un sistema de carga académica, planeación de horarios y aulas al cual llamaron CRONOS (Agudelo Ramírez & Cortés Castro, 2013). El trabajo se motivó por la falta de homogeneización en los procesos y la reducción de tiempos de ejecución de estos, y fue desarrollado desde la Facultad de Ingeniería de la universidad. Los sistemas desarrollados son herramientas para apoyar las Instituciones de Educación Superior (IES) para aumentar el desempeño y la eficiencia de las funciones administrativas aplicando el enfoque de procesos (Silva et al., 2013). El aporte

principal es la creación de un sistema digital para la documentación de los procesos para la generación de evidencias, pero no se hace énfasis en la creación de la planeación de horarios.

Debido al desarrollo de la tecnología y, sobre todo, a los avances de los algoritmos de aprendizaje automático basados en datos, se han propuesto aplicaciones de estos algoritmos para resolver el problema de planeación de cursos. Particularmente, el uso de algoritmos de optimización metaheurísticos eficientes basados en técnicas de inteligencia artificial ha obtenido resultados relevantes (Otero, 2019). En este trabajo se implementó un algoritmo basado en grafos para el desarrollo de horarios en dos campus de la Universidad Autónoma de Querétaro. La ventaja del trabajo presentado se basa en la capacidad de planear horarios de varios programas educativos y de más de un campus universitario. Aunque se hace énfasis en que este trabajo se encuentra como prototipo que aún no se ha implementado, se encuentra disponible bajo solicitud previa de autorización de la institución.

La aplicación de algoritmos matemáticos para resolver el problema también ha tomado relevancia. Por ejemplo, se ha tratado de resolver el problema por medio de un *algoritmo de optimización entera* que logra cumplir con las restricciones y preferencias establecidas por los profesores (Urbán-Rivero et al., 2024). Este trabajo incluye indicadores para medir la proporción de horarios y cursos asignados a profesores. Se hace mención de que el algoritmo permite reducir el tiempo de planeación y minimizar errores humanos, aunque se reconoce que el algoritmo no permite cambios puntuales sin afectar toda la asignación. Y sobre todo

se hace énfasis en que la gestión de la demanda y las reglas laborales varían entre instituciones, lo que complica la generalización de soluciones.

En el mismo sentido, las herramientas de programación entera se han utilizado para tratar de resolver el mismo problema de planeación de horarios en universidades (Hernández et al., 2008; Sarmiento-Lepesqueur et al., 2012). En estos casos de estudio se lograron tener resultados acordes con las condiciones y restricciones particulares consideradas, pero es importante hacer énfasis en que el planteamiento del problema de manera correcta es un factor clave para poder obtener el resultado deseado o útil.

También se han analizado técnicas de optimización metaheurística para poder resolver el problema de planeación de cursos en planes de estudio universitarios, considerando el problema como un objetivo único/multiobjetivo (Kaur & Saini, 2021). Estas técnicas pueden adaptarse a diferentes escenarios de una manera rápida, lo cual permite comparar su desempeño ante cambios de restricciones u objetivos.

Mediante la revisión extensa de las metodologías utilizadas para resolver el problema, estas se pueden clasificar en seis categorías principales (Chen et al., 2021):

1. Técnicas basadas en investigación de operaciones (grafos coloreados, programación entera/lineal, programación entera/lineal mixta y programación lógica con restricciones).

2. Metaheurísticas basadas en soluciones únicas (búsqueda tabú, búsqueda de vecindad variable y recocido simulado).
3. Metaheurísticas basadas en poblaciones (algoritmos genéticos, optimización de colonias de hormigas y optimización de enjambres de partículas).
4. La cuarta, quinta y sexta categoría corresponden a enfoques hiper heurísticos, multicriterio/objetivo e híbridos.

De las categorías establecidas, la primera son algoritmos matemáticos que pueden tener una solución única y replicable. Pero las demás categorías se basan en algoritmos considerados dentro de la inteligencia artificial que tratan de encontrar una posible solución que cumple las restricciones sin tener la certeza de ser la mejor solución global.

En el ITESO también se han hecho esfuerzos por la sistematización de los procesos escolares y estos esfuerzos han sido reconocidos fuera de la universidad. Se desarrolló un proyecto de Optimización de la Operación Escolar llamado OptiES que se centra en la optimización de la oferta educativa, incluyendo la planeación de cursos, inscripciones, asignación de profesores y aulas, y que fue desarrollado por el ITESO (Amaya, 2012). En este documento se hace énfasis en el funcionamiento del Sistema de Planeación Escolar (SIPLE). Aunque se concluye que el uso de ese sistema tiene la ventaja de reducir el tiempo, aumenta la eficiencia de cada grupo y se mejora el seguimiento de las inscripciones por ser un sistema web; se reconoce que aún se tienen áreas de oportunidad en la generación de planificación más estable para profesores y alumnos. Este es el sistema que se usa actualmente en la planeación

escolar en el ITESO, pero la cantidad de cursos y la complejidad han crecido, de tal manera que la planeación requiere hacer nuevas optimizaciones que son las que motivan este trabajo.

Lo que llama la atención de los resultados obtenidos en la búsqueda realizada es que, en los trabajos académicos encontrados sobre las implementaciones en las universidades de América Latina, América del Norte y Europa, la solución ha sido implementar su propio software o algoritmo. Y algunos de los trabajos mencionan de forma explícita que la generalización de una solución para todas las universidades es compleja porque cada una de ellas tiene una lógica particular de funcionamiento y es necesario analizar cada caso a la vez. Esto nos lleva a pensar que es necesario diseñar una solución particular para el ITESO.

2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados

Este apartado contiene los conceptos relacionados con el problema y las posibles soluciones que se han propuesto.

2.2.1. Metodología BPM (“Business Process Management”)

“Business Process Management”, comúnmente conocido como BPM, puede ser definido como un conjunto de metodologías, técnicas y herramientas que ayudan a diseñar, controlar, automatizar, integrar y mejorar los procesos de una empresa mediante la alineación de procesos y recursos con la estrategia y los objetivos del negocio (Riaño, 2016).

BPM se compone de varias etapas esenciales: modelado, implementación, monitoreo y optimización. El modelado implica la representación gráfica de los procesos para entender mejor su funcionamiento. La implementación es la puesta en práctica de los procesos

diseñados, utilizando herramientas tecnológicas para automatizar tareas repetitivas. El monitoreo se refiere a la supervisión constante del rendimiento de los procesos, y la optimización consiste en ajustar y mejorar los procesos basándose en los datos obtenidos durante el monitoreo (Iritani et al., 2015).

La adopción de BPM ofrece numerosos beneficios a las organizaciones. Entre ellos se destacan la eficiencia, que se traduce en reducción de costos y tiempos; la calidad, que mejora los productos y servicios ofrecidos; y la agilidad, que permite una rápida respuesta a los cambios del entorno empresarial. Además, BPM aumenta la transparencia y el control sobre los procesos, facilitando la toma de decisiones informadas (Iritani et al., 2015).

BPM utiliza diversas herramientas y tecnologías para facilitar la gestión de procesos. Entre ellas se encuentran los sistemas de gestión de procesos empresariales (BPMS), que permiten automatizar y monitorear los procesos de manera eficiente. Estas herramientas proporcionan funcionalidades como el diseño de flujos de trabajo, la integración con otros sistemas empresariales y la generación de informes detallados sobre el rendimiento de los procesos (Iritani et al., 2015).

Aunque las ventajas de la metodología BPM se mencionan en varios trabajos, hay un consenso en que para implementar BPM de manera exitosa, es crucial contar con el apoyo de la alta dirección y una cultura organizacional orientada a la mejora continua. La capacitación de los empleados y la comunicación efectiva son fundamentales para asegurar que todos comprendan y adopten la metodología (que es la etapa en la que se presentan mayores desafíos). Además, es importante realizar una evaluación periódica de los procesos

y ajustar la estrategia de BPM según los resultados obtenidos, garantizando así una mejora constante y sostenible (Pizza, 2012).

2.2.2. Programación entera

La programación entera es una rama de la programación matemática que se enfoca en problemas de optimización donde las variables de decisión deben tomar valores enteros. Es especialmente útil en situaciones donde las soluciones fraccionarias no son prácticas o posibles, como en la asignación de recursos, planificación de producción, y problemas de logística.

En programación entera, se busca maximizar o minimizar una función objetivo sujeta a una serie de restricciones, donde las variables involucradas son enteras. Existen diferentes tipos de programación entera, incluyendo:

- Programación entera pura, donde todas las variables de decisión son enteras.
- Programación entera mixta considera algunas variables como enteras y otras pueden ser continuas.
- Programación binaria, donde las variables de decisión solo pueden tomar valores de 0 o 1.

Los algoritmos de programación se han utilizado en muy diversos contextos, obteniendo resultados satisfactorios en muchos de ellos (Colina, s. f.). En este trabajo se hace mayor énfasis en las aplicaciones relacionadas con problemas de transporte, problemas de planificación de producción, problemas de alimentación, asignación de horarios y asignación

de espacios. Esta variedad de aplicaciones muestra la relevancia que han tenido estos algoritmos de optimización para resolver problemas.

Los métodos para resolver problemas de programación entera incluyen técnicas como el método de ramificación y acotación (*branch and bound*) (Morrison et al., 2016), algoritmos de corte (*cutting planes*) (AcademiaLab, s. f.; Fügenschuh & Martin, 2005), y métodos heurísticos. Estos métodos ayudan a encontrar soluciones óptimas o cercanas a óptimas en problemas complejos donde la búsqueda exhaustiva sería impracticable.

El enfoque de Business Process Management (BPM) permite mapear y analizar el proceso actual de planeación de horarios, identificando actividades, responsables, reglas y restricciones que rigen la operación. Este mapeo proporciona una visión integral del flujo de trabajo y evidencia cuellos de botella, redundancias y puntos críticos que afectan la eficiencia. A partir de esta representación, la programación entera traduce dichas reglas en un modelo matemático mediante variables de decisión, restricciones y una función objetivo orientada a optimizar el uso de recursos y reducir conflictos. De esta manera, BPM asegura que el modelo refleje la realidad operativa, mientras que la programación entera ofrece soluciones óptimas que cumplen las condiciones establecidas y mejoran indicadores clave como tiempo de planeación, ocupación de aulas y carga docente.

2.3. Análisis de referencia

Basados en la revisión bibliográfica realizada, podemos darnos cuenta de que realmente el problema planteado en este trabajo no es un problema nuevo y se ha tratado de resolver con diferentes estrategias. Lo interesante es que, a pesar de ser un problema muy común, no se lograron obtener referencias de software comercial que se enfoquen en resolver el reto incluyendo la demanda estudiantil, sino que los mayores esfuerzos se han enfocado en resolver la situación particular de cada universidad, porque es necesario considerar las particularidades de cada caso, lo que hace casi imposible la generalización de una solución. Con esto podemos tener un indicio de que es necesario seguir la misma línea de acción: plantear el problema con las particularidades del ITESO y los detalles de cada programa de estudio. La ventaja es que se puede tener un modelo de optimización particular del ITESO que permita adaptar innovaciones de los nuevos planes de estudio.

Como el problema se centra en lograr una optimización que permita cumplir ciertos objetivos, el primer paso importante y crucial es plantear claramente el objetivo a alcanzar. Este objetivo no es un proceso trivial, ya que para poder plantear un objetivo real es necesario incluir los siguientes puntos:

1. ¿Qué necesitamos cumplir? Se debe definir el objetivo principal, es decir, necesitamos maximizar espacios, maximizar el número de alumnos atendidos, número de horas de clase por profesor, etc.

2. ¿Qué restricciones se deben considerar? Se deben identificar restricciones de aulas, alumnos, horarios, profesores y alguna otra restricción operativa que se tengan en común con todos los programas de estudio.
3. ¿Qué insumos de datos se tienen? Se debe considerar la fuente de datos disponible para obtener las restricciones y realizar actualizaciones de estas. Esto permitiría que cada semestre se realizaran ajustes al problema para resolverlo con las condiciones más actualizadas.

Entonces, en este punto se considera que es posible plantear el problema de planeación de la carrera de Ingeniería y Ciencia de Datos y aplicar un método de programación entera para resolverlo. El problema acotado a una sola carrera de ingeniería hace que se validen algunos escenarios acotados para su posterior generalización a toda la planeación del ITESO. La generalización de toda la universidad puede traer el problema de gran carga computacional, pero eso no se puede asegurar aún en este momento.

Sería deseable que la planeación se basara en cruces de conjuntos de datos históricos de inscripciones, demanda de alumnos de varios programas en asignaturas compartidas y disponibilidad de espacios. Aunque el departamento de servicios escolares considera estos datos, sería beneficioso que los coordinadores de programa tuvieran acceso previo a ellos para mejorar sus propuestas.

En el caso particular del ITESO, la planeación de horarios presenta una complejidad distintiva debido a la coexistencia de múltiples modalidades docentes, ventanas horarias irregulares, disponibilidad restringida de aulas especializadas y la necesidad de respetar

secuencias curriculares altamente estructuradas. Además, el tránsito estudiantil entre programas del mismo departamento introduce variabilidad en la demanda por asignaturas. Debido a que todas estas condiciones se expresan mediante variables discretas y restricciones estrictas, la programación entera constituye un enfoque metodológico adecuado y justificable, al permitir representar formalmente decisiones indivisibles y garantizar soluciones factibles bajo múltiples restricciones simultáneas.

Técnicas alternativas como heurísticas, algoritmos genéticos o programación lineal relajada implican compromisos entre precisión, reproducibilidad y validación institucional. Para fines de diagnóstico y estructuración del problema, la programación entera ofrece un marco transparente y verificable.

La planeación tradicional de horarios en contextos universitarios suele apoyarse en la experiencia acumulada de los actores responsables, el uso de reportes históricos y la resolución reactiva de conflictos conforme estos emergen. Si bien este enfoque permite flexibilidad y adaptación contextual, también introduce opacidad en los criterios de decisión, dependencia del conocimiento tácito y dificultades para evaluar la eficiencia del proceso. En contraste, la planeación basada en modelado formal propone explicitar dichas decisiones mediante variables, restricciones y funciones objetivo, permitiendo analizar de manera sistemática los compromisos entre alternativas, reproducir resultados y sentar las bases para evaluaciones comparables. El cambio de enfoque no busca sustituir el criterio humano, sino apoyarlo mediante una estructura analítica que reduzca la incertidumbre y haga trazables las decisiones de planeación.

3. Diagnóstico: Marco de referencia y metodología

En este apartado se profundizará en la metodología a seguir para resolver el problema planteado con anterioridad. Recordaremos que el problema completo de planeación de horarios no es simple y es la razón de acotarlo a un solo programa educativo de manera inicial. Con la misma lógica, se propone iniciar con una solución simple y que sea fácilmente implementable y replicable con algún software no especializado (es decir, se implementará desde cero para tener control de cada aspecto de la solución).

3.1. Definición de la metodología, selección de las herramientas requeridas y el cronograma del diagnóstico

Con base en la revisión bibliográfica, las técnicas o algoritmos de solución utilizados para tratar el problema se pueden resumir en la Tabla 1.

Categoría	Método
Técnicas basadas en investigación de operaciones	Grafos coloreados
	Programación lineal
	Programación entera
	Programación lineal entera mixta
Técnicas metaheurísticas de solución única	Búsqueda Tabú
	“Simulated Annealing”
	Búsqueda local iterativa

Técnicas metaheurísticas basadas en población	Algoritmos genéticos
	Optimización por colonia de hormigas
	Optimización por enjambre de partículas
	Cardumen de peces inteligente
	Apareamiento de abejas
	Búsqueda local basada en población
Híper heurísticos	Combinación de técnicas metaheurísticas.
Optimización multicriterio o multiobjetivo	“Simulated Annealing” multiobjetivo
Enfoque híbrido	Algoritmo de programación round robin
	Gran Diluvio (“Great Deluge”)
	Ascenso de colinas (“Hill Climbing”)

Tabla 1. Resumen de técnicas utilizadas para resolver el problema de planeación de horarios. Fuente: (Chen et al., 2021)

Las técnicas basadas en metaheurísticas suelen utilizarse en problemas muy complejos donde el modelado es complicado y, por ser técnicas de naturaleza de búsqueda exhaustiva, generalmente requieren gran cantidad de poder computacional. Lo cual es una restricción por limitaciones de hardware que se puedan tener en la universidad. Otro aspecto de estos algoritmos es que, por su naturaleza heurística, se tiende a obtener una solución diferente cada vez que se resuelve el problema, lo que podría no ser deseable para las primeras pruebas en el ITESO por la incertidumbre que podría generar.

Un problema de optimización de horarios escolares puede estructurarse y definirse de manera formal de la siguiente manera:

Índices y conjuntos

- $i \in I$: asignaturas
- $j \in J$: grupos posibles por asignatura
- $k \in K$: aulas disponibles
- $t \in T$: bloques horarios

Parámetros

- d_i : demanda estimada para la asignatura i
- cap_k : capacidad del aula k
- C_{ijt} : compatibilidad de asignatura – grupo – horario

Variables de decisión

- $x_{ijkt} \in \{0,1\}$: vale 1 si el grupo j de la asignatura i se asigna al aula k en el horario t

Función objetivo (a modo ilustrativo)

$$\min(\text{conflictos horarios} + \text{sobredamanda} + \text{uso ineficiente de aulas})$$

Restricciones (ejemplo posible para dejar explícito el tipo):

- Asignación única por grupo
- No traslape docente
- Respeto de secuencias curriculares
- Capacidad de aula
- No duplicidad de aulas en el mismo bloque horario

Se propone privilegiar la programación entera como enfoque candidato, por su reproducibilidad y alineación con restricciones institucionales, así como la completa adopción de la formulación formal del problema.

A modo de ilustración, se incluye una prueba de concepto en el Apéndice B para mostrar cómo podría formularse el problema; no constituye validación del modelo. La descripción del escenario de la prueba es la siguiente:

Una pequeña escuela necesita crear el horario para una única asignatura: Matemáticas. Hay dos grupos de estudiantes que necesitan tomar Matemáticas: Grupo A y Grupo B. La escuela tiene dos aulas disponibles: Aula 1 y Aula 2. Y hay dos franjas horarias disponibles para las clases de Matemáticas: Lunes 9:00 AM y Martes 10:00 AM.

El objetivo del problema es crear un horario que asigne cada grupo a un aula y una franja horaria para su clase de Matemáticas, cumpliendo con las siguientes restricciones:

- *Cada grupo debe tener exactamente una clase de Matemáticas.*
- *Cada aula solo puede ser utilizada por un grupo a la vez en una franja horaria determinada.*
- *Cada franja horaria solo puede tener una clase de Matemáticas por aula.*

Variables. *Para el planteamiento del problema se requieren definir variables de decisión, que para este caso simple se pueden definir como variables binarias $x_{gabt} \in \{0, 1\}$, donde g representa el grupo $\{A, B\}$, a representa el aula $\{1, 2\}$, b representa el día $\{\text{Lunes}, \text{Martes}\}$,*

t representa la hora {9:00 AM, 10:00 AM}. Las variables tendrán un valor entre el 0 o el 1 en función la situación de asignación que se cumpla, por ejemplo:

$x_{\{A,1,Lun,9\}} = 1$ si el Grupo A tiene clase en el Aula 1, el Lunes a las 9:00 AM, 0 en caso contrario.

$x_{\{B,2,Mar,10\}} = 1$ si el Grupo B tiene clase en el Aula 2, el Martes a las 10:00 AM, 0 en caso contrario.

Como se puede inferir, es necesario definir una variable por cada condición que se pueda tener el problema de optimización, lo cual puede hacer que la cantidad de variables aumente para muchos grupos, franjas horarias y planes de estudios.

Función objetivo. Como función objetivo del problema se puede maximizar una suma de las variables para indicar que queremos que se asignen las clases: Maximizar $Z = \sum_{g,a,b,t} x_{gabt}$.

Restricciones. En este caso, el planteamiento de las restricciones son el corazón del problema.

- Cada grupo debe tener exactamente una clase de Matemáticas. Para el Grupo A, la suma de todas las asignaciones posibles para el Grupo A debe ser igual a 1 (es decir, una sola clase), $\sum_{a \in \{1,2\}} \sum_{b \in \{Lun,Mar\}} \sum_{t \in \{9,10\}} x_{A,a,b,t} = 1$. Para el Grupo B, $\sum_{a \in \{1,2\}} \sum_{b \in \{Lun,Mar\}} \sum_{t \in \{9,10\}} x_{B,a,b,t} = 1$.
- Cada aula solo puede ser utilizada por un grupo a la vez en una franja horaria determinada. Esto significa que para cada combinación única de aula, día y hora,

no puede haber más de un grupo asignado. Para Aula 1, Lunes, 9:00 AM, $x_{A,1,Lun,9} +$

$x_{B,1,Lun,9} \leq 1$. Para Aula 2, Martes, 10:00 AM, $x_{A,2,Mar,9} + x_{B,2,mar,9} \leq 1$.

Una vez planteadas las variables, la función objetivo y las restricciones, la tarea siguiente es implementarlo en un lenguaje de programación para poder encontrar la solución.

Como prueba de concepto, se puede analizar de forma simplificada el caso real del programa de estudios Ingeniería y Ciencia de Datos, donde se requiere adecuar tanto las variables a usar como la función objetivo y las respectivas restricciones.

El escenario ahora cuenta con 45 asignaturas y 19 franjas horarias, donde se requiere que se haga la planeación evitando cruces de asignaturas y que no falte ninguna asignatura por agendar. Cada asignatura se identifica por su clave única de asignatura del ITESO, por ejemplo, la asignatura “CIENCIA DE DATOS E INGENIERA” tiene la clave “ITE4218”, o la clase “ALGORITMOS Y PROGRAMACIÓN” tiene la clave “ITE2232”.

Las 19 franjas horarias están nombradas por medio de una letra del alfabeto, de tal manera que la franja horaria “A” tiene el horario “Lunes-Jueves de 7:00-9:00 hrs”, y el “B” tiene el horario “Martes y Viernes de 7:00-9:00 hrs”, así sucesivamente hasta la franja horaria “S”. Estas franjas horarias son establecidas por el ITESO y todas las carreras de la universidad se guían por este estándar, por lo que por lo pronto se usarán para cumplir con las mismas condiciones actuales del problema.

En el Apéndice B se muestra un ejemplo ilustrativo de cómo podría representarse una planeación resultante. Dicha demostración no debe interpretarse como validación del modelo, sino como insumo para delimitar variables y restricciones. Ejemplo:

Semestre	Clave	Horario
1	ITE4218	O
1	ITE2232	S
1	ITE1895	K
1	ITE001	D
1	ITE3922	Q
1	ITE0021	M
1	ITE3886	R
2	ITE3659	P
2	ITE3655	C
2	ITE1896	E
2	ITE1893	A
2	ITE0028	L
2	ITE3904	N
3	ITE3658	S
3	ITE3645	B
3	ITE3128	M
3	ITE3968	R
3	ITE0235	K
3	ITE0002	O
4	ITE3657	Q
4	ITE3892	E
4	ITE3653	C
4	ITE3650	N
4	ITE0375	D
4	ITE0003	L
5	ITE3661	P
5	ITE3074	K
5	ITE3891	A
5	ITE3649	M
5	ITE3648	R
5	ITE0004	O
6	ITE3660	E
6	ITE3643	S
6	ITE3651	D
6	ITE4217	B
6	ITE3652	Q
7	ITE3656	P
7	ITE3178	N
7	ITE3654	C
7	ITE3895	M
8	ITE3647	K
8	ITE3644	R

8	ITE3135	B
9	ITE4139	M
9	ITE2154	D

Tabla 2. Resultado de la planeación de horarios inicial como prueba de concepto.

Hay que aclarar que aún no se considera que el problema se resolvió, ya que aún no se incluye la información o restricción de la demanda de los estudiantes y también las restricciones necesarias para organizar las asignaturas por semestres. Detalles de esta implementación de la prueba piloto se pueden ver en el Apéndice B. Implementación de la prueba de concepto.

Nota: La prueba de concepto es exclusivamente ilustrativa del enfoque; no constituye implementación ni validación del modelo.

También, basados en las metodologías observadas en la revisión bibliográfica, se logró identificar las fases de análisis que se llevarán a cabo en este trabajo. Se debe modelar el problema en función de definir un objetivo u objetivos medibles y restricciones que se deben cumplir. Por lo que para este trabajo se abordará el problema en cuatro fases principales.

1. Exploración de datos. Se identifican los orígenes de datos, formatos de estos y variables/características involucradas en el fenómeno.
2. Modelado del problema. Basado en las variables disponibles, se diseña el modelo matemático que describe el comportamiento del fenómeno y sus restricciones (este proceso es el planteamiento del problema como un problema de optimización). El diseño contempla la decisión del algoritmo que se usará para resolverlo.

3. Implementación del algoritmo de solución. Se implementa el algoritmo para la solución del problema de optimización. Se propone usar software de acceso libre para que pueda ser fácilmente replicable por otros actores.
4. Validación de resultados. Se diseñan diferentes escenarios para ser resueltos por el algoritmo, para así evaluar el desempeño y los resultados obtenidos.

Las primeras dos fases son las cruciales para poder obtener resultados viables, ya que se deben identificar y estudiar las particularidades del fenómeno para incluirlas en el modelo. Para apoyar estas dos primeras fases, se contempla el apoyo del Departamento de Servicios Escolares por medio de reuniones con los encargados de llevar a cabo la planeación.

El alcance de este trabajo se centrará en las dos primeras fases, las cuales son: la exploración de los datos y el modelado del problema.

3.2. Metas de información

Este trabajo formula la estructura del problema de planeación de horarios adaptado al ITESO como problema matemático de optimización, delimitando supuestos y restricciones.

Se definirán una o dos funciones objetivo y las restricciones mínimas para lograr una primera formulación coherente del problema¹.

¹ Se entiende una planeación coherente como una planeación que cumpla con los requisitos mínimos para ser implementada, es decir, lograr una planeación sin cruces de asignaturas y horarios.

Una vez formulado el problema, se espera lograr la identificación de las variables mínimas necesarias para obtener una respuesta al problema. Además, se validará la disponibilidad de las variables haciendo un contraste con las variables disponibles en los sistemas SIA y ADG, que son las principales fuentes de datos de cualquier coordinador de programa educativo en el ITESO.

Es importante señalar que, las metas se limitan a la formulación conceptual y matemática del problema de planeación de horarios, así como a la identificación de las variables, supuestos y restricciones institucionales relevantes. La validación empírica del modelo, la comparación sistemática con la planeación real vigente y la implementación operativa del algoritmo quedan explícitamente fuera del alcance de esta etapa del proyecto, y se conciben como fases posteriores dentro de un proceso de mejora continua.

3.3. Propuesta de métricas

Basada en la naturaleza del problema a resolver y en los trabajos revisados, se propone la utilización de las siguientes métricas de evaluación.

- **Complejidad del problema.** La cantidad de parámetros a determinar al momento de realizar una planeación escolar nos da la idea de la escalabilidad del algoritmo para más de un programa educativo. Esta métrica está pensada para la evaluación del método de resolución del problema.
- **Tiempo de ejecución.** El tiempo de cómputo que tarda el algoritmo utilizado en realizar una propuesta de planeación.

- **Dispersión de horarios.** La medición de la dispersión de los horarios (distancia entre horarios de asignaturas del mismo semestre) o cantidad de huecos en los horarios puede ser una métrica que ayudaría a evaluar la eficiencia en los horarios. Es decir, es deseable tener horarios contiguos o sin tantos huecos para evitar que los estudiantes tengan tiempos muertos. Debido a que esta métrica tiene el objetivo de medir una característica de la planeación de horarios, puede ser usada para evaluar cualquier planeación realizada con el método propuesto o por un coordinador de programa educativo.
- **Violación de restricciones.** Se puede obtener un resultado para el problema, pero no siempre se puede lograr que todas las restricciones se cumplan. El número de restricciones que no se cumplen al momento de lograr una planeación de horarios da una idea de lo realizable del resultado. Debido a que esta métrica tiene el objetivo de medir una característica de la planeación de horarios, puede ser usada para evaluar cualquier planeación realizada con el método propuesto o por un coordinador de programa educativo.

3.4. Descripción del análisis: correlación e interpretación de la información

La formulación del problema de optimización y la implementación del método de resolución de este son el desafío mayor para la propuesta, ya que son la base medular del trabajo.

Con fines ilustrativos, la prueba de concepto del Apéndice B muestra cómo podría comportarse una formulación inicial. En el presente diagnóstico no se emiten resultados de

desempeño del algoritmo; cualquier evaluación quedaría condicionada a etapas posteriores de implementación.

3.5. Definición de los factores prioritarios a corregir en la problemática

Considerando la forma actual en la que se resuelve el problema de planeación de horarios de un programa educativo, con la implementación de esta propuesta se pretende tener un impacto positivo en los siguientes factores:

- Reducción del tiempo que toma la realización de una planeación de horarios de un programa educativo en el ITESO como factor prioritario.
- Incluir en la planeación la demanda de estudiantes según su avance en el plan de estudios.
- Apoyar en la generación casi automática de una planeación viable para el semestre para ser revisada por el coordinador de programa para su aprobación.

En este sentido, el diagnóstico desarrollado y la prueba de concepto incluida cumplen un propósito estrictamente ilustrativo y exploratorio. Su función es mostrar la viabilidad de estructurar el problema de planeación de horarios mediante un modelo formal de optimización, así como evidenciar el tipo de variables y restricciones involucradas. En ningún caso los resultados presentados deben interpretarse como una validación empírica del modelo ni como una comparación directa con la planeación real actualmente utilizada por el ITESO. Dicha validación requeriría escenarios controlados, métricas comparables y ciclos completos de implementación, los cuales se consideran fuera del alcance del presente trabajo.

4. Propuesta de implementación de la metodología

4.1. Justificación de la implementación propuesta

Este capítulo plantea una ruta sugerida de implementación posterior al diagnóstico. Se ha identificado la necesidad de una solución sistemática y automatizada que permita optimizar la oferta de asignaturas y mejorar el tránsito académico de los estudiantes.

La selección de la programación entera como metodología principal responde a la naturaleza discreta del problema, donde las variables de decisión (asignación de grupos, horarios, espacios y demanda de estudiantes) requieren valores enteros y replicables. Esta técnica ha demostrado eficacia en contextos similares, permitiendo incorporar restricciones operativas y académicas específicas de la institución (Colina, s. f.).

La propuesta se fundamenta en la revisión de experiencias previas en otras universidades y en la pertinencia de diseñar una solución particular para el ITESO, considerando sus procesos, estructura organizacional y fuentes de datos institucionales. La implementación de un algoritmo de optimización basado en programación entera permitirá reducir la carga operativa del coordinador del programa, facilitar la toma de decisiones y sentar las bases para una futura escalabilidad a nivel institucional.

4.1.1. Consideraciones costo/beneficio de la implementación

La implementación de la metodología propuesta implica la evaluación de recursos humanos, tecnológicos y temporales necesarios para lograrlo. El desarrollo del algoritmo requiere la colaboración de personal especializado en matemáticas aplicadas y programación, así como

el acceso a datos históricos de los sistemas SIA y ADG. Estas condiciones se cumplen debido a que esta propuesta surge desde el departamento de matemáticas y física de la institución; además, como parte del equipo principal se encuentra el actual coordinador de programa educativo, que cuenta con el acceso a los sistemas mencionados.

El principal costo asociado a la propuesta sería el tiempo requerido para el diseño, el desarrollo y la implementación.

Entre los beneficios potenciales destacarían la reducción del tiempo invertido en la planeación de horarios, la optimización del uso de aulas y profesores y la mejora en la experiencia académica de los estudiantes.

4.2. Etapas del proceso de la propuesta de implementación

Basados en el análisis hecho hasta este punto y considerando la metodología seleccionada, la implementación de la propuesta se estructura en las siguientes etapas:

- Preparación y limpieza de datos históricos: Recolección, depuración y organización de los datos provenientes de SIA y ADG, asegurando su calidad y pertinencia para el modelado.
- Modelado matemático del problema: Definición de las variables de decisión, restricciones y funciones objetivo, adaptadas a las condiciones específicas del programa de Ingeniería y Ciencia de Datos.

- Desarrollo e implementación del algoritmo: Implementar el modelo de optimización utilizando herramientas de software libre, con énfasis en la replicabilidad y adaptabilidad.
- Pruebas piloto: Ejecución de escenarios de prueba en la carrera de Ingeniería y Ciencia de Datos, evaluación de resultados y ajuste del modelo según los indicadores definidos.
- Validación y ajuste: Contraste de los resultados obtenidos con la planeación tradicional, identificación de áreas de mejora y ajuste de parámetros.
- Documentación y capacitación: Elaboración de manuales de usuario y capacitación dirigida a coordinadores y personal involucrado en la planeación.
- Propuesta de escalabilidad: Análisis de la factibilidad de extender la metodología a otros programas educativos del departamento, considerando las particularidades de cada programa educativo adicional.

4.2.1. Cronograma de la implementación

De adoptarse la ruta sugerida, podría proyectarse un horizonte de un año para su implementación, sujeto a factores externos.

Etapa del proceso	Año 1		
	Primavera	Verano	Otoño
Preparación y limpieza de datos			
Modelado matemático del problema			
Desarrollo del algoritmo			
Pruebas piloto			
Validación y ajuste			
Documentación y capacitación			
Propuesta de escalabilidad			

Tabla 3. Cronograma de la implementación de la propuesta. Fuente: Elaboración propia

Nota: El cronograma es flexible y puede ajustarse según la disponibilidad de recursos y el avance de cada etapa.

4.2.2. Imprevistos

Durante la implementación pueden surgir imprevistos que afecten el desarrollo del proyecto, dentro de los cuales se visualizan los siguientes:

1. Cambio en los integrantes del equipo de desarrollo.
2. Dificultades en el acceso a datos institucionales.
3. Cambios en la matrícula estudiantil.
4. Limitaciones técnicas de hardware.
5. Resistencia al cambio por parte de los coordinadores.

Para mitigar estos riesgos, se propone establecer comunicación activa con las áreas involucradas (atendiendo a los tres primeros imprevistos), realizar validaciones incrementales (atendiendo al cuarto imprevisto) y mantener una actitud abierta ante la necesidad de ajustes en el modelo y el cronograma (atendiendo al quinto imprevisto identificado).

4.3. Impacto de la estrategia en la organización

De implementarse, se anticipan impactos positivos en la organización, tales como mejora en la eficiencia y la transparencia de la planeación escolar, reducción de errores y conflictos en la asignación de horarios y fortalecimiento de la toma de decisiones basada en datos.

La estrategia responde de manera rigurosa y verificable a la problemática identificada, contribuyendo al desarrollo institucional y sentando las bases para la innovación en la gestión educativa del ITESO.

5. Conclusiones

El principal aporte del presente trabajo profesionalizante consiste en la formalización matemática del problema institucional de planeación de horarios en el ITESO, así como en el diseño conceptual de un modelo de optimización basado en programación entera que traduce reglas operativas, restricciones académicas y supuestos institucionales en una

estructura analítica coherente. Más que ofrecer una solución implementada, el trabajo establece un marco formal que permite comprender, analizar y eventualmente mejorar un proceso que actualmente se resuelve de manera predominantemente empírica.

Durante la investigación se observó que, a pesar de contar con reportes proporcionados por la oficina de servicios escolares, la planeación actual aún cuenta con elementos principalmente manuales y reactivos, donde no se potencializa aún el uso de datos históricos. Los riesgos identificados se centran en el posible conflicto/cruce entre asignaturas, uso poco eficiente de aulas y franjas horarias, lo que podría afectar el tránsito académico del estudiante.

La fundamentación conceptual y metodológica, sustentada en la revisión de literatura y experiencias previas en otras instituciones, permitió diseñar una propuesta para las necesidades y particularidades del ITESO. Esta propuesta tiene como objetivo optimizar la forma en que se hace la planeación, incluyendo datos históricos de un programa educativo para obtener una planeación *ajustada* al avance actual de los estudiantes.

Se espera que la aplicación de la estrategia propuesta mejore la eficiencia operativa del coordinador de programa, así como la optimización de recursos institucionales y el tránsito académico de los estudiantes.

La estrategia metodológica propuesta se corresponde con las etapas de desarrollo institucional del ITESO, al promover la innovación en la gestión educativa y pretende sentar las bases para una futura escalabilidad a nivel departamental e institucional. Desde esta perspectiva, la implementación computacional del modelo, su validación empírica y su comparación sistemática con la planeación real se conciben como fases posteriores dentro de

un ciclo de mejora continua. El diagnóstico y el modelado desarrollados en este trabajo constituyen una base necesaria para dichas etapas futuras, al reducir la ambigüedad del problema y hacer explícitas las decisiones que hoy se toman de manera implícita.

5.1. Reflexiones personales

Durante el proceso de análisis y diagnóstico se identificaron diversas limitantes que condicionan el alcance y la profundidad de los resultados obtenidos. Entre ellas destacan la disponibilidad y calidad de los datos institucionales, las restricciones técnicas de hardware y la resistencia al cambio por parte de algunos actores involucrados en la planeación escolar.

Asimismo, la acotación del proyecto a un solo programa educativo permitirá controlar la complejidad del problema, pero limitará la generalización inmediata de la solución propuesta. Se reconoció que la integración de la demanda compartida entre programas y la consideración de restricciones adicionales (como la demanda de estudiantes) son aspectos que por lo general no se incluyen en problemáticas similares.

La experiencia adquirida en el desarrollo del proyecto resalta la importancia de la colaboración interdisciplinaria y la comunicación entre las áreas involucradas, así como la necesidad de mantener una actitud abierta ante la incorporación de nuevas tecnologías y metodologías en la gestión educativa.

La realización de la investigación sobre el tema validó el hecho de que es posible realizar el diseño de una solución personalizada, pero cambió la visión inicial de ser una solución

completamente inédita al encontrar que es un problema común y más estudiado de lo esperado. A pesar de esto, no hay soluciones generales por la complejidad de generalizar una solución única que se adapte a las particularidades de cada programa educativo o institución.

5.2. Relevancia y trascendencia disciplinaria del proyecto profesionalizante

El trabajo realizado se inserta en los debates actuales sobre la gestión educativa y la optimización de procesos académicos en instituciones de educación superior. La aplicación de técnicas de programación entera y la fundamentación en metodologías como BPM (Business Process Management) contribuyen al diálogo con líneas de análisis y tradiciones de pensamiento orientadas a la mejora continua y la eficiencia operativa.

La revisión de experiencias previas y el análisis de herramientas comerciales y académicas mostraron la necesidad de soluciones adaptadas a las particularidades de cada institución, lo que justifica la pertinencia de diseñar un modelo específico para el ITESO. El proyecto aporta una perspectiva innovadora al considerar la trayectoria académica de los estudiantes como variable central en la planeación de horarios y propone métricas de evaluación que pueden ser replicadas y adaptadas en otros contextos educativos.

6. Apéndice A. Diccionario de datos.

Variable	Tipo	Descripción
Expediente	Fecha	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Alumno(a)	Texto	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Género	Texto	Género del alumno
Fecha de nacimiento	Fecha	Fecha de nacimiento del alumno
Código del plan	Texto	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Plan de estudios	Texto	Nombre del plan de estudios
Estatus alumno	Texto	Estatus académico del alumno en el plan
Fecha estatus alumno-plan	Fecha	Estatus académico del alumno en el plan
Nivel académico	Texto	Nivel académico (Licenciatura, etc.)
Programa educativo	Texto	Programa educativo (carrera)
Código departamento	Texto	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Revalidante	Booleano	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Reprobadas del periodo anterior	Fecha	Conteo/estatus de asignaturas reprobadas o inscritas
Bajas académicas	Fecha	Bajas académicas del alumno
Créditos cursados en intercambio	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Titulado	Booleano	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Ciclos cursados	Fecha	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Porcentaje de avance	Fecha	Avance porcentual del plan
Pronóstico de egreso	Fecha	Pronóstico de egreso del alumno
Promedio general	Fecha	Promedio académico del alumno
Promedio del periodo anterior	Fecha	Promedio académico del alumno
Asignaturas reprobadas	Fecha	Conteo/estatus de asignaturas reprobadas o inscritas
Reprobadas acumulables	Fecha	Conteo/estatus de asignaturas reprobadas o inscritas
Créditos en exceso en SC	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos requeridos	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos aprobados	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos inscritos	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos reprobados	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos por baja académica	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos por renuncia	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)

Créditos en intercambio sin calificar	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos aprobados (regular)	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos aprobados (complementaria)	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos aprobados (proyecto)	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos inscritos (regular)	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos inscritos (complementarios)	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Créditos inscritos (proyecto)	Fecha	Métrica de créditos (aprobados, inscritos, reprobados, etc.)
Seguro de vida	Texto	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Periodo de ingreso al plan	Texto	Periodo escolar relacionado (primer/último, etc.)
Primer periodo en el Programa Educativo	Texto	Programa educativo (carrera)
Primer periodo escolar en el plan	Texto	Periodo escolar relacionado (primer/último, etc.)
Primer periodo escolar en ITESO	Texto	Periodo escolar relacionado (primer/último, etc.)
Último periodo escolar en el plan	Texto	Periodo escolar relacionado (primer/último, etc.)
Último periodo escolar en ITESO	Texto	Periodo escolar relacionado (primer/último, etc.)
Tutor asegurado	Texto	Información del tutor asignado
Actualización del tutor	Fecha	Información del tutor asignado
Parentesco	Texto	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Tutor: fecha nacimiento	Fecha	Información del tutor asignado
Última asignatura PCI aprobada	Texto	Campos de certificación de idioma (PCI/COE/inglés)
Última asignatura PCI inscrita	Texto	Campos de certificación de idioma (PCI/COE/inglés)
Último periodo escolar PCI aprobado	Texto	Periodo escolar relacionado (primer/último, etc.)
Último periodo escolar PCI inscrito	Texto	Periodo escolar relacionado (primer/último, etc.)
Regla PCI	Texto	Campos de certificación de idioma (PCI/COE/inglés)
Nivel COE	Texto	Campos de certificación de idioma (PCI/COE/inglés)
Último periodo de intercambio	Texto	Información de intercambio académico

Número de cambios de plan	Fecha	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Códigos de plan con cambio	Texto	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
Asignaturas inscritas periodo ordinario	Fecha	Conteo/estatus de asignaturas reprobadas o inscritas
Correo ITESO	Texto	Descripción no especificada (revisar contexto institucional)
RIEL 8.1.1.	Booleano	Indicador RIEL
PAP - Asignaturas requeridas	Fecha	Conteo/estatus de asignaturas reprobadas o inscritas
PAP - Asignaturas aprobadas	Fecha	Conteo/estatus de asignaturas reprobadas o inscritas
Estatus intercambio en curso	Texto	Información de intercambio académico
Estatus intercambio por cursar	Texto	Información de intercambio académico

Tabla 4. Diccionario de datos del reporte Acompañamiento Escolar.

Variable	Tipo	Descripción
Expediente	Numérico	Identificador numérico del alumno (expediente).
Alumno	Texto	Nombre completo del alumno asociado a la baja.
Grupo	Texto	Clave del grupo/sección en el que estaba inscrito.
Asignatura	Texto	Nombre de la asignatura dada de baja.
Código plan	Texto	Código del plan de estudios (p. ej., LICD2020).
Plan de estudios	Texto	Nombre del plan/carrera correspondiente.
Motivo	Texto	Categoría del motivo de la baja (exceso de faltas, otra causa, etc.).
Comentarios	Texto	Campo de texto libre con la justificación detallada.
Profesor(es)	Texto	Docente(s) que impartían la asignatura.
Periodo escolar	Texto	Periodo académico en el que se registró la baja.

Tabla 5. Diccionario de datos del reporte Bajas Académicas.

Variable	Tipo	Descripción
Expediente	Numérico	Identificador único del alumno.
Código plan	Texto	Código del plan de estudios.
Plan de estudios	Texto	Nombre del plan de estudios.
Programa educativo	Texto	Programa educativo (carrera).
Estatus alumno-plan	Texto	Estatus del alumno en el plan (Activo, Baja, Egresado, etc.).
Nombre del alumno	Texto	Nombre completo del alumno.

Código asignatura	Texto	Código interno de la asignatura.
Asignatura	Texto	Nombre de la asignatura cursada.
Calificación	Numérico	Calificación obtenida en la asignatura.
Periodo escolar	Texto	Periodo académico en que se cursó la asignatura.
Tipo de evaluación	Texto	Tipo de evaluación (Ordinario, Equivalencia, Intercambio, etc.).
Créditos	Numérico	Número de créditos asignados a la asignatura.
Ciclo sugerido	Numérico	Ciclo sugerido para cursar la asignatura.
Código departamento	Texto	Código del departamento académico.
Grupo	Texto	Clave del grupo en el que se cursó la asignatura.
Sub-área	Texto	Sub-área curricular a la que pertenece la asignatura.
Área	Texto	Área curricular (SC, CU, SP, etc.).
Ciclos cursados	Numérico	Número de ciclos cursados por el alumno.
Otros planes con inscripción	Texto	Indica si el alumno tiene inscripción en otros planes.

Tabla 6. Diccionario de datos del reporte Seguimiento de alumnos.

7. Apéndice B. Implementación de la prueba de concepto.

```
% Por el momento se centraran los ejemplos en el caso particular de las
% clases que corresponden a la carrera de Ingenieria y Ciencia de Datos

%% Limpieza del entorno de programacion
clear;
close all;
clc;

%% Creacion de variables
load CDINAsignaturas.mat;

% Eliminar las asignaturas complementarias porque no se pueden planear
CDINAsignaturas = CDINAsignaturas(~strcmp(CDINAsignaturas.Clave, ''), :);

% Tabla de franjas horarias
Plantilla = table((1:19)', {'A'; 'B'; 'C'; 'D'; 'E'; 'F'; 'G'; 'H'; 'I'; 'J'; ...
    'K'; 'L'; 'M'; 'N'; 'O'; 'P'; 'Q'; 'R'; 'S'}, 'VariableNames', {'Num', 'plantilla'});

%% Considerando la restricción de la ruta sugerida
% Es posible solo generar las variables con la preasignación de los
% semestres, es decir, semestre sugerido
asignaturasTabla = CDINAsignaturas(:, {'Semestre', 'Clave'});
plantillasUnicas =
table(cell2mat(Plantilla.plantilla), 'VariableNames', {'Plantilla'});

% 1. Obtener el numero de filas de cada tabla.
numRowsA = height(asignaturasTabla);
numRowsB = height(plantillasUnicas);

% 2. Repita las filas de la primera tabla.
% Cada fila de 'asignaturasTabla' debe repetirse 'numRowsB' veces.
replicatedA = repelem(asignaturasTabla, numRowsB, 1);

% 3. Replicar filas de la segunda tabla.
% Toda la tabla 'plantillasUnicas' debe repetirse 'numRowsA' veces.
replicatedB = repmat(plantillasUnicas, numRowsA, 1);

% 4. Concatenar horizontalmente las tablas replicadas para formar la tabla
final.
validCombinations = [replicatedA, replicatedB];
```

```
% Creacion de matrices de restriccion
% Considerando las variables de decisión como x_{s,c,p} referente a
% semestre, clave y plantilla respectivamente, las restricciones de evitar
% cruces de plantilla son:
% \sum_{c} x_{1,c,A}=1
% \sum_{c} x_{1,c,B}=1
% \sum_{c} x_{1,c,C}=1
% ...
%

% Matriz de restricciones
uniSemestre = unique(validCombinations.Semestre);
numSemestre = length(uniSemestre);
uniPlantilla = unique(validCombinations.Plantilla);
numPlantilla = length(uniPlantilla);
uniClave = unique(validCombinations.Clave);
numClave = length(uniClave);

% RESTRICCION: ASIGNATURAS DEL MISMO SEMESTRE NO PUEDEN TENER EL MISMO
% HORARIO

A_res = zeros(numSemestre*numPlantilla,height(validCombinations)); % Inicializar
la matriz de restricciones con 0
% Iteracion de cada semestre y cada plantilla
for k = 1:numSemestre
    for l = 1:numPlantilla
        indx = (validCombinations.Semestre == uniSemestre(k)) &
(validCombinations.Plantilla == uniPlantilla(l));
        A_res(numPlantilla*(k-1)+l,indx)=1;
    end
end

% RESTRICCION: ASIGNATURAS DE SEMESTRES CONTIGUOS NO PUEDEN TENER EL MISMO
% HORARIO
A_tmp = zeros((numSemestre-1)*numPlantilla,height(validCombinations)); %
Inicializar la matriz de restricciones con 0
% Iteracion de cada semestre y cada plantilla
for k = 1:(numSemestre-1)
    for l = 1:numPlantilla
        indx = (validCombinations.Semestre == uniSemestre(k)) &
(validCombinations.Plantilla == uniPlantilla(l));
        A_tmp(numPlantilla*(k-1)+l,indx)=1;
        indx = (validCombinations.Semestre == uniSemestre(k+1)) &
(validCombinations.Plantilla == uniPlantilla(l));
        A_tmp(numPlantilla*(k-1)+l,indx)=1;
    end
end
A_res = [A_res;A_tmp];
```

```
b_res = ones(height(A_res),1);

% RESTRICCION: CADA ASIGNATURA DEBE DE APARECE SOLO UNA VEZ

A_eq = zeros(numClave,height(validCombinations));
for k=1:numClave
    indx = validCombinations.Clave == uniClave(k);
    A_eq(k,indx)=1;
end
b_eq = ones(height(A_eq),1);

% CREACION DEL VECTOR DE LA FUNCION DE COSTO
% 1. Definir una estructura de costos (penalizaciones) para cada plantilla.
% Esto depende de tu logica de contiguidad. Asumimos 19 plantillas.
% Si las plantillas son A, B, C, etc., que representan franjas contiguas,
% podemos penalizar más las que están en el medio.
% Puedes ajusta estos valores según tu necesidad.
plantillaScores = zeros(length(uniPlantilla), 1);
% Penalización por huecos. Por ejemplo, si la plantilla 10 es una hora "central"
% que podría generar huecos, le damos una penalización alta.
plantillaScores([18,19]) = -1;
% Recompensa por usar franjas horarias iniciales o finales (para compactar el
horario)
plantillaScores(1:5) = -1;
plantillaScores(11:17) = -1;

% 2. Mapear las plantillas en validCombinations a sus costos.
% Primero, mapea las plantillas de la tabla a sus índices en uniPlantilla.
[~, plantillaIndices] = ismember(validCombinations.Plantilla, uniPlantilla);

% 3. Construir el vector de costos 'f'
% Cada elemento de f es el costo de la variable correspondiente.
f = plantillaScores(plantillaIndices);

%% Resolver el problema de optimizacion
[x1,fval1,exitflag1,output1]=intlinprog(f, 855, A_res,
b_res,A_eq,b_eq,zeros(size(A_res,2),1),ones(size(A_res,2),1));

%% Ver la solucion encontrada
indx = x1>0;
planeacion = validCombinations(indx,:);
```

Bibliografía

- AcademiaLab. (s. f.). *Método del plano de corte*. Recuperado 21 de abril de 2025, de
<https://academia-lab.com/enciclopedia/metodo-del-plano-de-corte/>
- Agudelo Ramírez, D. M., & Cortés Castro, J. C. (2013). *CRONOS: Sistema de carga académica y planeación de horarios para la Universidad de Manizales*.
<https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/395>
- Amaya, J. G. (2012). *OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN ESCOLAR PLANEACIÓN DE CURSOS E INSCRIPCIONES*.
- Chen, M. C., Sze, S. N., Goh, S. L., Sabar, N. R., & Kendall, G. (2021). A Survey of University Course Timetabling Problem: Perspectives, Trends and Opportunities. *IEEE Access*, 9, 106515-106529. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100613>
- Colina, Y. B. (s. f.). *Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta*.
<https://www.redalyc.org/pdf/2150/215024822007.pdf>
- CRUCE, R. D. (2023, agosto 14). *Oferta CUI para estudiantes*. CRUCE.
<https://cruce.iteso.mx/oferta-cui-para-estudiantes/>
- devteam, educ.ar. (2021, junio 4). *El seguimiento a estudiantes: Estrategias y herramientas para navegar escenarios combinados*. educ.ar portal.
<https://www.educ.ar/recursos/157230/el-seguimiento-a-estudiantes-estrategias-y-herramientas-para>

EduRank. (2025, marzo 2). *100+ Best Universities in Mexico [2025 Rankings]*. EduRank.Org

- Discover University Rankings by Location. <https://edurank.org/geo/mx/>

Employee Scheduling Software. (s. f.). Shiftboard. Recuperado 19 de noviembre de 2025, de <https://www.shiftboard.com/>

Fügenschuh, A., & Martin, A. (2005). Computational Integer Programming and Cutting Planes. En K. Aardal, G. L. Nemhauser, & R. Weismantel (Eds.), *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. 12, pp. 69-121). Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(05\)12002-7](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(05)12002-7)

GHC App | Peñalara GHC. (s. f.). Recuperado 11 de septiembre de 2025, de https://www.penalara.com/en/ghcwebapp?gad_source=1&gad_campaignid=13740360715&gclid=Cj0KCQjw5onGBhDeARIsAFK6QJbVRXd4zRi43zY_Cw3uz5Qfb8zzz1CEO6jVR9PyjfofKUpoW0y_I0kaArtgEALw_wcB

Hernández, R., Miranda, J., & Rey, P. A. (2008). Programación de Horarios de Clases y Asignación de Salas para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Diego Portales Mediante un Enfoque de Programación Entera. *Revista Ingeniería de Sistemas*, 22.
https://www.dii.uchile.cl/~ris/RISXXII/horariosUDP_RISVersion%20FINAL.pdf

Iritani, D. R., Morioka, S. N., Carvalho, M. M. de, & Ometto, A. R. (2015). Análise sobre os conceitos e práticas de Gestão por Processos: Revisão sistemática e bibliometria. *Gestão & Produção*, 22, 164-180. <https://doi.org/10.1590/0104-530X814-13>

ITESO. (s. f.-a). *Historia*. Recuperado 5 de marzo de 2025, de <http://www.iteso.mx/>

ITESO. (s. f.-b). *ITESO - El ITESO se mantiene como la universidad privada más sustentable de México*. Recuperado 12 de marzo de 2025, de <http://www.iteso.mx/>

ITESO. (s. f.-c). *ITESO - Rankings*. Recuperado 12 de marzo de 2025, de <http://www.iteso.mx/>

ITESO. (s. f.-d). *ORGANIGRAMA Y DIRECTORIO*. Recuperado 5 de marzo de 2025, de <https://www.iteso.mx/directorio#pills-6>

ITESO. (s. f.-e). *ORIENTACIONES FUNDAMENTALES DEL ITESO*. Recuperado 9 de mayo de 2025, de https://www.iteso.mx/documents/91563/2052731/ITESO_ORIENTACIONES_FUNDAMENTALES_DEL_ITESO.pdf

ITESO. (2025a). *ITESO - Convenios, organismos y redes de intercambios*. Convenios, organismos y redes de intercambios. <http://www.iteso.mx/>

ITESO. (2025b). *ITESO - El Modelo educativo del ITESO*. El Modelo Educativo Del ITESO. <http://www.iteso.mx/>

ITESO. (2025c). *Licenciatura | Coordinadores de Programa Educativo*. Sitio del Coordinador de Programa Educativo para Licenciatura. https://dga.iteso.mx/cpe/licenciatura/#tabs_funciones_3col|1

ITESO - Bosque ITESO. (s. f.). Recuperado 28 de agosto de 2025, de <http://www.iteso.mx/>

Kaur, M., & Saini, S. (2021). A Review of Metaheuristic Techniques for Solving University Course Timetabling Problem. En *Advances in Information Communication*

Technology and Computing (pp. 19-25). Springer, Singapore.

https://doi.org/10.1007/978-981-15-5421-6_3

Loáiciga-Gutiérrez, J. L., Chanto-Espinoza, C. L., Loáiciga-Gutiérrez, J. L., & Chanto-Espinoza, C. L. (2022). La planeación del tiempo en el contexto de la COVID-19, por estudiantes de educación superior del campus Liberia, Sede Regional Chorotega de la Universidad Nacional de Costa Rica. *Revista Espiga*, 21(44), 174-201.

<https://doi.org/10.22458/re.v21i44.4510>

Mextudia. (s. f.). *20 mejores universidades privadas en México* ▷ *Ranking 2025*. Mextudia.

Recuperado 12 de marzo de 2025, de <https://mextudia.com/rankings/las-mejores-universidades-privadas-en-mexico/>

Morfín Otero, F. (s. f.). *El modelo educativo del ITESO: Un conjunto de principios y criterios que orientan los procesos de aprendizaje en los programas de licenciatura*.

Recuperado 1 de mayo de 2025, de

https://www.iteso.mx/documents/91563/2052731/ITESO_EL_MODELO_EDUCATIVO_DEL_ITESO.pdf/7da9162b-616f-7a86-dfd5-48069adb29e6?t=1695660899115

Morrison, D. R., Jacobson, S. H., Sauppe, J. J., & Sewell, E. C. (2016). Branch-and-bound algorithms: A survey of recent advances in searching, branching, and pruning.

Discrete Optimization, 19, 79-102. <https://doi.org/10.1016/j.disopt.2016.01.005>

- Muñoz, E. J. M., & Zúñiga, F. R. A. (2008). Desarrollo de un sistema de pronóstico de apoyo a la gestión académica y planeación estratégica en la UNASAM. *Aporte Santiaguino*, ág. 68-71. <https://doi.org/10.32911/as.2008.v1.n1.339>
- Ocampo-Gómez, E. (2021). Currículum flexible: Estudiantes universitarios sorteando la conformación de su carga académica semestral. *Formación universitaria*, 14(2), 189-200. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062021000200189>
- Optimiza con Software de Gestión de la Fuerza Laboral*. (s. f.). <https://shifton.com/>. Recuperado 19 de noviembre de 2025, de <https://shifton.com/es/>
- Otero, H. A. M. (2019). *Optimización de procesos de planeación de horarios escolares mediante coloración de grafos*. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/8674>
- Pizza, W. R. (2012). A metodologia Business Process Management (BPM) e sua importância para as organizações. *São Paulo*. <https://www.fatecsp.br/dti/tcc/tcc00074.pdf>
- Provincia Mexicana de la Compañía de Jesús. (s. f.). *Sistema Universitario Jesuita (SUJ)*. Jesuitas México. Recuperado 5 de marzo de 2025, de <https://jesuitasmexico.org/que-hacemos/educacion/suj/>
- QS Quacquarelli Symonds. (2025, marzo 5). *QS World University Rankings 2025*. Top Universities. <https://www.topuniversities.com/world-university-rankings>
- Riaño, M. A. C. (2016). Gestión de procesos con BPM. *Tecnología Investigación y Academia*, 4(2), Article 2.
-

Sarmiento-Lepesqueur, A., Torres-Ovalle, C., Quintero-Araújo, C. L., & Montoya-Torres, J.

R. (2012). Programación y asignación de horarios de clases universitarias: Un enfoque de programación entera. *Proceedings of the Tenth LACCEI Latin American and Caribbean Conference*, 23-27. <https://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/RP027.pdf>

Silva, R., Cruz, E., Méndez, I., & Rodríguez, J. (2013). Sistema de Gestión Digital para mejorar los procesos administrativos de Instituciones de Educación Superior: Caso de estudio en la Universidad Autónoma Metropolitana. *Perspectiva Educacional*, 52(2), 104-134. <https://doi.org/10.4151/07189729-Vol.52-Iss.2-Art.142>

UniRank. (s. f.). *Top Universities in Mexico | 2024 University Rankings*. Recuperado 12 de marzo de 2025, de <https://www.4icu.org/mx/>

Urbán-Rivero, L. E., Lezama-León, M. H., Cruz-Aldana, E., Mares-Ortega, N. D., Loera-Díaz, L. F., Urbán-Rivero, L. E., Lezama-León, M. H., Cruz-Aldana, E., Mares-Ortega, N. D., & Loera-Díaz, L. F. (2024). Un modelo de programación entera para la generación de horarios universitarios: Un caso de estudio. *Computación y Sistemas*, 28(1), 137-149. <https://doi.org/10.13053/cys-28-1-4610>

Zatyryka-Pacheco, A. P. (2025). *Informe del Rector del ITESO. Dr. Alexander Paul Zatyryka Pacheco, S.J. 2024*. <https://hdl.handle.net/11117/11458>