## UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

DIRECCIÓN DE POSGRADO

**DIPLOMADO CIENCIA DE DATOS**

**SEGUNDA VERSIÓN**

**OPTIMIZACIÓN DE HORARIOS EN LA ACADEMIA NACIONAL DE MÚSICA 'MAN CESPED' MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS**

**PROYECTO PRESENTADO PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA INFORMÁTICA**

**MODALIDAD DOBLE TITULACIÓN**

**POSTULANTE : ANDREW JEREMIAH HERRADA VILLARROEL**

**TUTOR : LIC. CARMEN ROSA GARCÍA PÉREZ**

**Cochabamba – Bolivia**

**2025**

OPTIMIZACIÓN DE HORARIOS EN LA ACADEMIA NACIONAL DE MÚSICA 'MAN CESPED' MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS

Por

Andrew Jeremiah Herrada Villarroel

El presente documento, Trabajo de Grado es presentado a la Dirección de Posgrado de la Facultad de Ciencias y Tecnología en cumplimiento parcial de los requisitos para la obtención del grado académico de Licenciatura en Ingeniería Informática, modalidad Doble Titulación, habiendo cursado el Diplomado “Ciencia de Datos” propuesta por el Centro de Estadística Aplicada (CESA) en su segunda versión.

ASESOR/TUTOR

Lic. Carmen Rosa García Perez

COMITÉ DE EVALUACIÓN

Ing. M.Sc. Ronald Edgar Patiño Tito. (Presidente)

Ing. M.Sc Guillen Salvador Roxana,. (Coordinador)

Ing. M.Sc Espinoza Orosco José (Tribunal)

Ing. por designar………….., M.Sc. (Tribunal)



**DIRECCIÓN DE POSGRADO, FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

Cochabamba, Bolivia

**Aclaración**

**Este documento describe el trabajo realizado como parte del programa de estudios de Diplomado “Ciencia de Datos” en el Centro de Estadística Aplicada CESA y la Dirección de Posgrado de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Todos los puntos de vista y opiniones expresadas en el mismo son responsabilidad exclusiva del autor y no representan necesariamente las de la institución.**

**Resumen**

Texto Garamond tamaño 11.5, interlineado múltiple 1.2 con espaciado anterior y posterior de 6 puntos.

Resume la idea completa del trabajo y se redacta después de haber terminado la redacción de todos los capítulos (incluyendo las conclusiones y recomendaciones).

Usar una plana a ¾ o de preferencia la página completa, incluyendo las palabras clave (Resumen + Palabras Clave total 1 plana).

Al redactar debemos poner al menos un párrafo de la introducción, 1 o 2 párrafos de la metodología, otro párrafo explicando los hallazgos principales (resultados y un breve análisis de los mismos) y finalmente 1 párrafo explicando las conclusiones principales.

La redacción del resumen es una importante portada/carta de presentación hacia al contenido del proyecto, en esta página debemos mostrar todo el trabajo realizado. Esta es la página principal del proyecto, es la primera página en ser leída y define si el proyecto vale o no la pena, es decir si vale o no la pena invertir tiempo en su lectura, por ello debe ser de calidad, al igual que el resto del contenido.

**Palabras clave**

Insertar palabras clave en un máximo de 6 recomendable, recogen los temas principales, puede incluir palabras combinadas. Las palabras deben conducir a los temas principales de la investigación. Las palabras deben de ser entendibles para cualquier persona en el mundo (no usar palabras específicamente usadas en alguna región o zona)

No usar palabras muy genéricas, ejemplo: Energía NO, mejor Energía Hidroeléctrica.

*Dedicatoria en Texto Garamond en cursiva tamaño 11.5, interlineado múltiple 1.2 con espaciado anterior y posterior de 6 puntos.*

*Se sugiere un máximo de 2 párrafos breves.*

**Agradecimientos**

*Agradecimientos con Texto Garamond en cursiva tamaño 11.5, interlineado múltiple 1.2 con espaciado anterior y posterior de 6 puntos.*

*Se sugiere un máximo de 1/2 página.*

*Ejemplo:*

*Al(la) Ing. …….. MSc. por su valiosa y desinteresada colaboración.*

*A todo el equipo de profesionales del….. por la transmisión de sus conocimientos y por brindarme la información generada en ……… utilizada en el presente proyecto.*

*A los técnicos de ……….. por los datos brindados.*

**Tabla de contenidos**

Contenido

[UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN 1](#_Toc195598626)

[1. Introducción 1](#_Toc195598627)

[1.1. Antecedentes 1](#_Toc195598628)

[1.2. Justificación 1](#_Toc195598629)

[1.3. Planteamiento del problema 2](#_Toc195598630)

[1.4. Objetivo general 2](#_Toc195598631)

[1.4.1. Objetivos específicos 2](#_Toc195598632)

[2. Marco teórico 3](#_Toc195598633)

[2.1. Fundamentos de los problemas de Timetabling 3](#_Toc195598634)

[2.2. Descripción del problema 3](#_Toc195598638)

[2.2.1 Clasificación y restricciones 3](#_Toc195598643)

[2.2.2 Complejidad computacional del problema 4](#_Toc195598644)

[2.3 Jerarquía de clases de complejidad 5](#_Toc195598645)

[2.4 El problema de horarios como NP-Hard 6](#_Toc195598646)

[2.5 Algoritmos genéticos 7](#_Toc195598647)

[2.6 Representación cromosómica para problemas de timetabling 7](#_Toc195598648)

[2.7 Operadores genéticos especializados para timetabling 8](#_Toc195598649)

[2.8 Función de aptitud (fitness) 11](#_Toc195598650)

[2.9 Flujo de ejecución 11](#_Toc195598651)

[3. Marco metodológico 13](#_Toc195598652)

[3.1. Área de estudio 13](#_Toc195598653)

[3.2. Flujograma metodológico 14](#_Toc195598654)

[3.3. Fuentes de información 19](#_Toc195598655)

[3.3.1. Horario académico 2025 19](#_Toc195598656)

[3.3.2. Infraestructura y recursos físicos 20](#_Toc195598657)

[3.3.3. Plan operativo anual 2025 (POA) 20](#_Toc195598658)

[3.3.4. Convocatoria académica 2025 20](#_Toc195598659)

[3.3.5. Disponibilidad docente 21](#_Toc195598660)

[3.4. Factores para el algoritmo genético 22](#_Toc195598661)

[3.5. Factores para el algoritmo genético 22](#_Toc195598662)

[3.6. Estructura de datos y parámetros de entrada 23](#_Toc195598663)

[1.1. Subtitulo 25](#_Toc195598664)

[1.2. Subtítulo, ejemplo: Recopilación de datos de……. 25](#_Toc195598665)

[1.3. Subtítulo……. 26](#_Toc195598666)

[1.4. Subtítulo/ Diseño/ Modelacion 26](#_Toc195598667)

[2. Análisis de Resultados y Discusión 28](#_Toc195598668)

[2.1. Resultados de ……. 28](#_Toc195598669)

[2.2. Discusión de resultados 28](#_Toc195598670)

[3. Conclusiones 30](#_Toc195598671)

[4. Recomendaciones 31](#_Toc195598672)

[3 Bibliografía 32](#_Toc195598673)

[4 Anexos 34](#_Toc195598674)

[Anexo 1. Resultados de encuesta sobre …… 34](#_Toc195598675)

[5 Anexo PRINCIPAL: CD 34](#_Toc195598676)

**Lista de figuras**

Figura 3-1: Poner un mapa que ayude a ubicar el área de estudio (incluir la fuente, año) [3](#_heading=h.35nkun2)

Figura 3-2: Flujograma metodológico [3](#_heading=h.44sinio)

Figura/tabla 3-3: Factores …….. para ………. [3](#_heading=h.4i7ojhp)

Figura 3-4: Parámetros de ……. [4](#_heading=h.2xcytpi)

Figura 3-6: Planilla relevamiento de datos de conocimiento local en la encuesta [5](#_heading=h.19c6y18)

Figura 3-7: Puntos de relevamiento de datos en la encuesta estructurada [5](#_heading=h.1pxezwc)

Figura 3-8: Fotografías de puntos de relevamiento de datos en la encuesta estructurada [6](#_heading=h.49x2ik5)

Figura 3-10: Planilla relevamiento de datos de conocimiento experto en la encuesta [6](#_heading=h.3tbugp1)

Figura 4-1: Título de la figura [8](#_heading=h.ihv636)

Figura 4-10: figura de otra investigación, de otro autor (incluir fuente) [8](#_heading=h.1hmsyys)

Figura 4-11: Figura comparativa con nuestros resultados 28

**Lista de tablas**

Tabla 3-1: Rango de valores para (Gracia, y otros, 2010) [4](#_heading=h.3whwml4)

Tabla 3-2: Factor de …………... 25

# Introducción

El problema de timetabling o asignación de horarios, es una tarea crítica en instituciones educativas, especialmente en academias de música como la Academia Nacional de Música "Man Cesped" donde la complejidad de coordinar clases, ensayos y recursos especializados presenta desafíos significativos. Este proyecto propone el uso de algoritmos genéticos, una técnica de computación evolutiva para abordar esta problemática. Los algoritmos genéticos están inspirados en los principios de la evolución natural donde han mostrado ser efectivos en la resolución de problemas de optimización combinatoria como el timetabling (Goldberg, 1989). En este contexto, el objetivo es desarrollar una solución automatizada que optimice la organización de horarios, mejorando la eficiencia operativa y la experiencia educativa en la academia.

## Antecedentes

El timetabling educativo consiste en asignar eventos (como clases o ensayos) a recursos limitados (salas, profesores e instrumentos) dentro de un marco temporal para respetar restricciones específicas. Según Lewis (2008), este problema pertenece a la clase de problemas NP-hard, lo que implica que encontrar una solución óptima en tiempo razonable es inviable para instancias grandes mediante métodos exactos. Tradicionalmente las instituciones educativas han recurrido a la asignación manual de horarios lo que recurre a un proceso laborioso y propenso a errores (Schaerf, 1999).

En el ámbito de la educación musical, el timetabling presenta desafíos adicionales debido a la necesidad de coordinar recursos especializados, como salas insonorizadas o instrumentos específicos, y la disponibilidad limitada de profesores expertos (Burke et al., 2003). Estudios previos han explorado el uso de técnicas metaheurísticas como los algoritmos genéticos para resolver problemas de timetabling en contextos educativos. Por ejemplo, Abdullah et al. (2007) aplicaron algoritmos genéticos al timetabling universitario, demostrando su capacidad para generar soluciones viables y optimizadas en tiempos computacionales aceptables. En el caso de academias de música, los principios generales de estas técnicas son aplicables debido a la similitud estructural del problema.

## Justificación

La Academia Nacional de Música "Man Cesped" enfrenta serias dificultades en la organización de sus horarios, un proceso que actualmente se realiza de manera manual a cargo de una sola persona. Esta metodología resulta en conflictos de horarios, subutilización de recursos y descontento entre estudiantes y profesores que afecta la calidad educativa. Según Burke y Petrovic (2002), la automatización del timetabling mediante técnicas computacionales no solo reduce el tiempo de planificación, sino que también mejora la satisfacción de los involucrados al respetar mejor las restricciones y preferencias.

Los algoritmos genéticos son particularmente adecuados para este problema debido a su capacidad para explorar grandes espacios de búsqueda y encontrar soluciones aproximadas de alta calidad (Mitchell, 1996). Su aplicación en la academia podría optimizar el uso de salas, minimizar los conflictos horarios y considerar las preferencias de los estudiantes, como tiempo para práctica individual. Este proyecto es relevante porque ofrece una solución práctica y moderna a un problema real con beneficios tangibles para la institución y su comunidad.

## Planteamiento del problema

En la Academia Nacional de Música "Man Cesped", la asignación de horarios implica coordinar un conjunto de eventos (clases teóricas, prácticas instrumentales y ensayos) con recursos limitados (salas, profesores e instrumentos) dentro de un horario semanal. Este proceso debe cumplir restricciones duras, que son obligatorias para garantizar la viabilidad del horario y restricciones blandas, que mejoran su calidad.

La complejidad del problema radica en la cantidad de variables y restricciones involucradas, lo que hace inviable una solución manual eficiente. Este proyecto busca responder: ¿Cómo puede un algoritmo genético generar un horario óptimo que satisfaga las restricciones duras y optimice las blandas en el contexto de la academia?

## Objetivo general

Desarrollar un sistema basado en algoritmos genéticos para generar horarios óptimos en la Academia Nacional de Música "Man Cesped" que cumplan con las restricciones duras y optimicen las restricciones blandas del problema de timetabling.

### Objetivos específicos

* Recolectar y analizar datos de horarios, recursos y restricciones de la Academia Nacional de Música "Man Cesped" para identificar los requerimientos y limitaciones del problema de timetabling.
* Diseñar un algoritmo genético para el problema de timetabling, determinando la codificación de los horarios, los operadores genéticos y la función de aptitud para cada factor del modelo.
* Implementar y evaluar el algoritmo genético diseñado para generar horarios óptimos, a través de su programación en un lenguaje adecuado, en función a la viabilidad y calidad de las soluciones obtenidas.

# Marco teórico

## Fundamentos de los problemas de Timetabling

El problema de la programación de horarios conocido en inglés como "Timetabling", representa uno de los desafíos más complejos en el ámbito de la optimización combinatoria. Este tipo de problema consiste fundamentalmente en la asignación de recursos limitados (aulas, profesores y estudiantes) a períodos específicos de tiempo para respetar un conjunto de restricciones (Schaerf, 1999). En el contexto específico de la Academia Nacional de Música "Man Cesped", esta complejidad se acentúa debido a la naturaleza especializada de la enseñanza musical, que impone requisitos adicionales como la necesidad de salas con características acústicas particulares y la disponibilidad de instrumentos específicos.

Según Burke y Petrovic (2002), los problemas de timetabling educativo pueden clasificarse en tres categorías principales:

1. Programación de exámenes
2. Programación de horarios escolares
3. Programación de horarios universitarios

El caso de la Academia "Man Cesped" se asemeja más al tercer tipo, aunque con particularidades propias de las instituciones de formación musical. Como señala Rudová et al. (2016), los problemas de timetabling en instituciones educativas superiores suelen involucrar estructuras de cursos más complejas que los de nivel escolar, con múltiples formas de instrucción y diferentes requisitos de reuniones, lo que coincide con la realidad de la academia.



## Descripción del problema

Este documento pretende ayudar a la Academia de música ‘Man Cesped’ para la organización de horarios. Es una tarea muy tediosa cuando se trata de un horario muy complejo en una institución de música (ver anexo A). Actualmente una sola persona se encarga de organizar los horarios tardando hasta 2 semanas de trabajo sin intervención de ayuda alguna. Se pretende crear un algoritmo genético capaz de hacer este trabajo reduciendo el tiempo y sacando un horario optimo restricciones muy específicas.



### Clasificación y restricciones

Un aspecto fundamental en la resolución de problemas de timetabling es la identificación y clasificación adecuada de las restricciones. Como apuntan Carter y Laporte (1998), estas restricciones suelen dividirse en dos categorías: restricciones duras y restricciones blandas. En el contexto de la Academia Nacional de Música "Man Cesped", las restricciones para la optimización de horarios son los siguientes:

1. **Restricciones duras:** Son condiciones obligatorias que no deben violarse. Ejemplos incluyen:
   1. Evitar dos clases se programen en la misma sala al mismo tiempo.
   2. Respetar la disponibilidad de profesores.
   3. Garantizar los recursos esenciales (como pianos o salas insonorizadas) estén disponibles para las clases que los requieran.
   4. Los profesores en la academia se dividen dos: con ‘Item’ y a ‘Contrato’
   5. Dar prioridad a los profesores con ‘Item’ (con salario del estado) que primero cubran 13,5 horas académicas.
   6. Profesores sin Item, es decir, profesores a ‘Contrato’ deben tener al menos una materia otorgada.
   7. Existen asignaturas que conlleva 2 o más profesores.
   8. Dentro de la academia unos cuantos profesores tienen alta categoría para impartir clases a nivel superior.
   9. Existen profesores encargados en áreas específicas que no deben encargarse de otra área si no corresponde, por ejemplo:

Sección de cuerdas

Sección de Piano

Sección de Vientos

Sección de Guitarra

Sección de Canto

Sección de Percusión

* 1. La academia tiene la tradición de tener meterías específicas en horarios específicos.

1. **Restricciones blandas:** Son objetivos deseables, pero no imprescindibles. Algunos ejemplos son:
   1. Minimizar huecos en los horarios.
   2. Priorizar las preferencias horarias de los involucrados.
   3. Optimizar el uso de salas con características acústicas específicas.
   4. Profesores con Item pueden exceder las 13,5 horas si requiere.

### Complejidad computacional del problema

El timetabling problem pertenece a la clase de problemas NP-hard (Lewis, 2008), lo que implica que el tiempo computacional necesario para encontrar una solución óptima crece exponencialmente con el tamaño del problema. Esta complejidad es particularmente evidente en el contexto de la Academia Nacional de Música "Man Cesped" donde intervienen múltiples variables:

**Tamaño del espacio de búsqueda**: Si denotamos por P el número de períodos, A el número de aulas, y D el número de profesores, el número total de posibles asignaciones es del orden de O(P×A×D), lo que puede resultar en millones de configuraciones posibles incluso para instituciones medianas como la academia (Tripathy, 1984). Por ejemplo:

1. Número de estudiantes (clasificados por niveles e instrumentos)
2. Número de profesores (con especialidades específicas)
3. Cantidad de salas disponibles (con características acústicas y equipamiento variado)
4. Tipos de clases (teóricas, prácticas, ensayos grupales)
5. Número de periodos, en este caso 3:
   1. Tarde (15:00 – 18:00).
   2. Tarde/noche (15:00 – 19:00).
   3. Noche (17:00 – 21:00).

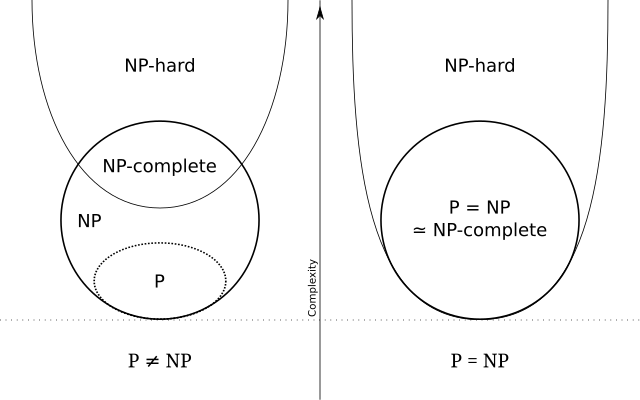
La combinatoria resultante hace que el espacio de soluciones sea extremadamente amplio. S la academia tiene 20 profesores, 15 salas y 40 franjas horarias semanales, existen potencialmente 20 × 15 × 40 = 12,000 asignaciones posibles solo para una clase. Considerando cientos de clases, las posibles configuraciones de horarios superan fácilmente los millones, lo que justifica el uso de heurísticas como los algoritmos genéticos (Pillay, 2014).

## Jerarquía de clases de complejidad

La teoría de la complejidad clasifica los problemas en diversas categorías según los recursos computacionales necesarios para su resolución (Garey & Johnson, 1979):

1. **P:** Son aquellos que pueden resolverse en tiempo polinómico respecto al tamaño de la entrada. Formalmente, un problema está en P si existe un algoritmo que lo resuelve en tiempo O(n^k) para alguna constante k, donde n es el tamaño de la entrada. Ejemplos incluyen la ordenación de números, la búsqueda binaria y el cálculo del máximo común divisor.
2. **Problemas P:** Son aquellos que pueden resolverse en tiempo polinómico respecto al tamaño de la entrada. Formalmente, un problema está en P si existe un algoritmo que lo resuelve en tiempo O(n^k) para alguna constante k, donde n es el tamaño de la entrada. Ejemplos incluyen la ordenación de números, la búsqueda binaria y el cálculo del máximo común divisor.
3. **Problemas NP:** Son problemas cuyas soluciones pueden verificarse en tiempo polinómico, aunque no necesariamente puedan encontrarse en dicho tiempo. Todo problema en P está también en NP, pero la gran cuestión abierta en ciencias de la computación es si P = NP.
4. **Problemas NP-Completos:** Son los problemas más "difíciles" dentro de la clase NP, en el sentido de que cualquier problema en NP puede reducirse a ellos en tiempo polinómico. Si se encontrara un algoritmo polinómico para resolver un problema NP-Completo, entonces todos los problemas en NP serían resolubles en tiempo polinómico, lo que implicaría que P = NP. Ejemplos clásicos incluyen el problema del viajante de comercio y el problema de la satisfacibilidad booleana (SAT).
5. **Problemas NP-Hard:** Son problemas al menos tan difíciles como los NP-Completos, pero que no necesariamente pertenecen a NP (es decir, verificar una solución podría no ser polinómico). Todos los problemas NP-Completos son NP-Hard, pero no todos los problemas NP-Hard son NP-Completos.

*La Figura 2-1 ilustra las relaciones entre estas clases de complejidad, bajo la suposición comúnmente aceptada de que P ≠ NP.*

**

**Figura 2-1: Relación entre las clases de complejidad P, NP, NP-Completo y NP-Hard.**

**Fuente: Wikipedia contributors. (n.d.). *NP-hardness*.**

## El problema de horarios como NP-Hard

El problema de timetabling en instituciones educativas ha sido demostrado como NP-Hard (Schaerf, 1999; Cooper & Kingston, 1996). Esto significa que:

1. No se conocen algoritmos que lo resuelvan en tiempo polinómico.
2. Es extremadamente improbable que tales algoritmos existan.
3. El tiempo necesario para encontrar una solución óptima crece exponencialmente con el tamaño del problema.

El problema involucra múltiples dimensiones (profesores, aulas, períodos, estudiantes), cada una aumentando el espacio de búsqueda. Las restricciones sobre especialidades docentes, salas, disponibilidad horaria, etc. interactúan de formas complejas porque no basta con encontrar una solución factible; se busca optimizar simultáneamente la utilización de recursos, la satisfacción de preferencias y otros criterios de calidad.

La clasificación como NP-Hard implica que, para problemas de tamaño real como el de la Academia (con decenas de profesores, aulas y demasiadas sesiones semanales), los métodos exactos que garantizan la optimalidad resultan computacionalmente inviables. Esto justifica el uso de métodos aproximados como los algoritmos genéticos que pueden encontrar soluciones de alta calidad en tiempos razonables, aunque sin garantizar la optimalidad absoluta.

## Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos son procedimientos adaptativos de búsqueda basados en el paradigma darwiniano de selección natural y evolución que originalmente son propuestos por Holland (1975) y posteriormente desarrollados y popularizados por (Goldberg, 1989). Su relevancia en problemas de optimización complejos como el timetabling educativo radica en su capacidad para navegar por espacios de soluciones extremadamente extensos, donde los métodos convencionales resultan computacionalmente prohibitivos.

La idea central de los algoritmos genéticos es mantener una población de soluciones candidatas, representadas mediante estructuras de datos llamadas "cromosomas", que evolucionan a lo largo de varias generaciones mediante la aplicación de operadores inspirados en procesos biológicos. El ciclo básico de un algoritmo genético como una secuencia de generaciones donde cada una implica: evaluación de aptitud, selección preferente de individuos más aptos, reproducción mediante operadores de cruce y mutación, y reemplazo de la población anterior. Este ciclo se repite hasta alcanzar un criterio de terminación, típicamente asociado con la calidad de la solución o con limitaciones de recursos computacionales (Mitchell, 1996).

Lo que hace distintivo a los algoritmos genéticos es su capacidad para explorar múltiples regiones del espacio de búsqueda simultáneamente con el fin de equilibrar la exploración de áreas inexploradas con la explotación de regiones prometedoras. Esta característica los hace particularmente adecuados para problemas como el timetabling, caracterizados por espacios de soluciones enormes con numerosos óptimos locales (Davis, 1991)

## Representación cromosómica para problemas de timetabling

La efectividad de un algoritmo genético depende crucialmente de la representación elegida para codificar las soluciones del problema. Erben y Keppler (1996) señalan que esta representación debe facilitar tanto la expresión de todas las soluciones posibles como la aplicación efectiva de los operadores genéticos.

Para el problema de timetabling educativo, se han propuesto diversas representaciones:

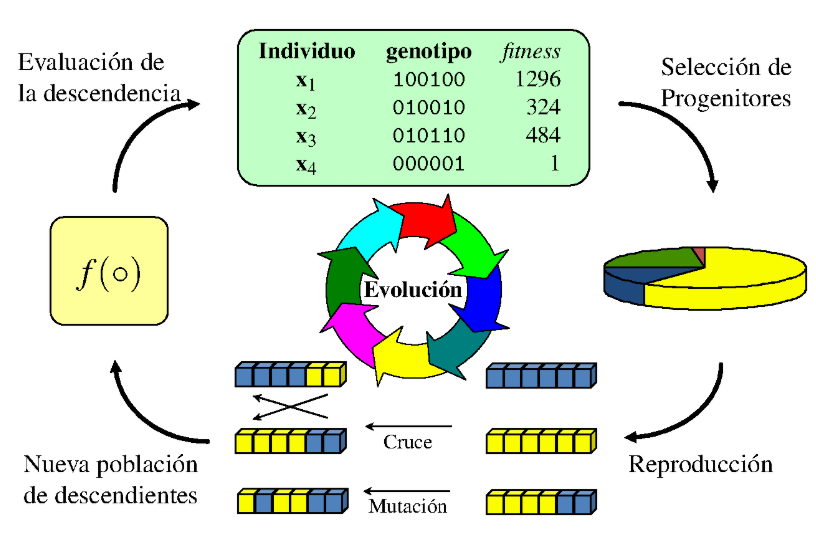
**Representación matricial:** Modela directamente las asignaciones como una matriz tridimensional donde las dimensiones corresponden a períodos temporales, espacios físicos y recursos docentes. Esta representación permite visualizar fácilmente conflictos espaciotemporales, pero resulta computacionalmente costosa para problemas grandes debido a su dispersión (Colorni, 1991).

**Representación basada en eventos:** Donde cada gen del cromosoma representa una actividad educativa y su valor codifica la asignación completa de recursos para dicha actividad. Esta representación garantiza que todas las actividades requeridas estén incluidas en la solución, aunque puede generar conflictos que requieran mecanismos de reparación (Burke et al., 2003).

**Representación basada en permutaciones:** El cromosoma codifica un orden de asignación para las actividades que posteriormente se procesa mediante un algoritmo constructivo. La efectividad de esta representación radica en que el orden de asignación puede impactar significativamente la calidad de la solución resultante. (Beligiannis et al., 2008)

La elección entre estas representaciones debe considerar las particularidades del contexto educativo específico. Para academias musicales, por ejemplo, resulta crucial modelar adecuadamente la disponibilidad de salas con características acústicas especiales, la asignación de instrumentos compartidos entre estudiantes, y la coordinación de ensayos que requieren la participación simultánea de múltiples instrumentistas.

*La figura 2-2 ilustra el flujo básico de un algoritmo genético:*

**

**Figura 2-2:** **Diagrama de flujo del proceso de un algoritmo genético.**

**Fuente: Sáncho, F. "Algoritmos Genéticos", Universidad de Sevilla.**

## Operadores genéticos especializados para timetabling

Los operadores genéticos tradicionales requieren adaptaciones específicas para funcionar eficientemente en problemas de timetabling. Estas adaptaciones buscan preservar la factibilidad de las soluciones y mejorar la convergencia del algoritmo.

**Selección**

El operador de selección determina qué individuos participarán en la generación de nuevas soluciones. Holland (1975) propuso originalmente la selección proporcional, donde la probabilidad de selección es directamente proporcional a la aptitud del individuo. Sin embargo, se ha observado que para problemas de timetabling la selección por torneo suele ofrecer mejor equilibrio entre presión selectiva y mantenimiento de diversidad poblacional. En este método se seleccionan aleatoriamente k individuos, eligiéndose el mejor entre ellos.

Goldberg (1989) desarrolló también esquemas de selección elitista, donde los mejores individuos de cada generación pasan directamente a la siguiente. Este enfoque garantiza que la calidad de las soluciones no disminuya entre generaciones, aunque puede reducir la diversidad genética si se aplica en exceso.

**Cruce**

El operador de cruce combina soluciones existentes para generar nuevas. Para problemas de timetabling, se han propuesto operadores especializados como:

* **Cruce uniformado parametrizado:** Erben y Keppler (1996) introdujeron una variante donde la probabilidad de heredar características de cada progenitor varía según su aptitud relativa.
* **Cruce basado en periodos:** Desarrollado por Colorni et al. (1991), este operador intercambia asignaciones completas de períodos específicos entre soluciones progenitoras, preservando la coherencia interna de las asignaciones.
* **Cruce guiado por conflictos:** Wilke et al. (2002) propusieron un operador que identifica y resuelve conflictos durante la recombinación, favoreciendo la generación de descendencia viable.

**Mutación**

El operador de mutación constituye un componente crítico en los algoritmos genéticos aplicados al timetabling educativo. Este mecanismo introduce cambios aleatorios en las soluciones para cumplir una doble función esencial: mantener la diversidad genética de la población y proporcionar mecanismos de escape de óptimos locales. Es decir, sin mutación los algoritmos genéticos tienden a converger prematuramente hacia soluciones subóptimas debido al empobrecimiento del pool genético. (Mitchell, 1996)

El diseño de operadores de mutación requiere un balance delicado entre la introducción de variabilidad y la preservación de la factibilidad de las soluciones. Las mutaciones aleatorias no dirigidas resultan frecuentemente contraproducentes en problemas altamente restringidos, pues la mayoría de las modificaciones producirían soluciones inviables. Por tanto, los operadores de mutación inteligentes o dirigidos adquieren especial relevancia. Por ejemplo: (Ross et al.,1994)

* **Mutación de reubicación**: Es la más fudamental que desplaza una actividad educativa desde su posición actual a un nuevo espacio-tiempo disponible. Este operador admite diversas implementaciones según la estructura del problema. Schaerf (1999) propone una versión donde la actividad seleccionada se mueve al primer espacio-tiempo disponible que no genere conflictos.

Por otro lado, Lewis (2008) sugiere una implementación más elaborada donde el nuevo espacio-tiempo se selecciona mediante una heurística que considera el impacto potencial en las restricciones blandas, favoreciendo asignaciones que mejoren la calidad global del horario.

* **Mutación de intercambio**: Es constituido por otro operador ampliamente utilizado que permuta las asignaciones de dos actividades diferentes. Es decir que distinguen entre intercambio simple que selecciona dos actividades aleatoriamente para intercambiar sus espacios-tiempos, e intercambio guiado, donde una de las actividades se selecciona por estar implicada en violaciones de restricciones. (Burke et al.,2003)

Según estudios comparativos realizados por Rossi-Doria et al. (2003), los intercambios guiados suelen ofrecer convergencia más rápida hacia soluciones de calidad, aunque pueden limitar la exploración del espacio de soluciones.

* **Mutación de cadena**: Se usa para situaciones más complejas para realizar una secuencia de intercambios en cascada para resolver múltiples conflictos simultáneamente. Este enfoque resulta particularmente efectivo en horarios densamente ocupados donde los cambios aislados rara vez consiguen mejoras significativas. La implementación típica identifica una actividad problemática y construye una cadena de reasignaciones que redistribuye el impacto del cambio para minimizar las perturbaciones en el horario existente. (Wilke et al, 2002)
* **Mutación de recursos**: Mantiene la ubicación temporal de una actividad pero modifica su asignación espacial o de otros recursos. Por ejemplo, una clase podría conservar su horario pero trasladarse a un aula diferente. Este tipo de mutación resulta especialmente valioso para academias musicales, donde la disponibilidad de aulas con características acústicas específicas o de instrumentos compartidos introduce complejidades adicionales. (Colorni et al., 1991)
* **Mutación adaptativa**: Propuesta por Back (1992) y adaptada al contexto de timetabling por Yang y Jat (2011), ajusta dinámicamente la intensidad (tasa) y naturaleza de las mutaciones según el progreso de la búsqueda. Durante las etapas iniciales de la evolución, predominan mutaciones más radicales que favorecen la exploración amplia del espacio de soluciones; conforme avanza el proceso evolutivo, las mutaciones se tornan más conservadoras, privilegiando la explotación de regiones prometedoras.
* **Mutación dirigida por preferencias**: Este operador identifica asignaciones que incumplen preferencias institucionales o personales (como clases programadas en horarios no deseados) y las reposiciona priorizando franjas horarias preferentes. Su efectividad depende considerablemente de la estructura de preferencias; cuando éstas presentan elevada consistencia, este operador puede acelerar significativamente la convergencia hacia soluciones satisfactorias. (Burke y Petrovic, 2002)

## Función de aptitud (fitness)

La función de aptitud constituye el mecanismo fundamental para guiar la búsqueda hacia soluciones de alta calidad. En problemas de timetabling, esta función debe evaluar tanto el cumplimiento de restricciones duras como la satisfacción de restricciones blandas. (Burke y Petrovic, 2002)

Una formulación genérica propuesta por Lewis (2008) expresa la función de aptitud como:

Donde es el valor de aptitud del horario , es el peso asignado a las restricciones duras, es el peso asignado a las restricciones blandas, ​ es la violación de la i-ésima restricción dura, es la violación de la j-ésima restricción blanda, son los números de restricciones duras y blandas, respectivamente

Típicamente ​para priorizar el cumplimiento de las restricciones duras. El objetivo del algoritmo es minimizar , con un valor ideal de 0 indicando ausencia de restricciones.

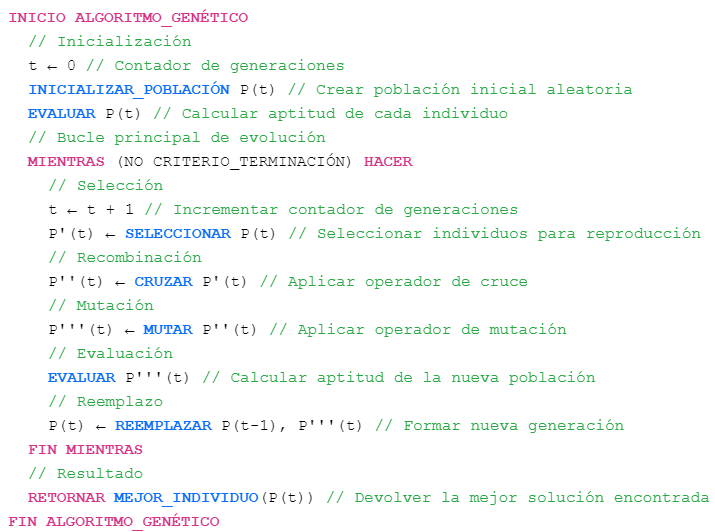
La función podría incluir los siguientes términos:

1. Penalización por solapamientos de profesores o salas
2. Penalización por incumplimiento de la carga horaria mínima para profesores con "Item" (72 horas)
3. Penalización por asignar profesores fuera de su especialidad
4. Valoración de la continuidad de clases (minimización de huecos)
5. Valoración del uso eficiente de salas especializadas

## Flujo de ejecución

Los algoritmos genéticos siguen un flujo de ejecución inspirado en los principios de selección natural. Para complementar la descripción teórica y el diagrama de flujo presentado en la Figura 2-3, resulta útil examinar el pseudocódigo básico de un algoritmo genético, que proporciona una representación formal de su estructura algorítmica.

*El La figura 2-3 muestra en lenguaje natural el procedimiento de un algoritmo evolutivo*

****

**Figura 2-3:** **Pseudocódigo del proceso evolutivo de un algoritmo genético.**

**Fuente: Elaboración Propia**

Este pseudocódigo ilustra cómo cada componente del algoritmo genético se adapta específicamente al problema de timetabling educativo. La implementación real para la Academia Nacional de Música "Man Cesped" requeriría personalizar estos componentes para incorporar las restricciones particulares de la institución, como la prioridad de profesores con "Item", la asignación por especialidades instrumentales, y la coordinación de espacios con características acústicas especiales.

# Marco metodológico

Extensión sugerida del capítulo, entre 15 y 25 páginas. Esta sección describe cómo se desarrolló el proyecto (es una de las partes más importantes, describe la esencia del trabajo). Área de estudio, metodología adoptada (pasos a seguir), datos recolectados (describe la forma de recolección), las herramientas utilizadas para el procesamiento (métodos, software, versión el porqué de la selección de los mismos), el diseño, modelación, simulación (como se lo hizo y por qué se realiza de esa manera).

## Área de estudio

La investigación se centra en la Academia Nacional de Música "Man Cesped", ubicada aproximadamente en la zona central de la ciudad de Cochabamba, departamento de Cochabamba, Bolivia. Esta institución, fundada en 1965 como una de las principales academias de formación musical del país, se encuentra en la Avenida Bartolomé Guzmán s/n, esq. Tiahuanaco, Colina San Sebastián.

La Academia Nacional de Música "Man Cesped" depende administrativamente del Ministerio de Culturas y Turismo de Bolivia a través de la Dirección Departamental de Culturas de Cochabamba y ofrece formación musical especializada en diversos niveles e instrumentos. Actualmente, la institución cuenta con una infraestructura de 6 bloques:

* Bloque A: Edificio Central
* Bloque B: Aulas para clases colectivas y Patio con Escenario
* Bloque C: Sala Coral
* Bloque D: Salas Instrumentales
* Bloque E: Sala Orquestal
* Bloque F: Aulas Infantiles

La institución atiende a una población estudiantil de aproximadamente 350 alumnos en sus diferentes niveles y especialidades que van desde el nivel infantil (5 años) hasta la formación superior, con especialidades en instrumentos de cuerda viento, percusión, piano, guitarra y canto. Cuenta con un plantel docente de 20 profesores especializados, de los cuales 12 tienen nombramiento estatal ("Item") y 8 trabajan bajo la modalidad de contrato.

El horario de funcionamiento de la academia se distribuye en tres franjas principales:

* Período tarde: 15:00 - 18:00 horas
* Período tarde/noche: 15:00 - 19:00 horas
* Período noche: 17:00 - 21:00 horas

La organización de las actividades académicas en esta institución presenta diversos retos. Entre ellos, destacan la variedad de especialidades instrumentales, los diferentes niveles de formación y la gestión de espacios disponibles. Además, la enseñanza musical añade particularidades que implican coordinar actividades individuales y grupales, garantizar el uso de espacios con condiciones acústicas apropiadas y asegurar la disponibilidad de instrumentos específicos según la especialidad.

*La figura 3-1 muestra la infraestructura de la Academia Nacional de Música “Man Césped”*



**Figura 3-1: Maqueta de la Academia ‘Man Cesped’ (Koichi Fujii, 2012)**

## Flujograma metodológico

El desarrollo de la solución para la optimización de horarios en la Academia Nacional de Música "Man Cesped" mediante algoritmos genéticos sigue un proceso estructurado y sistemático dividido en siete fases principales, como se muestra en la Figura 3-2. A continuación, se describe detalladamente cada fase y sus componentes:

**FASE 1: RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

Esta fase inicial es fundamental para comprender a profundidad el contexto y requerimientos específicos de la academia. Se divide en tres actividades principales:

1. **Relevamiento de recursos disponibles**:
   * Inventario detallado de las **n** aulas disponibles clasificadas según sus características acústicas y equipamiento
   * Registro de instrumentos compartidos y su disponibilidad
   * Identificación de capacidades y limitaciones de cada espacio
2. **Identificación de disponibilidad docente**:
   * Recopilación de horarios de disponibilidad de los 20 profesores
   * Registro de especialidades instrumentales y niveles que puede impartir cada docente
   * Distinción entre profesores con "Item" (12) y profesores a contrato (8)
   * Documentación de cargas horarias requeridas para cada tipo de contratación (Item y de contrato)
3. **Registro de necesidades académicas**:
   * Listado de materias teóricas y prácticas por nivel educativo
   * Agrupación de curso por niveles.
   * Identificación de asignaturas que requieren más de un docente
   * Registro de tradiciones institucionales relacionadas con horarios específicos

Metodología: Entrevistas estructuradas con personal administrativo, encuestas a docentes sobre preferencias horarias, y revisión documental de registros académicos previos.

**FASE 2: MODELADO DEL PROBLEMA**

En esta fase se formaliza matemáticamente el problema de timetabling específico para la academia:

1. **Definición de restricciones duras**:
   * Formalización de incompatibilidades temporales y espaciales
   * Establecimiento de requisitos mínimos de horas académicas para profesores con "Item" (13.5 horas)
   * Definición de condiciones de exclusividad por especialidades instrumentales
   * Establecimiento de reglas para materias con múltiples docentes
2. **Identificación de restricciones blandas**:
   * Cuantificación de preferencias horarias del personal docente
   * Criterios de eficiencia en la utilización de espacios especializados
   * Minimización de tiempos muertos entre clases
   * Continuidad pedagógica en la distribución de asignaturas
3. **Diseño de estructura de datos**:
   * Definición de modelo entidad-relación para la representación del problema
   * Diseño de estructuras para almacenar disponibilidades, preferencias y restricciones
   * Establecimiento de formato para la representación de horarios generados

Metodología: Análisis de restricciones mediante diagramas de Ishikawa, priorización de restricciones mediante método Delphi con expertos académicos, y modelado de datos utilizando UML.

**FASE 3: DISEÑO DEL ALGORITMO GENÉTICO**

Esta fase constituye el núcleo técnico del proyecto, donde se diseñan los componentes específicos del algoritmo genético adaptados al problema:

1. **Codificación de cromosomas**:
   * Diseño de representación cromosómica basada en eventos
   * Definición de genes que codifiquen asignaciones completas (materia-profesor-aula-horario)
   * Establecimiento de mecanismos de validación de integridad cromosómica
2. **Diseño de operadores genéticos**:
   * Desarrollo de operador de selección por torneo adaptado al contexto
   * Implementación de operadores de cruce específicos para preservar validez
   * Diseño de mutaciones especializadas para resolver conflictos acústicos y de espacios
   * Creación de operadores de mutación dirigida para optimizar preferencias institucionales
3. **Formulación de función de aptitud**:
   * Implementación de función ponderada para restricciones duras y blandas
   * Calibración de pesos para reflejar prioridades institucionales
   * Diseño de mecanismos de penalización para incumplimientos específicos
   * Creación de métricas de evaluación de calidad horaria

Metodología: Revisión sistemática de literatura sobre operadores genéticos en problemas de timetabling, simulaciones de concepto para validar operadores, y análisis de sensibilidad para calibración de pesos.

**FASE 4: IMPLEMENTACIÓN**

En esta fase se materializa el diseño conceptual en un sistema funcional:

1. **Desarrollo del software**:
   * Implementación del algoritmo genético en Python utilizando bibliotecas especializadas
   * Desarrollo de interfaz para visualización y ajuste de horarios
   * Implementación de mecanismos de exportación a formatos institucionales
   * Integración con bases de datos existentes para importación de información
2. **Parametrización inicial**:
   * Configuración de tamaños de población y número de generaciones
   * Ajuste de tasas de cruce y mutación para balance entre exploración y explotación
   * Establecimiento de criterios de convergencia y terminación
   * Definición de parámetros de diversidad poblacional
3. **Pruebas unitarias**:
   * Verificación de operadores genéticos mediante casos de prueba controlados
   * Validación de cálculos de función de aptitud
   * Comprobación de integridad en las restricciones implementadas
   * Pruebas de rendimiento en entornos controlados

Metodología: Desarrollo ágil con ciclos de implementación-prueba, validación progresiva con stakeholders académicos, y documentación continua del código.

**FASE 5: EXPERIMENTACIÓN Y AJUSTE**

Esta fase busca optimizar el rendimiento del algoritmo mediante ciclos iterativos:

1. **Generación de horarios preliminares**:
   * Ejecución del algoritmo con diferentes configuraciones
   * Producción de múltiples soluciones candidatas
   * Documentación del proceso evolutivo
   * Análisis de diversidad de soluciones
2. **Evaluación de resultados**:
   * Análisis de cumplimiento de restricciones duras y blandas
   * Evaluación de tiempo computacional requerido
   * Valoración de convergencia y estabilidad
   * Identificación de patrones en soluciones óptimas
3. **Ajuste de parámetros**:
   * Refinamiento de pesos en la función de aptitud
   * Ajuste adaptativo de tasas de mutación y cruce
   * Optimización de estrategias de selección
   * Implementación de mecanismos de diversificación en caso de convergencia prematura

Metodología: Diseño de experimentos factorial para combinaciones de parámetros, análisis estadístico de rendimiento, y técnicas de visualización para identificación de patrones.

**FASE 6: VALIDACIÓN**

Esta fase verifica la efectividad de la solución propuesta comparándola con métodos tradicionales:

1. **Comparación con método manual**:
   * Contraste entre horarios generados manualmente y algorítmicamente
   * Análisis de tiempos de elaboración
   * Evaluación de distribución de cargas docentes
   * Identificación de ventajas cualitativas y cuantitativas
2. **Verificación de cumplimiento de restricciones**:
   * Auditoría exhaustiva de cumplimiento de restricciones duras
   * Medición del grado de satisfacción de restricciones blandas
   * Análisis de conflictos residuales y sus causas
   * Evaluación de robustez ante cambios inesperados
3. **Medición de tiempos y calidad**:
   * Cuantificación de eficiencia computacional
   * Establecimiento de métricas objetivas de calidad horaria
   * Evaluación de escalabilidad ante crecimiento institucional
   * Análisis de facilidad de mantenimiento y actualización

Metodología específica: Grupos focales con docentes y administrativos para evaluar soluciones, análisis estadístico comparativo de métricas, y matriz de cumplimiento de requerimientos.

**FASE 7: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

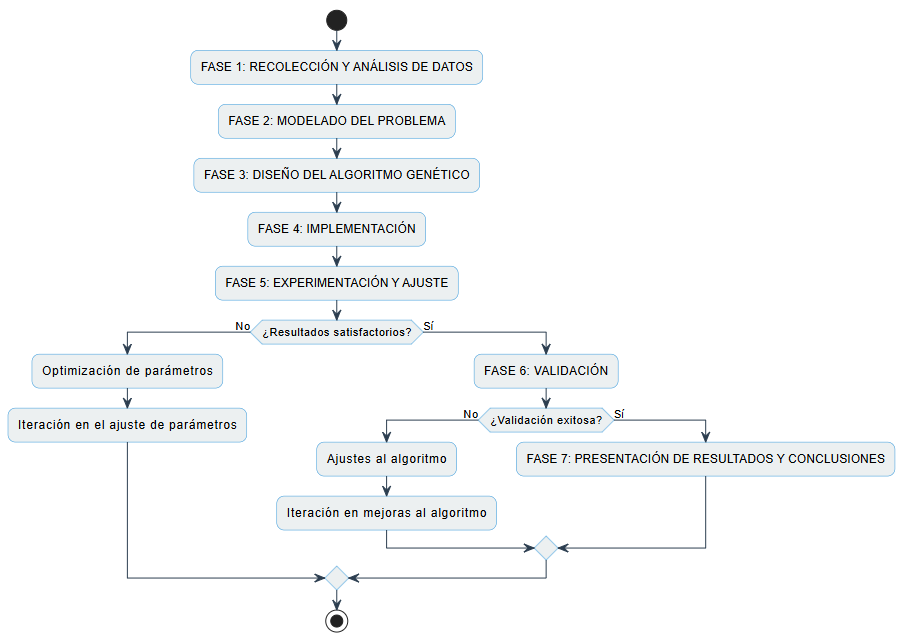
Esta fase final sintetiza los hallazgos y proporciona recomendaciones:

1. **Análisis comparativo**:
   * Evaluación objetiva de mejoras logradas
   * Visualización de patrones de optimización
   * Identificación de limitaciones del enfoque
   * Análisis costo-beneficio de la implementación
2. **Documentación de procesos**:
   * Elaboración de manuales de usuario y técnicos
   * Registro detallado de configuraciones óptimas
   * Documentación de lecciones aprendidas
   * Preparación de materiales de capacitación
3. **Recomendaciones de mejora**:
   * Identificación de oportunidades de refinamiento algorítmico
   * Sugerencias para mejoras institucionales en gestión horaria
   * Propuesta de extensiones futuras
   * Estrategias de implementación progresiva

Metodología: Técnicas de visualización para comunicación de resultados, sesiones de retroalimentación con stakeholders, y planificación estratégica para implementación sostenible.

El flujograma metodológico presentado en la Figura 3-2 ilustra la interrelación entre estas fases y representa el enfoque sistemático adoptado para abordar la complejidad del problema de optimización de horarios en la Academia Nacional de Música "Man Cesped".

*En la figura 3-2 se muestra el flujo de trabajo escrito en plantuml*



**Figura 3-2: Flujograma metodológico**

**Fuente: Elaboración Propia**

## Fuentes de información

### Horario académico 2025

Los datos del horario académico fueron obtenidos directamente de la documentación oficial proporcionada por la dirección de la Academia Nacional de Música "Man Cesped" para el período lectivo 2025 (ver anexo A). Este documento en formato PDF constituye la principal fuente de referencia para comprender la estructura temporal actual de las actividades académicas. El horario actual fue elaborado manualmente por el personal administrativo y presenta la distribución completa de clases, espacios y docentes a lo largo de la semana académica. Este documento es fundamental para identificar patrones existentes, analizar la distribución de carga horaria y establecer parámetros de comparación para evaluar la eficacia del sistema automatizado propuesto.

### Infraestructura y recursos físicos

La información referente a las aulas y espacios educativos fue recopilada a través del libro de registro institucional proporcionado por la administración de la academia. Este documento detalla la distribución física, características acústicas específicas y equipamiento disponible en cada espacio. Se identificaron un total de 15 espacios educativos categorizados según su finalidad:

* 20 aulas destinadas a clases teóricas grupales
* 32 aulas para prácticas instrumentales individuales
* 2 salas acondicionadas con teclado y proyección audiovisual
* 2 auditorio para recitales y evaluaciones
* Otras salas ambientadas: Biblioteca, museo, etc.

Cada espacio cuenta con características particulares en términos de acústica, tamaño y equipamiento, factores determinantes para la asignación de actividades específicas. Esta información es crucial para establecer las restricciones espaciales que debe considerar el algoritmo genético.

### Plan operativo anual 2025 (POA)

El Plan Operativo Anual 2025 de la academia fue proporcionado por la dirección académica y constituye una fuente esencial para comprender la estructura curricular, objetivos pedagógicos y organización académica de la institución. De este documento se extrajo información sobre:

* Materias ofrecidas por nivel y especialidad
* Carga horaria asignada por asignatura
* Requisitos específicos de recursos para cada tipo de clase
* Objetivos pedagógicos que influyen en la programación temporal

La información contenida en el POA permite establecer parámetros curriculares que deben ser respetados en cualquier solución de horarios generada por el algoritmo genético.

### Convocatoria académica 2025

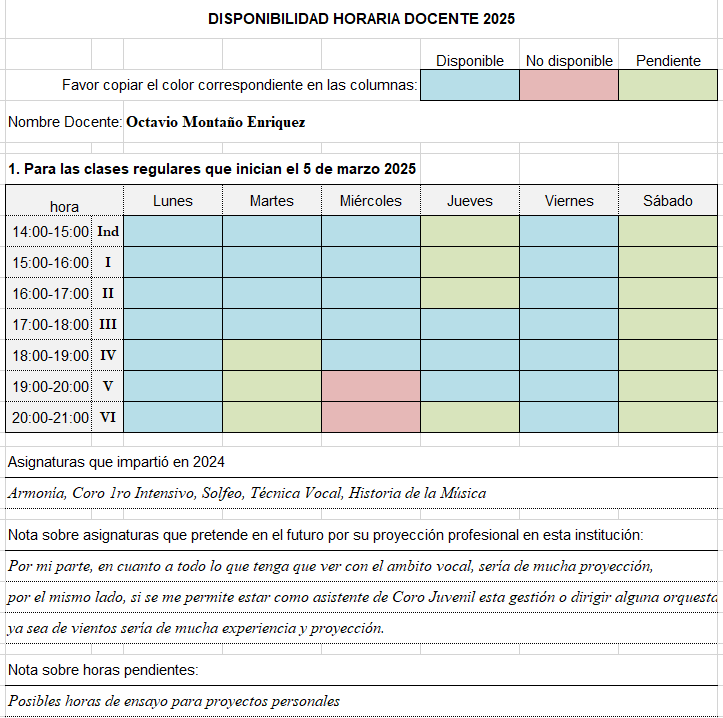
La convocatoria oficial para el año académico 2025 proporciona datos fundamentales sobre la estructura formativa de la academia. Este documento detalla los diferentes niveles educativos ofrecidos (infantil, inicial, básico, intermedio y superior) y las especialidades instrumentales disponibles (cuerdas, vientos, percusión, piano, guitarra y canto). La información extraída de este documento es determinante para comprender la complejidad estructural de las necesidades horarias y establecer categorías diferenciadas en el algoritmo de optimización.

### Disponibilidad docente

La información sobre disponibilidad de los profesores fue obtenida a través de un documento Excel proporcionado por la administración de la academia. Este registro detalla la disponibilidad horaria de cada docente, inclusive si su disposición está pendiente a confirmar (ver figura 3-3). El documento especifica:

* Franjas horarias disponibles, no disponibles o pendientes del docente durante la semana
* Restricciones particulares de disponibilidad.
* Alguna solicitud u observación a realizar.

*La figura 3-3 muestra la disponibilidad docente semanal de un profesor*



**Figura 3-3: Disponibilidad docente para distribución horaria**

Esta información constituye una de las restricciones duras más importantes para el algoritmo genético, ya que cualquier solución viable debe respetar la disponibilidad real de los profesores.

## Factores para el algoritmo genético

Los factores determinantes para la generación del algoritmo genético de optimización de horarios se resumen en la tabla 3-1. Estos factores han sido identificados a partir del análisis de las fuentes de información y constituyen los elementos fundamentales que debe considerar el modelo computacional.

*La tabla 3-1 muestra una descripción general sobre las restricciones blandas y duras de un AG*

| **Factor** | **Descripción** | **Impacto en el algoritmo** |
| --- | --- | --- |
| Disponibilidad docente | Franjas horarias en que cada profesor puede impartir clases | Restricción dura que limita las posibles asignaciones temporales |
| Clasificación docente | Categorización de profesores según vínculo laboral (Item o Contrato) | Restricción dura que determina prioridades y carga horaria mínima |
| Especialización instrumental | Área específica de competencia de cada docente | Restricción dura que limita las materias que puede impartir cada profesor |
| Tipología de aulas | Características y adecuación de cada espacio para actividades específicas | Restricción dura que determina la compatibilidad entre actividades y espacios |
| Secuenciación curricular | Orden y relación entre materias según el diseño curricular | Restricción blanda que influye en la distribución semanal de actividades |
| Tradiciones institucionales | Prácticas establecidas respecto a horarios específicos para ciertas actividades | Restricción blanda que debe ser considerada para mayor aceptación institucional |

**Tabla 3-1: Factores clave para el algoritmo genético de horarios**

La obtención de estos factores es resultado del análisis exhaustivo de la documentación relacionada a la institución. Su identificación y ponderación influyen directamente en el diseño de la función de aptitud (fitness) del algoritmo genético, así como en la estructura de las restricciones que definen la viabilidad de las soluciones generadas.

## Factores para el algoritmo genético

Para la clasificación de las restricciones que debe satisfacer el algoritmo genético, se ha establecido una categorización según su criticidad y naturaleza, siguiendo la metodología establecida por Burke y Petrovic (2002). Esta clasificación, detallada en la tabla 3-2, distingue entre restricciones duras (inviolables) y blandas (deseables).

*La tabla 3-2 muestra la clasificación a partir de restricciones*

| **Categoría** | **Subcategoría** | **Descripción** | **Prioridad** |
| --- | --- | --- | --- |
| Restricciones duras | Unicidad | Evitar conflictos de asignación simultánea | Crítica (1.0) |
| Restricciones duras | Disponibilidad | Respetar disponibilidad declarada de profesores | Crítica (1.0) |
| Restricciones duras | Carga mínima | Garantizar 13.5 horas semanales para profesores con Item | Alta (0.9) |
| Restricciones duras | Asignación especializada | Asignar profesores según su área de especialidad | Alta (0.9) |
| Restricciones duras | Compatibilidad espacial | Asignar actividades a espacios adecuados | Alta (0.8) |
| Restricciones blandas | Preferencias docentes | Considerar horarios preferentes de los profesores | Media (0.5) |
| Restricciones blandas | Continuidad | Minimizar huecos en horarios de profesores | Media (0.4) |
| Restricciones blandas | Distribución pedagógica | Balancear carga cognitiva a lo largo de la semana | Media (0.3) |
| Restricciones blandas | Tradición institucional | Respetar horarios tradicionalmente asignados a materias específicas | Baja (0.2) |

**Tabla 3-2:Clasificación de restricciones para el modelo de optimización**

Esta clasificación establece un sistema de ponderación para la función de aptitud del algoritmo genético y así asignar mayor peso a las violaciones de restricciones duras y penalizaciones graduales para las restricciones blandas según su prioridad.

## Estructura de datos y parámetros de entrada

La estructura de datos diseñada para alimentar el algoritmo genético se basa en matrices relacionales que capturan los principales elementos del timetabling problem. Los parámetros de entrada fundamentales se muestran en la tabla 3-3.

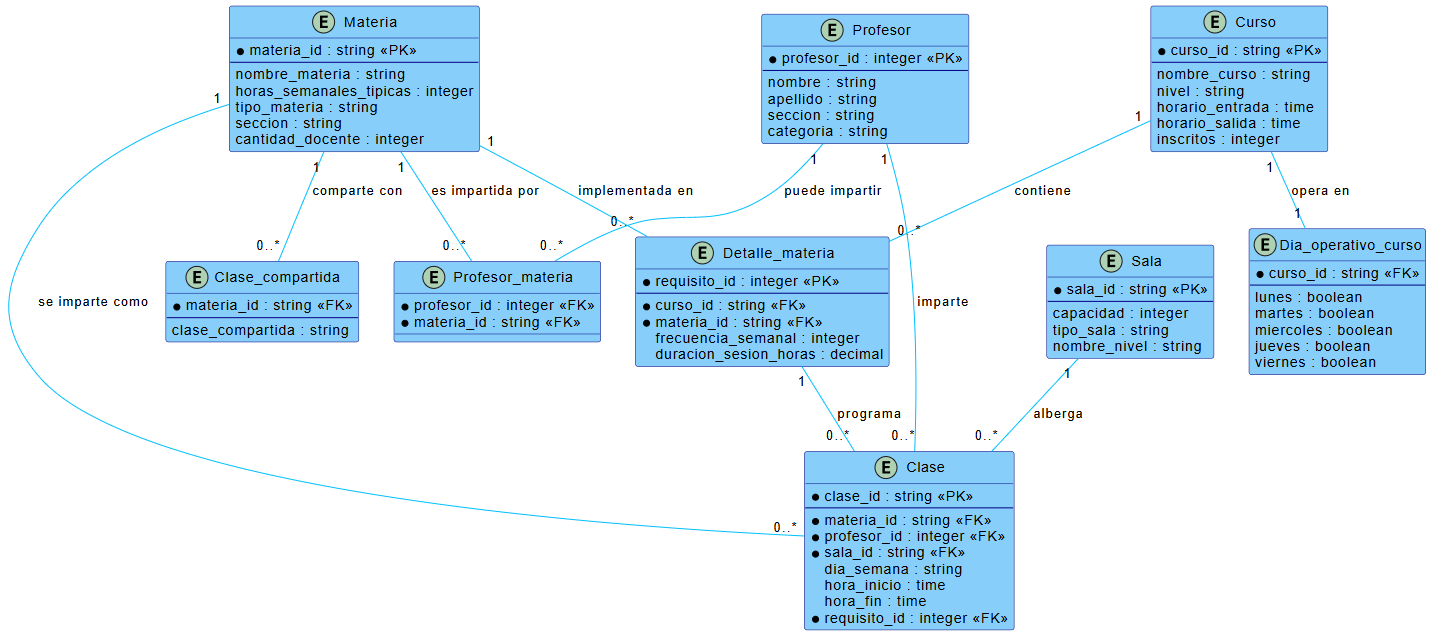
| **Matriz/Vector** | **Descripción** | **Formato** |
| --- | --- | --- |
| P | Conjunto de profesores | Vector de identificadores únicos |
| PI | Subconjunto de profesores con Item | Vector de identificadores |
| PC | Subconjunto de profesores a contrato | Vector de identificadores |
| C | Conjunto de clases a programar | Vector de identificadores únicos |
| A | Conjunto de aulas disponibles | Vector de identificadores únicos |
| T | Conjunto de periodos de tiempo | Vector de identificadores temporales |
| disp(p,t) | Disponibilidad del profesor p en tiempo t | Matriz binaria (0,1) |
| esp(p,c) | Especialidad del profesor p para clase c | Matriz binaria (0,1) |
| comp(c,a) | Compatibilidad de clase c con aula a | Matriz binaria (0,1) |
| pref(p,t) | Preferencia del profesor p por tiempo t | Matriz de valores [0-1] |
| trad(c) | Tiempos tradicionales para clase c | Vector de identificadores temporales |

Estos parámetros han sido estructurados para facilitar el procesamiento por el algoritmo genético y que permita una evaluación eficiente de las restricciones establecidas.

## Modelo de la base de datos entidad-relación

El diseño de la base de datos fue con el fin de estructurar todos los datos obtenidos y encontrar su relación codependiente. Rodríguez-Quiles y García (2017) destacan que "la enseñanza musical requiere una organización curricular particular que contemple su naturaleza tanto teórica como práctica" (p. 45). En la figura 3-4 refleja este principio fundamental al implementar una arquitectura que gestiona la complejidad organizativa de una institución de educación musical.

*La figura 3-4 se observa el diseño de base de datos entidad-relación*



**Figura 3-4: Base de datos**

**Fuente: Elaboración Propia**

### Enfoque de normalización

La estructura de la base de datos sigue los principios de normalización hasta la tercera forma normal (3FN), siguiendo las recomendaciones de Codd (1970), lo que minimiza la redundancia y garantiza la integridad de los datos. Esta decisión permite mantener la consistencia en un entorno educativo donde la programación de clases, asignación de recursos y gestión docente son procesos críticos e interrelacionados.

### Modelo relacional adoptado

El sistema implementa un modelo relacional con las siguientes características destacables:

1. **Separación de entidades conceptuales y operativas**

Se ha establecido una clara distinción entre:

* **Entidades maestras**: Materias, Profesores, Cursos y Salas.
* **Entidades operativas**: Detalle\_materia, Clase, Dia\_operativo\_curso.
* **Entidades de relación**: Profesor\_materia, Clase\_compartida.

Esta separación, como señala Elmasri y Navathe (2016), "permite una gestión más eficiente de los cambios en la estructura organizacional sin afectar la integridad operativa del sistema" (p. 178).

1. **Gestión flexible de horarios y programación**

El diseño contempla la complejidad inherente a la programación de clases musicales donde:

1. Los cursos tienen días operativos específicos (tabla Dia\_operativo\_curso).
2. Las materias pueden tener distintas frecuencias según el curso (tabla Detalle\_materia).
3. Existen clases compartidas entre distintas materias (tabla Clase\_compartida).

Esta aproximación coincide con lo planteado por Lehman y Chamberlin (2001) cuando afirman que "un sistema de base de datos educativo efectivo debe reflejar la complejidad organizacional sin añadir complicaciones innecesarias a su estructura" (p. 302).

### Modelado de requisitos pedagógicos

La tabla *Detalle\_materia* implementa el concepto de "requisito\_id" que actúa como identificador único de la implementación de una materia en un curso específico. Esta decisión de diseño permite:

* Establecer distintas configuraciones para la misma materia según el curso.
* Definir parámetros pedagógicos como frecuencia y duración.
* Servir como referencia para la programación de clases específicas.

Como señala Bressan y Zuliani (2013), "la enseñanza musical requiere una flexibilidad excepcional en cuanto a la implementación curricular para adaptarse a las necesidades específicas de cada nivel y especialidad" (p. 67).

### Estructura de claves y relaciones

El diseño implementa un sistema de claves primarias y foráneas que garantiza la integridad referencial mientras mantiene la flexibilidad necesaria para la gestión académica:

1. **Claves Naturales vs. Surrogadas**: Se utilizan identificadores significativos para entidades principales (materias, cursos) para facilitar su reconocimiento en consultas y reportes.
2. **Relaciones Muchos a Muchos**: La tabla Profesor\_materia implementa una relación muchos a muchos entre profesores y materias, reconociendo que un profesor puede impartir varias materias y una materia puede ser impartida por varios profesores.
3. **Gestión de Excepciones**: La tabla Clase\_compartida permite modelar situaciones donde distintas materias comparten sesiones, un escenario común en educación musical según Torres (2019), quien observa que "la integración entre teoría y práctica musical frecuentemente requiere compartir espacios y tiempos didácticos" (p. 112).

## Tabla minable

Casado y Martínez (2021) señalan que "la preparación efectiva de datos educativos requiere un proceso sistemático que preserve las relaciones estructurales mientras facilita el análisis posterior" (p. 127). El proceso documentado refleja este principio mediante una secuencia rigurosa de operaciones para integrar múltiples fuentes de datos en un formato coherente y analizable.

## Enfoque metodológico

La construcción de la tabla minable siguió un proceso iterativo de integración de datos para contemplar los siguientes aspectos fundamentales (ver anexo D):

1. **Estrategia de fusión de datos (Data Merging)**

Se implementó una estrategia de fusión progresiva donde cada tabla contribuye con información específica al conjunto final:

1. **Fusión inicial**: Integración de tablas Materia y Detalle\_materia utilizando materia\_id como clave de relación mediante un join interno (inner join).
2. **Incorporación de información operativa**: Adición de Dia\_operativo\_curso a través de un join izquierdo (left join) preservando todos los registros de materias.
3. **Integración de características especiales**: Adición de Clase\_compartida manteniendo la integridad de los datos mediante joins izquierdos y llenado apropiado de valores nulos.
4. **Contextualización con datos de cursos**: Incorporación de información de Curso para proporcionar contexto temporal y organizativo.
5. **Tratamiento de valores nulos y duplicados**

El análisis muestra decisiones críticas respecto al manejo de datos incompletos:

1. **Verificación sistemática**: Se realizaron verificaciones de valores nulos después de cada operación de fusión para garantizar la calidad de los datos.
2. **Asignación de valores por defecto**: Los valores nulos en clase\_compartida se completaron con "Individual" para diferenciar de las materias que se comparten con otros cursos.
3. **Eliminación de duplicados**: Se identificaron y eliminaron entradas duplicadas en la tabla Clase\_compartida mediante la función drop\_duplicates().
4. **Transformación y enriquecimiento de datos**

El proceso incluyó importantes transformaciones para mejorar la utilidad analítica:

1. **Conversión de tipos de datos**: Transformación de valores booleanos a enteros (0/1) para facilitar operaciones aritméticas posteriores.
2. **Verificación de consistencia**: Comparación entre horas semanales típicas y reales para identificar posibles inconsistencias en la programación académica.
3. **Organización final del conjunto de datos**

Las decisiones finales de diseño priorizaron la relevancia pedagógica y operativa:

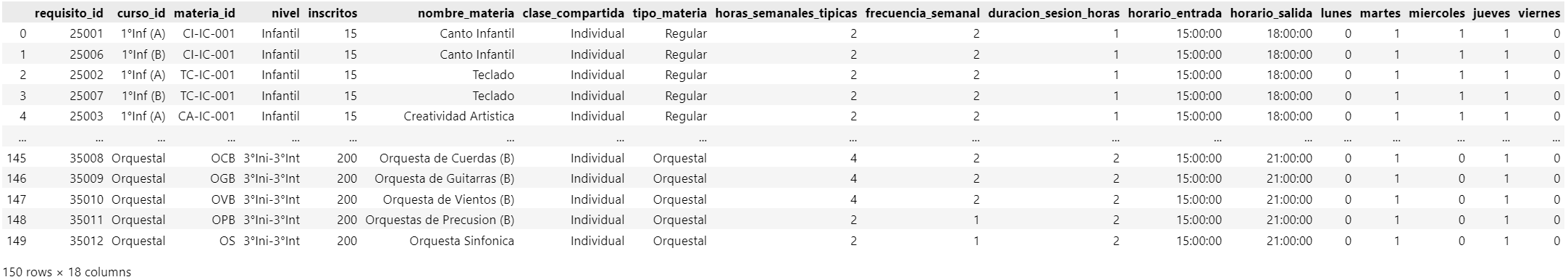
a) **Selección de columnas relevantes**: Eliminación de columnas redundantes (nombre\_curso) para optimizar el conjunto de datos.

b) **Reordenamiento estructurado**: Reorganización de columnas siguiendo un orden lógico desde identificadores hasta atributos operativos y temporales.

c) **Exportación en formato accesible**: Almacenamiento final en formato Excel sin índices para facilitar su uso en herramientas de análisis posteriores.

Como señala Hernández-García et al. (2022), "la estructura final de un conjunto de datos educativos debe reflejar tanto las necesidades analíticas como las realidades operativas de la institución y priorizar la interpretabilidad sobre la exhaustividad" (p. 178).

*La figura 3-5 muestra que el resultado final tiene 150 filas y 18 columnas*



**Figura 3-5: Tabla minable**

## Subtitulo

La ………. detallados en la tabla 3-2.

**Tabla 3-2: Factor de …………...**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Sigla** | **Descripción** | **Factor de …….** |
| PR5 | Período de retorno de 5 años | 0.2 |

PONER FIGURA, FOTO O GRAFICA.

**Figura 3 5: Mapas de ………..**

**Fuente: Elaboración Propia**

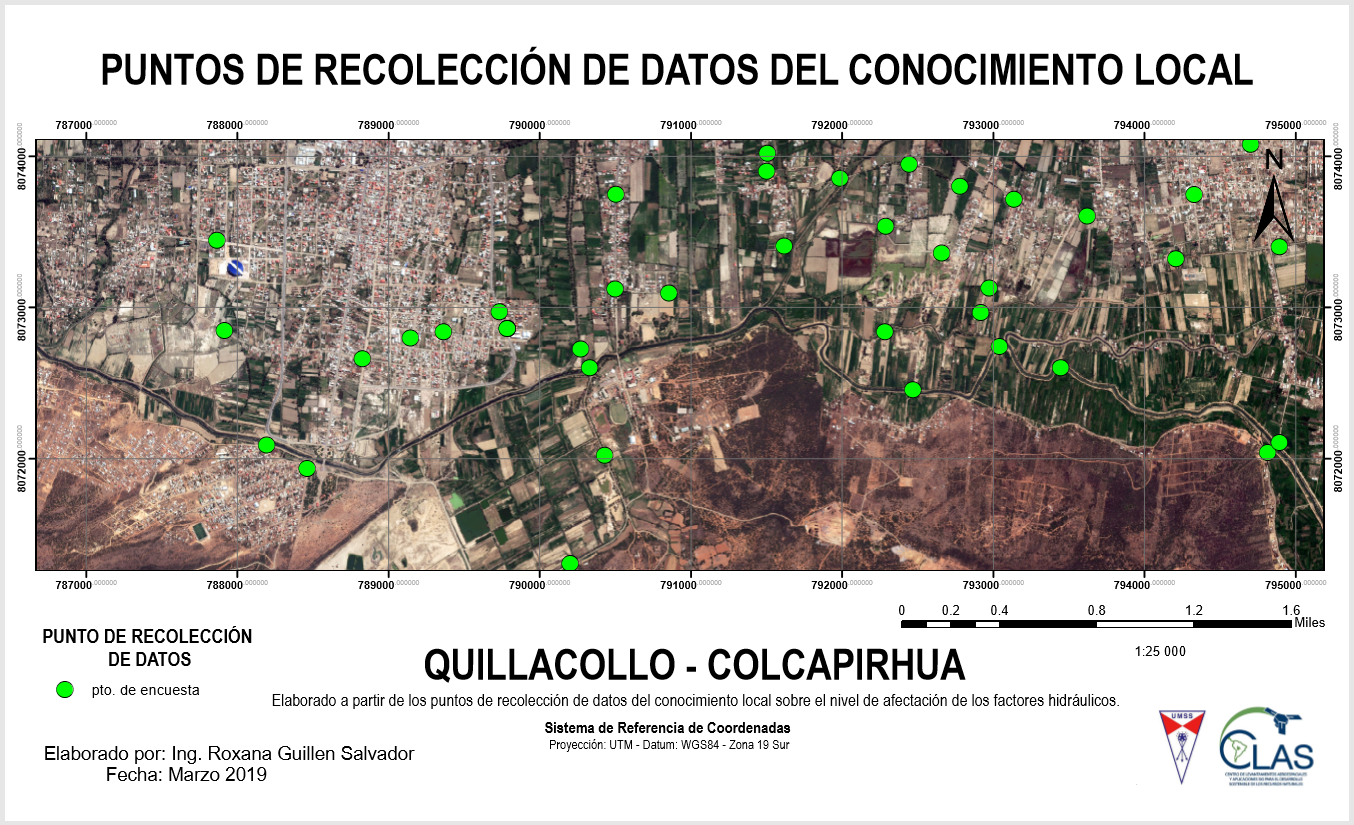
## Subtítulo, ejemplo: Recopilación de datos de…….

Se realizó visitas a la zona de estudio, con la finalidad de obtención de información de la población a través de encuestas o entrevistas estructuradas ……..

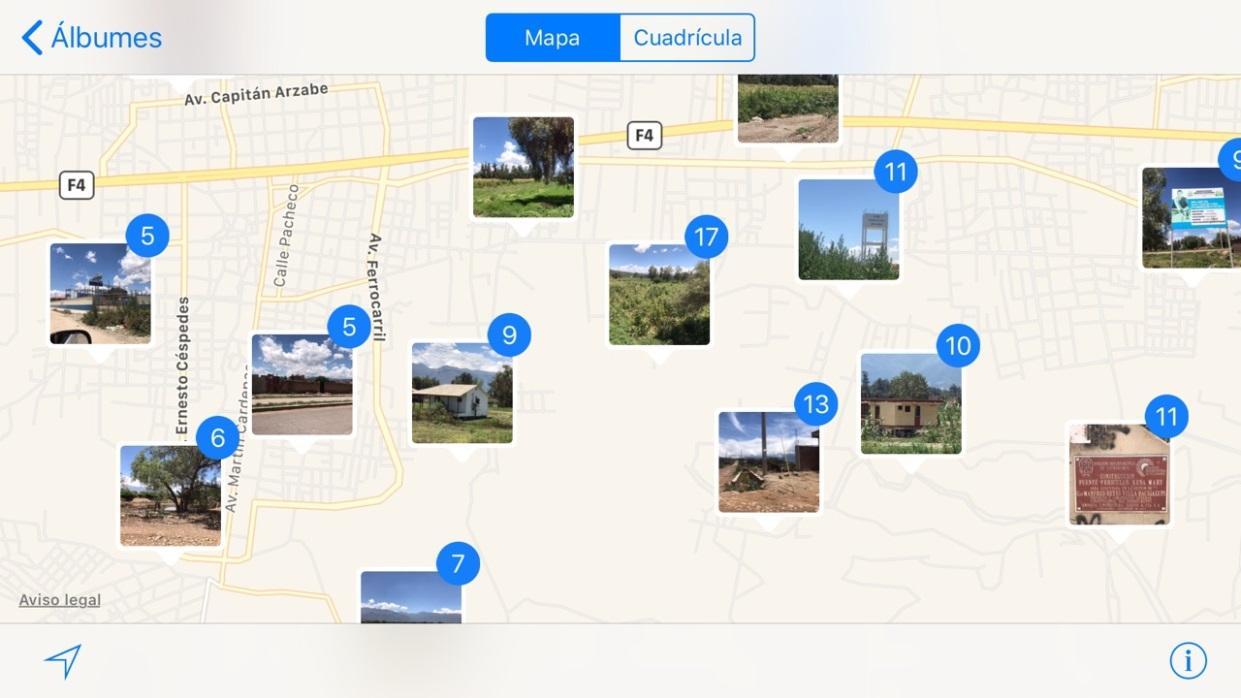
La hoja de encuesta (figura 3-6) recaba datos de ………

La identificación de la zona de estudio, para la recolección de información o entrevista, se la hizo mediante ………..

………… recolección de datos con lo cual resultaron los 46 puntos de la recolección los que se observan en las figuras 3-7 y 3-8.



**Figura 3-7: Puntos de relevamiento de datos en la encuesta estructurada**



**Figura 3-8: Fotografías de puntos de relevamiento de datos en la encuesta estructurada**

El archivo digital que contiene las encuestas llenadas sobre……., puede ser consultado en el CD adjunto al presente trabajo (Anexo 2).

## Subtítulo…….

La …..

## Subtítulo/ Diseño/ Modelacion

La

Incluir tipos de procedimientos, diseño experimental, formulas, muestreo, técnicas de selección, variables y otros

Que tipos de equipos se utilizaron,

>No poner:

Encuestas completas

Lista de materiales

Tablas o figuras completas con datos obtenidos.

# Análisis de Resultados y Discusión

Extensión sugerida del capítulo, entre 8 y 12 páginas. En esta sección los resultados son presentados y analizados. Se presentan porcentajes, números/cantidades/valores correspondientes a los resultados además del ANÁLISIS de los mismos.

El módulo V, correspondiente a la analítica y visualización de datos será utilizado en toda su extensión, presentando gráficos elaborados, llamativos, descriptivos, adecuados, que muestren de la mejor manera los resultados de interés. Tomar en cuenta todo lo aprendido en este módulo (V) sin dejar de lado el análisis de los mismos.

La discusión corresponde a realizar un contraste entre nuestros resultados y los de otro proyecto, comparando, detectando similitudes y diferencias aplicando criterios de análisis de donde surgirán recomendaciones.

Ante cualquier duda, en cualquier sección, es muy recomendable buscar ejemplos en proyectos de investigación de otras instituciones, otros países, otros ámbitos, etc. La revisión bibliográfica respecto al tema es esencial.

## Resultados de …….

El …… (figura 4-1) muestra que el 16% del área ……. tiene una …… menor a ……, ver figura 4-5.

**Figura 4-1: Título de la figura**

El

Se encontró ----------breve y clara.

Se ha encontrado o se encontró

Se ha obtenido o se obtuvo (pasado simple)

Incluye tablas y figuras con datos relevantes (no datos secundarios ni tablas ampulosas, poner estas en anexos en el CD).

## Discusión de resultados

Los resultados de ----otro autor, muestran ---------(ver figura 4.x); por ende a efectos de poder efectuar la comparación \_\_\_\_\_\_ resultado de ello se aprecia en la figura 4-11.

**Figura 4-10: figura de otra investigación, de otro autor (incluir fuente)**

**Figura 4-11: Figura comparativa con nuestros resultados**

El resultado de la otra investigación……. Comparando visualmente ambos \_\_\_\_ se observa que continúa mostrando los mismos resultados en……. Similitudes en…… diferencias en……..

Estas diferencias o igualdades, se debe a que en el presente estudio …….. lo cual muestra que…….., puede ser analizada en función a………..

Poner de forma clara la decisión que toma el autor del presente proyecto, explicando el porqué **BASADO EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO** DE LOS DATOS/RESULTADOS. **La ausencia de esta sección fue causal de REPROBACIÓN en la defensa del proyecto.**

# Conclusiones

Poner afirmaciones basadas o respaldadas/fundamentadas en el presente proyecto..

Extensión sugerida entre ¾ y 1 página.

# Recomendaciones

A partir …….

Se recomienda ……..

Se debe tener presente que los resultados obtenidos son producto de …….., que tienen involucradas hipótesis y condiciones iniciales particulares por lo tanto, estos resultados deben irse calibrando con el transcurso del tiempo.

Extensión sugerida entre ¾ y 1 página.

EXTENSIÓN TOTAL DE DOCUMENTO, ENTRE 30 – 60 PÁGINAS.

# Bibliografía

Abdullah, S., Burke, E. K., & McCollum, B. (2007). A hybrid evolutionary approach to the university course timetabling problem. IEEE Congress on Evolutionary Computation, 1764-1768.

Abramson, D., & Abela, J. (1992). A parallel genetic algorithm for solving the school timetabling problem. In Proceedings of the 15th Australian Computer Science Conference (Vol. 14, pp. 1-11).

Beligiannis, G. N., Moschopoulos, C. N., Kaperonis, G. P., & Likothanassis, S. D. (2008). Applying evolutionary computation to the school timetabling problem: The Greek case. Computers & Operations Research, 35(4), 1265-1280.

Bressan, D., & Zuliani, D. (2013). Educación musical y gestión académica: Nuevos paradigmas organizacionales. *Revista de Pedagogía Musical*, 18(2), 58-72.

Burke, E. K., Eckersley, A. J., McCollum, B., Petrovic, S., & Qu, R. (2010). Hybrid variable neighbourhood approaches to university exam timetabling. European Journal of Operational Research, 206(1), 46-53.

Burke, E. K., & Petrovic, S. (2002). Recent research directions in automated timetabling. European Journal of Operational Research, 140(2), 266-280.

Burke, E. K., Kingston, J., & Jackson, K. (2003). Hyper-heuristics: An emerging direction in modern search technology. In Handbook of metaheuristics (pp. 457-474). Springer.

Codd, E. F. (1970). A relational model of data for large shared data banks. *Communications of the ACM*, 13(6), 377-387.

Colorni, A., Dorigo, M., & Maniezzo, V. (1991). Genetic algorithms and highly constrained problems: The time-table case. In International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (pp. 55-59). Springer.

Cooper, T. B., & Kingston, J. H. (1996). The complexity of timetable construction problems. In Practice and Theory of Automated Timetabling (pp. 281-295). Springer.

Cote, P., Wong, T., & Sabourin, R. (2005). A hybrid multi-objective evolutionary algorithm for the uncapacitated exam proximity problem. In Practice and Theory of Automated Timetabling V (pp. 294-312). Springer.

Davis, L. (1991). Handbook of Genetic Algorithms. Van Nostrand Reinhold.

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE transactions on evolutionary computation, 6(2), 182-197.

Eiben, A. E., Hinterding, R., & Michalewicz, Z. (1999). Parameter control in evolutionary algorithms. IEEE Transactions on evolutionary computation, 3(2), 124-141.

Elmasri, R., & Navathe, S. (2016). *Fundamentals of Database Systems* (7th ed.). Pearson.

Erben, W., & Keppler, J. (1996). A genetic algorithm solving a weekly course-timetabling problem. In Practice and Theory of Automated Timetabling (pp. 198-211). Springer.

Gainza, V. H. (2013). *Música y educación: Sistemas de gestión para el siglo XXI*. Editorial Lumen.

Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley.

Holland, J. H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press.

Lehman, T. J., & Chamberlin, D. D. (2001). A universal table structure for educational database systems. *Journal of Database Management*, 12(4), 292-306.

Lewis, R. (2008). A survey of metaheuristic-based techniques for university timetabling problems. OR Spectrum, 30(1), 167-190.

Lewis, R., & Paechter, B. (2005). Application of the grouping genetic algorithm to university course timetabling. In Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization (pp. 144-153). Springer.

McCollum, B., Schaerf, A., Paechter, B., McMullan, P., Lewis, R., Parkes, A. J., & Burke, E. K. (2008). Setting the research agenda in automated timetabling: The second international timetabling competition. INFORMS Journal on Computing, 22(1), 120-130.

Mitchell, M. (1996). An Introduction to Genetic Algorithms. MIT Press.

Rodríguez-Quiles y García, J. A. (2017). Gestión académica en conservatorios: Organización curricular y planificación estratégica. *Revista Electrónica Complutense de Investigación en Educación Musical*, 14, 39-57.

Ross, P., Corne, D., & Fang, H. L. (1994). Improving evolutionary timetabling with delta evaluation and directed mutation. In International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (pp. 556-565). Springer.

Rossi-Doria, O., Sampels, M., Birattari, M., Chiarandini, M., Dorigo, M., Gambardella, L. M., ... & Stützle, T. (2003). A comparison of the performance of different metaheuristics on the timetabling problem. In Practice and Theory of Automated Timetabling IV (pp. 329-351). Springer.

Rudová, H., Müller, T., & Murray, K. (2016). Complex university course timetabling. Journal of Scheduling, 19(3), 187-207.

Sáncho, F. "Algoritmos Genéticos", Universidad de Sevilla.

Schaerf, A. (1999). A survey of automated timetabling. Artificial Intelligence Review, 13(2), 87-127.

Torres, L. (2019). Diseño e implementación de bases de datos para conservatorios y escuelas de música. *Tecnología y Comunicación Educativas*, 29(3), 98-117.

Tripathy, A. (1984). School timetabling—a case in large binary integer linear programming. Management Science, 30(12), 1473-1489.

Wilke, P., Gröbner, M., & Oster, N. (2002). A hybrid genetic algorithm for school timetabling. In Conference on Artificial Intelligence (pp. 455-461).

Wikipedia contributors. (n.d.). *NP-hardness*. *Wikipedia*. Retrieved April 8, 2025

# Anexos

## Resultados de encuesta sobre ……

# Anexo PRINCIPAL: CD

El anexo principal es un CD que contiene toda la información para reproducir el proyecto y comprobar que la información presentada, al igual que los resultados, son reales.

**El CD debe contener TODA la información utilizada en el proyecto:** datos, encuestas, herramientas utilizadas, enlaces, resultados del procesamiento de datos, explicación de cómo obtener los resultados (txt), los resultados y otros que el autor considere importantes.

**La impresión es tipo revista,** anverso y reverso. Se le enviará la portada con mayores detalles una vez que su proyecto haya sido aprobado por las instancias correspondientes.