



UNIVERSIDAD DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas
Ingeniería Industrial

Modelo de optimización de la capacidad instalada de la Facultad
de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Industrial

Autor:

Andrés Humberto, Saeteros Castillo

CI: 0104833983

Correo electrónico: saetaandres@outlook.com

Tutora:

Paola Fernanda Vintimilla Álvarez

CI: 0105097570

Cuenca - Ecuador

20-diciembre-2021



Resumen:

La asignación óptima de recursos es un reto trascendental en todas las organizaciones pues se enfrentan continuamente a múltiples situaciones que requieren mejoras para cubrir las demandas, crear ambientes adecuados y sobre todo optimizar costos. Es así que la presente investigación pone a disposición el caso de la Universidad de Cuenca, organización sin fines de lucro, que brinda educación de altos estándares y con un amplio grupo de ofertas académicas. Esta es una de las muchas organizaciones que ha presentado un crecimiento progresivo de la demanda estudiantil y a razón de ello se han visto en la necesidad de integrar modelos matemáticos que permitan una optimización de sus recursos. Dicho esto, la reasignación de los mismos es la principal alternativa para cubrir la demanda. Por ello, se ha propuesto un modelo para optimizar la capacidad con la que cuenta la Universidad de Cuenca, específicamente ha sido probado en la Facultad de Ciencias Químicas. Así mismo, se ha tomado en cuenta los recursos infraestructurales, los docentes y las cátedras impartidas por las cuatro carreras universitarias de la facultad antes mencionada. Cabe destacar que, el modelo se basa en un algoritmo genético, que permite relacionar individuos de una población (Variables) y al mismo tiempo conocer su evolución bajo reglas (restricciones) de selección, con base en principios genéticos y naturales, para obtener la optimización de la capacidad instalada respectiva.

Palabras claves: Asignación. Algoritmos genéticos. Capacidad instalada. Optimización.



Abstract

The optimal allocation of resources is a transcendental challenge in all organizations as they continually face multiple situations that require improvements to meet the demands, create suitable environments and, above all, optimize costs. This this research makes available the case of the University of Cuenca, a non-profit organization that provides education of high standards and with a wide group of academic offers. This is one of the many organizations that has presented a progressive growth in student demand and as a result they have found the necessity to integrate mathematical models that allow an optimization of their resources. The reallocation of them is the main alternative to cover the demand. For this reason, a model has been proposed to optimize the capacity of the University of Cuenca, it has been proven at the University of Cuenca with the Faculty of Chemical Sciences. Likewise, the infrastructural resources, the teachers and the courses given by the four careers of the faculty. It should be noted that the model is based on a genetic algorithm, which allows relating individuals of a population (Variables) and at the same time knowing their evolution under selection rules (restrictions), based on genetic and natural principles, to obtain optimization of the respective installed capacity.

Keywords: Allocation. Genetic algorithms. Installed capacity. Optimization.



Índice de Contenido

1	INTRODUCCIÓN	6
2	METODOLOGÍA	11
2.1	Gestión de la información	12
2.2	Planteamiento del Algoritmo Genético	14
2.2.1	Alcance del modelo	14
2.2.2	Estructura del Algoritmo Genético	17
2.3	Definición de Variables	17
2.4	Planteamiento de Restricciones	18
2.5	Definición de Funciones objetivos	19
2.5.1	Algoritmo genético de minimización	19
2.5.2	Algoritmo genético de maximización	23
2.6	Pseudocódigo y Programación del AG	28
3	RESULTADOS Y DISCUSIONES	30
3.1	Resultados modelo de minimización	30
3.2	Resultados modelo de maximización	34
4	CONCLUSIONES	36
5	FUTURAS INVESTIGACIONES	38
6	REFERENCIA	39
7	ANEXOS	43



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Andrés Humberto Saeteros Castillo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Modelo de optimización de la capacidad instalada de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de diciembre del 2021

Andres Humberto Saeteros Castillo

0104833983



Cláusula de Propiedad Intelectual

Andres Humberto Saeteros Castillo, autor del trabajo de titulación "Modelo de optimización de la capacidad instalada de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 20 de Julio del 2021

Andres Humberto Saeteros Castillo

C.I.: 0104833983



1 Introducción

Actualmente la globalización ha generado mayor competitividad organizacional. Una forma de alcanzar estas exigencias es mediante la eficiente utilización de recursos (Peña Ariza et al., 2020). A raíz de ello, surgen los rasgos de matematización¹ en todos los campos de conocimiento, los cuales se integran como modelos para solucionar los retos que exige el mundo moderno (López Calvajar et al., 2017 ; C. de la F. Martínez, 2017).

Por tal motivo, es usual encontrarse con retos de optimización en organizaciones privadas, en estos casos la solvencia económica, las estrategias e innovaciones son clave para generar mejoras en los procesos y servicios (Peña Ariza et al., 2020). Pero, cuando se trata de organizaciones públicas, la importancia de lograr generar espacios óptimos, más que ser una consideración primordial, realmente es una necesidad, pues se debe encontrar la excelencia con recursos limitados, En este contexto, las Universidades Públicas no son la excepción. (Moreno-Reséndez et al., 2013).

El crecimiento exponencial de matriculación en educación superior, ha implicado una constante preocupación alrededor del mundo (El Universo, 2020). Esto, debido a que la cantidad de ingresos en carreras o especialidades no corresponden a la cantidad de graduados actualmente, incluso, lejos de aumentar se ha reducido significativamente (Smink, 2017). Es decir, en la mayoría de los casos, el tiempo que un estudiante permanece en la universidad, es mayor al promedio que dura una carrera universitaria idónea. Esto ha conllevado nuevos desafíos para las universidades, pues deben incorporar en su gestión una asignación óptima de sus recursos humanos, materiales y tecnologías (Arias Manosalva & Pesantez Jara, 2011). Así como, modificaciones en las infraestructuras de las instituciones, con la finalidad de satisfacer la demanda estudiantil.

¹ Es el proceso matemático más utilizado para resolver problemas de la realidad



En Ecuador, la educación superior pública sigue presentando diversos problemas, entre ellos la crisis económica, la falta de recursos, infraestructuras inadecuadas, entre otros (Condor Bermeo, 2017). Todos estos problemas recaen directamente en la proforma de presupuesto general del estado, en la cual existe una reducción presupuestaria para las instituciones de educación superior (Hermida, 2017). Tal es el caso de la Universidad de Cuenca, una universidad pública creada en 1867. Actualmente, es considerada una de las mejores universidades del país y galardonada con múltiples reconocimientos entre ellos destaca el más reciente Premio Matilde Hidalgo enfocado en calidad y excelencia educativa, sin embargo, la Universidad de Cuenca no está exenta de los problemas antes mencionados que afectan a todas las universidades públicas del Ecuador (ELTIEMPO, 2017).

Es así que, los recursos de las universidades públicas imponen límites al crecimiento poblacional estudiantil mientras se trata de lograr la provisión de un servicio educativo en ámbitos de calidad. Así mismo, en la mayoría de las universidades las restricciones expresadas como infraestructura no solo deben centrarse en el números de aulas o en la cantidad de horas de operación, sino que también , en la capacidad de los espacios construidos, como el resultado de las consideraciones de ambas variables (espacio y horario) (Vásquez et al., 2014). De igual forma en determinadas universidades al comenzar el año lectivo, organizan los calendarios donde se determinan los horarios de las distintas materias, así como la asignación de las aulas. Dicha actividad consume gran cantidad de tiempo, por lo que el plantear modelos matemáticos que simplifiquen el proceso, respetando todas y cada una de las variables y restricciones involucradas es una solución eficaz para implementar en cada periodo académico. Por ello, una forma de solucionar los problemas ya sea de reasignación de recursos, rediseños u optimización de capacidades, radica en el diseño de modelos matemáticos que permitan resolver éstos problemas reales de la forma más óptima (Peña Ariza et al., 2020). Tal es el caso de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca que, hasta el momento la generación de horarios y asignación de aulas es un proceso manual, es por eso que se plantea un método computacional de optimización. En efecto, lo que prosigue al identificar estas problemáticas es tomar decisiones. Las cuales tienen un alto grado de complejidad ya que son problemas reales que pueden perjudicar a las partes interesadas (estudiantes y universidades) reflejándose gravemente en pérdidas económicas por las inadecuadas elecciones (Ramírez, 1996).



Los modelos matemáticos, según Yepes Piqueras (2013), Plaza Gálvez (2016), Robert et al. (2012), Eugenia et al. (2015), Cáceres-Ruiz Díaz (2019) , Martínez Miguélez (2003) y Brito-Vallina et al. (2011) se definen como, estructuras formales de la matemática que intentan describir alguna parte del mundo real, ya sea en el ámbito de la físicas, biología o sociedad, de forma óptima y precisa.

A partir de ello, algunos retos de optimización requieren de modelos matemáticos sencillos, es decir lineales, en donde los problemas son de tipo P (deterministic polynomial time) y se pueden resolver con programación lineal entera. Por ende, su solución es determinística, es decir, se obtiene una única solución viable y capaz de ser comprobada en un tiempo polinomial.

Por otro lado, existen problemas más complejos que requieren modelos matemáticos de tipo NP (non deterministic polynomial time), éstos no son conocidos en un tiempo polinomial, pues no existe un algoritmo determinista que resuelva y compruebe si la solución es la correcta en un tiempo polinomial. En estos casos Taha (2012) y I. Martínez et al. (2014), recomiendan aplicar la heurística, meta heurística, o bien reglas empíricas para solucionar dichos problemas.

Es por esto que, el problema de optimización de la capacidad instalada de la Facultad de Ciencias Químicas, corresponde al problema de tipo NP complejo y lo más conveniente es resolver mediante algoritmos genéticos. Los algoritmos genéticos (AG) o algoritmos evolutivos son métodos de búsqueda estocástica que tratan problemas de optimización donde el objetivo es encontrar parámetros que maximicen o minimicen la función fitness o función de adaptación o función objetivo. Los algoritmos genéticos están basados en la teoría evolutiva que consiste en la supervivencia de los individuos más fuertes, y su comportamiento está basado en la selección de una población inicial (conjunto de individuos), los cuales van a ser afectados por la selección, cruce y mutación, es decir, evolucionan con la finalidad de llegar a tener los mejores candidatos de acuerdo con la función fitness. Es así que cuando se tenga la población con los individuos mejorados según la función de aptitud planteada o cuando el algoritmo converja es decir ya no exista mejora alguna, el modelo finalizara (Cornejo Reyes, 2018).



Cabe mencionar que los Algoritmos Genéticos fueron propuestos e investigados por John Holland en el año de 1975 en la Universidad de Michigan, el cual describe a los algoritmos genéticos como sistemas, estos a su vez están formados por cromosomas, mismos que dictan el material genético para la construcción u operación de organismos, los cromosomas a su vez están compuestos de genes que pueden tomar una serie de valores denominados alelos genéticos (Martínez Vicente & Valls Fernández, 2008).

Así mismo, a lo largo del tiempo las investigaciones aplicadas a casos reales de optimización en campos de hidráulica, finanzas, ingeniería, medicina, entre otros, reflejan la importancia de integrar Algoritmos Genéticos (Forrest, 1996). Sin embargo, para el contexto de esta investigación, los trabajos que se presentaran a continuación se orientan a la optimización de aulas, capacidades instaladas y recursos universitarios. Esto con la finalidad de conocer las aportaciones y resultados de otros trabajos que han mostrado soluciones viables para optimizar recursos, tema importante hoy en día por el bajo presupuesto emitido a las universidades.

Solano Sabatier et al. (2008) propone un software basado en algoritmos genéticos para la asignación de aulas, actividad que se realiza semestralmente. Sus resultados demuestran varias soluciones de asignación, y en este punto, la intervención humana es indispensable para la toma de decisiones. Pues el software entrega varias soluciones viables, que han ahorrado tiempo y por consecuencia recursos. Así mismo, Franco Baquero et al. (2008) propone una estrategia denominada Búsqueda Tabú, para la optimización de un horario de clases optimo que consiste en reducir el número de restricción duras permitiendo mayor flexibilidad en la asignación.

Finalmente, un aporte relevante es el efectuado por Barrero Barros & López Villavicencio (2013), quienes señalan la problemática de asignación de horarios en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca. La investigación propone un nuevo método heurístico SOLU, con base en el método BINGO, donde se obtuvieron 50 horarios óptimos en 3 minutos. Sin embargo, con respecto a las restricciones, el método, selecciona a un profesor-una materia- y paralelo (PMP), esto lo realiza de forma aleatoria para colocar en el horario final, aquí es donde se corre el riesgo de que existan repeticiones de PMP,



por lo que a este método lo mejoraron con una nueva alternativa denominada método SOLU, que en síntesis restringe que se repita un PMP. Si bien al final de obtienen horarios óptimos que consideran primordialmente al PMP, entra en discusión el hecho de que la capacidad de aula no juega un rol principal dentro del modelo.

A partir de estas afirmaciones la presente investigación propone un modelo de optimización de la capacidad instalada para la Facultad de Ciencias Químicas, la cual también se enfrenta a problemas de asignación adecuada para cada semestre. Se resalta que, a diferencia de los modelos antes citados, esta propuesta si bien contempla todas las restricciones DMA, incluye a su vez la optimización del espacio físico disponible en la facultad, es decir la asignación y el uso correcto de las aulas. Esto se logra a partir de la optimización de los horarios de clases, en los cuales se tiene la distribución de las diferentes materias con sus respectivos créditos. También, se ha tomado en cuenta los horarios laborales de cada docente, con la finalidad de conocer cuál será la mejor aula a ser asignada de acuerdo a la disponibilidad horaria del mismo. Así mismo, se destaca que el modelo consta tres fases generales. La gestión de información, la generación del modelo de optimización de capacidad instalada y los resultados.

En definitiva, cabe destacar que la presente investigación ha usado como referencias los trabajos realizados por Cornejo Reyes (2018) y Gil González et al. (2016) que presentan enfoques muy interesantes en la solución de problemas reales, usando algoritmos genéticos. Para concluir, la teoría en la cual se desarrollará el modelo de optimización, corresponde a la teoría Darwiniana de AG, la cual tomará en cuenta todo el entorno en el cual actúan los individuos, tales como carreras universitarias, cátedras, docentes, estudiantes, aulas, laboratorios y tiempo, factores que impactan de manera transversal la oferta educativa futura, es decir, la capacidad de la institución para ampliar o contraer la cobertura y por ende garantizar la calidad y efectividad del proceso de cada carrera universitaria (Vásquez et al., 2014).



2 Metodología

El modelo de optimización de la capacidad instalada de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se ha basado en dos metodologías, por un lado, en una metodología descriptiva porque se ha detallado la situación actual de la Facultad de Ciencias Químicas. La cual ha brindado información como: el número de docentes, alumnos, total de aulas y laboratorios presentes en este periodo académico. Y por otro lado una metodología de tipo propositiva por cuanto se fundamenta en una necesidad de la Facultad de Ciencias Químicas de optimizar su capacidad instalada tomando en cuenta las variables y restricciones que afectan el proceso de planificación y asignación de recursos. En consecuencia, se ha generado un modelo matemático de optimización, el cual ha propuesto una solución frente al óptimo uso de los recursos. Por lo tanto, el modelo que se ha utilizado corresponde al tipo de problema NP Complejos, esto por el número de variables y la cantidad de restricciones que abarcan (Maldonado, 2013). Por tal motivo se desarrolla mediante Algoritmos Genéticos, pues como lo menciona Hernández Domínguez (2010) en su investigación, los algoritmos genéticos tienen la capacidad de manejar poblaciones extremadamente grandes y numerosas, cuyos individuos desde un inicio son soluciones del problema.

Los algoritmos genéticos se basan en la teoría evolutiva Darwiniana, proceso conocido como selección natural. En la cual, para conservar individuos más aptos para poblaciones futuras con genética mejorada, estos deben estar sujetos a una función de aptitud, la cual se encarga de evaluar y categorizar a cada uno de ellos para asegurarse de que sean aptos para evolucionar (Cornejo-Reyes & Robles-Bykbaev, 2018). Proceso similar al de la naturaleza, en donde un individuo es evaluado para sobrevivir, reproducirse y morir (Ginnobili, 2010).

Es así que en el presente trabajo se genera un modelo de optimización basado en Algoritmos Genéticos, como se mencionó anteriormente este modelo consta de dos partes; en la primera es la obtención de un horario de clases optimizado tomando en cuenta las variables y restricciones que afectan directamente a la funcionalidad del modelo las mismas que se describen más adelante y es a partir de aquí que surge la segunda parte, en la cual se optimiza el uso de las aulas (asignación), entonces, como resultado obtendremos un

horario de clases con todas las materias ofertadas en un periodo académico, asignadas a una hora específica con el docente indicado y en el aula que mejor cumpla con los requisitos de espacio físico y del docente.

A continuación, como se observa en la Ilustración 1 se ha detallado la trayectoria de la metodología aplicada. Como primer paso esta la Gestión de la Información en la cual se ha recolectado la información del periodo académico septiembre 2020 – febrero 2021 de la Facultad de Ciencias Químicas.

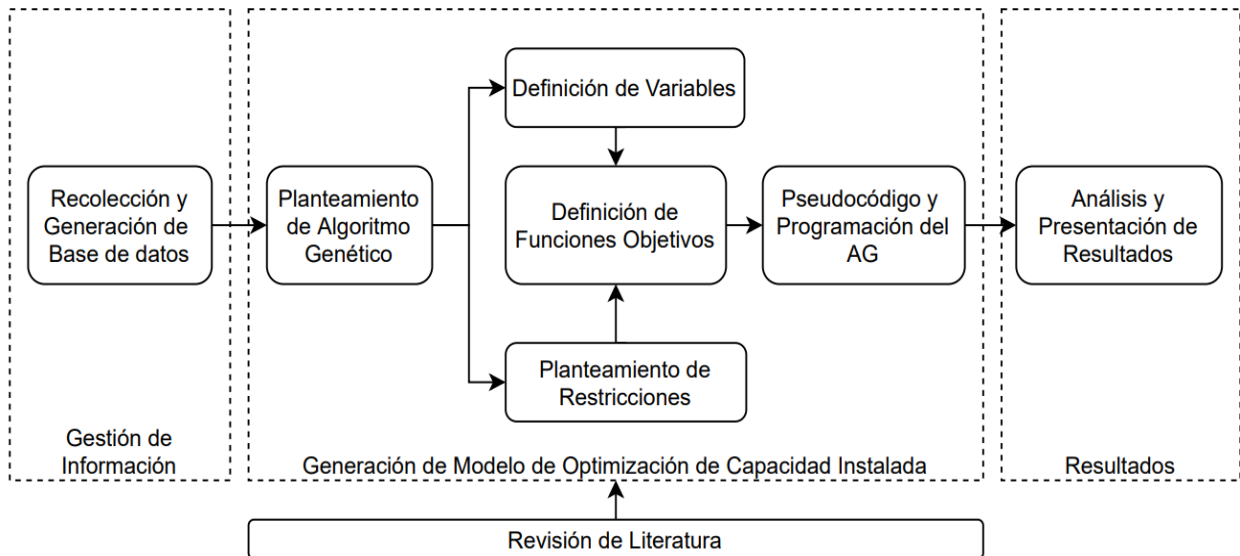


Ilustración 1. Metodología Aplicada. Fuente: Elaborado por el autor

2.1 Gestión de la información

Así mismo, cabe destacar que la información obtenida corresponde a:

- Número de materias totales incluidas materias en laboratorios y materias por grupos (Tabla 1)



Tabla 1. Número de materias totales (incluidas materias en laboratorios y materias por grupos).
Fuente: Elaborado por el autor

Carreras de la Facultad de Ciencias Químicas	Materias
BIOQUIMICA Y FARMACIA	136
INGENIERÍA AMBIENTAL	88
INGENIERÍA INDUSTRIAL	84
INGENIERÍA QUÍMICA	109
Total de Materias	417

- Total de docentes disponibles en la facultad de Ciencias Químicas (Tabla 2)

Tabla 2. Número de docentes disponibles por carrera. Fuente: Elaborado por el autor

Carreras de la Facultad de Ciencias Químicas	Número de Docentes
BIOQUIMICA Y FARMACIA	30
INGENIERÍA AMBIENTAL	27
INGENIERÍA INDUSTRIAL	25
INGENIERÍA QUÍMICA	36
Total de Docentes	118

Nota: El número de docentes en la facultad es 93, pero para este estudio se contabiliza los docentes por materia por carrera

- Número de aulas/laboratorios disponibles en la facultad (Tabla 3)

Tabla 3. Espacios físicos disponibles (Aulas, centros de Cómputo y laboratorios. Fuente: Elaborado por el autor

Ubicación de las aulas	Aula	Tipos		Totales
		Centros de Cómputo	Laboratorios	
Balzay			1	1
Facultad	14	2	12	28
Facultad de Ingeniería	1			1
Tecnológico	13	2	7	22
Totales	28	4	20	52

- Total de alumnos matriculados por materia por ciclo y por carrera (Tabla 4)



Tabla 4. Carreras de la facultad con número de alumnos matriculas por materia por ciclo y por carrera periodo Sep20 - Feb21. Fuente: Elaborado por el autor

Carreras de la Facultad de Ciencias Químicas	ALUMNOS MATRICULADOS
BIOQUIMICA Y FARMACIA	3657
INGENIERÍA AMBIENTAL	2614
INGENIERÍA INDUSTRIAL	2205
INGENIERÍA QUÍMICA	2613
Total de alumnos matriculados	11089

- Disponibilidad horaria de aulas/laboratorios (en este caso de estudio la disponibilidad es de catorce horas diarias)
- Capacidad física de aulas (Anexo 1)
- Capacidad física de laboratorios (Anexo 1)

2.2 Planteamiento del Algoritmo Genético

2.2.1 Alcance del modelo

El alcance permite determinar los límites y la aplicabilidad del modelo de optimización de capacidades el cual se ha aplicado en la Facultad de Ciencias Químicas. Así mismo, se ha identificado y establecido parámetros más específicos como:

- Los datos de ingreso del modelo son tomados directamente después de generarse el distributivo correspondiente al periodo académico, es decir el modelo solo trabajara con los datos proporcionados por la facultad
- Carreras utilizadas en el algoritmo: Ingeniería Química, Ingeniería Industrial, Ingeniería Ambiental y Bioquímica y Farmacia.
- Cada una de las materias han sido ubicadas en su respectivo semestre.
- La planificación es semanal (horario semanal).
- La distribución es de lunes a viernes, es decir cinco días a la semana.
- Tiempo disponible en horas. (Por cada día existe un máximo de 14 horas en las que una materia puede ser asignada, de 07h00 hasta 21h00).



- No existe restricciones de asignación entre las 07h00 hasta las 21h00, es decir todas las horas de lunes a viernes están disponibles para su asignación.
- Aulas existentes en la facultad de Ciencias Químicas (Para facilidad en el modelo, las aulas fueron divididas en dos bloques, el primer bloque está dado por las aulas ubicadas en el campus central y el segundo bloque corresponde a las aulas ubicadas en el tecnológico).
- Laboratorios existentes en la facultad de Ciencias Química (Para facilidad en el modelo, los laboratorios fueron divididos en dos bloques, el primer bloque está dado por los laboratorios ubicados en el campus central y el segundo bloque corresponde a los laboratorios ubicados en el tecnológico).
- Disponibilidad horaria del docente. De ser el caso, en el modelo se puede especificar en que horas un docente puede dar clase según su prioridad.
- Se considera la segmentación por grupos, si bien no existe una regla técnica que distribuya equitativamente a un grupo numeroso de estudiantes se plantea por parte del autor esta división por grupos en la programación.
- En la distribución de materias por día por semestre y por carrera se planifica entre cuatro y seis horas de clase al día debido a que no existe una reglamentación en la facultad
- Se propone una tasa de ocupación de las aulas equivalente al 65% con la finalidad de que una materia con un número mínimo de estudiantes no sea asignada a un aula de gran capacidad.

De igual forma, como muestra la Tabla 5 la información obtenida se ordena en conjuntos con sus respectivos rangos, esto con la intención de tener la información ordenada y delimitada.



Tabla 5. Conjunto de datos definidos para el modelo. Fuente: Elaboración propia basada en (Cornejo Reyes, 2018).

Conjuntos	Rangos
Conjunto de Docentes	$i \in E = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_n\}$
Conjunto de Días	$j \in D = \{1, 2, \dots, 5\}$
Conjunto de Materias	$k \in M = \{M_1, M_2, M_3, \dots, M_n\}$
Subconjunto de materias por ciclo, el cual está delimitado por el conjunto de materias a hasta b que conforman un ciclo	$(a, b) \in M_b = \{M_1, M_2, M_3, \dots, M_n\}$
Conjunto de horas de clase	$l \in P = \{1, 2, 3, \dots, 14\}$
Conjunto de semestres de clases	$m \in S = \{1, 2, 3, \dots, 10\}$
Número de créditos de materias	N_k
Conjunto de grupos de semestre	$G = \{1, 2, \dots, n\}$
Conjunto CG que relaciona ciclos con grupos	$CG = \{Ciclo\ 1: Grupo\ 1, Ciclo\ 2$ $\quad : Grupo\ 2, Ciclo\ 3$ $\quad : Grupo\ 3, \dots, Ciclo\ n$ $\quad : Grupo\ n\}$

Para el desarrollo del Algoritmo Genético se utilizó un modelo matemático computacional. En la siguiente tabla se describe el Hardware utilizado:

Tabla 6. Descripción de componentes de Hardware utilizados

Componente	Descripción
Memoria RAM	16 GB
Disco Duro	SSD 512 GB
Procesador	Core i7 8 th Gen
Marca	Huawei MateBook Xpro
Sistema Operativo	Windows 10 Home

2.2.2 Estructura del Algoritmo Genético

El algoritmo genético planteado consiste en un modelo proyectado en cuatro dimensiones en el cual se encuentran en el eje de las “x” el número de días disponibles, en el eje de las “y” el número de espacios disponibles por días, en el eje de las “z” el número de semestres o ciclos y finalmente en el eje “w” las carreras ofertadas.

Cabe destacar que los algoritmos genéticos están compuestos por cromosomas (individuos) y estos a su vez están conformados por genes que pueden tomar una serie de valores. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se aprecia la representación del cromosoma de minimización y de maximización.

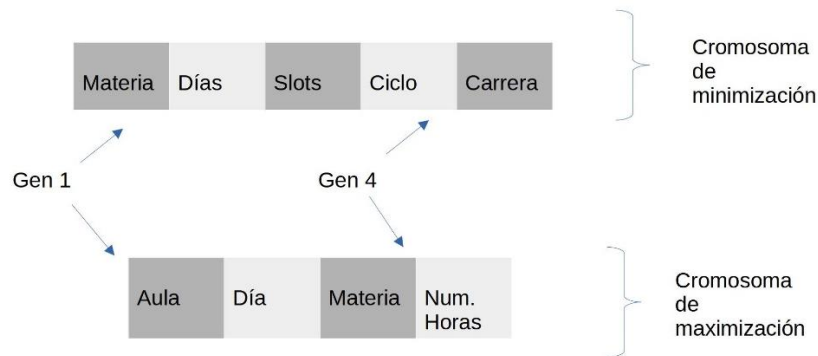


Ilustración 2. Representación de los Cromosomas. Fuente: Elaboración propia basada en (Cornejo Reyes, 2018).

2.3 Definición de Variables

Las variables que intervienen en el modelo de optimización de la capacidad instalada de la Facultad de Ciencias Químicas son:

- Disponibilidad de Docentes
- Materias
- Aulas
- Número de horas disponibles por día (número total de horas en las que se pueden dictar las asignaturas)



- Número de ciclos que tiene cada carrera
- Número de días

En la primera parte del modelo, en la minimización únicamente se relacionan las variables de docentes, materias y número de horas disponibles por día con la finalidad de generar un horario de clases, respetando la mayor cantidad de restricciones.

En la segunda parte del modelo, en la maximización se relaciona el horario obtenido con las aulas, tomando en cuenta las restricciones de maximización, para obtener un mejor uso de las capacidades de las aulas.

2.4 Planteamiento de Restricciones

Una vez obtenida la información necesaria para el planteamiento del problema y definido el alcance del modelo, ha sido necesario analizar las restricciones que van a permitir la funcionalidad del modelo, se enlistan a continuación:

- Asignación máxima de seis horas y un mínimo de cuatro horas de clase por día por semestre por carrera.
- Una misma materia no puede asignarse dos veces en un mismo día.
- Garantizar que una materia no exceda el número de créditos a la semana.
- Un docente no puede impartir la misma asignatura en un solo día (definido por las horas de clase de cada materia).
- Respetar la disponibilidad horaria de los docentes para impartir clases.
- Garantizar que todas las materias ofertadas sean asignadas al horario de clases.
- Evitar cruces de horarios.
- Respetar la capacidad de las aulas con respecto al número de estudiantes.
- Evitar cruces de aulas.
- Garantizar la ocupación mínima de las aulas.



Cabe recalcar que cuando se utiliza los Algoritmos Genéticos, las restricciones demandan una puntuación de penalización, es decir hay restricciones mucho más importantes que otras por tal motivo algunas son de estricto cumplimiento mientras que otras no, por ende, las restricciones más importantes van a tener mayor valor de penalización con la finalidad de que no sean seleccionadas para la continuidad en la optimización. Este valor de penalización, denominado factor de penalización (fp) multiplicado por el total de restricciones cometidas da como resultado un valor fitness, el mismo que está relacionado con la función objetivo o función fitness, este apartado se detalla en el planteamiento de las funciones objetivo.

2.5 Definición de Funciones objetivos

Ahora bien, una vez que se ha descrito a simples rasgos que son los algoritmos genéticos y la estructura que se han de utilizar en el presente problema de optimización, a continuación, se describe primero el algoritmo genético de minimización; su estructura su función fitness y operadores genéticos, para finalmente concluir la metodología con la descripción del algoritmo genético de maximización, en el cual se detalla de igual manera su estructura, su función fitness y operadores genéticos.

2.5.1 Algoritmo genético de minimización

Como muestra la Ilustración 3 el algoritmo de minimización consiste en tres fases:

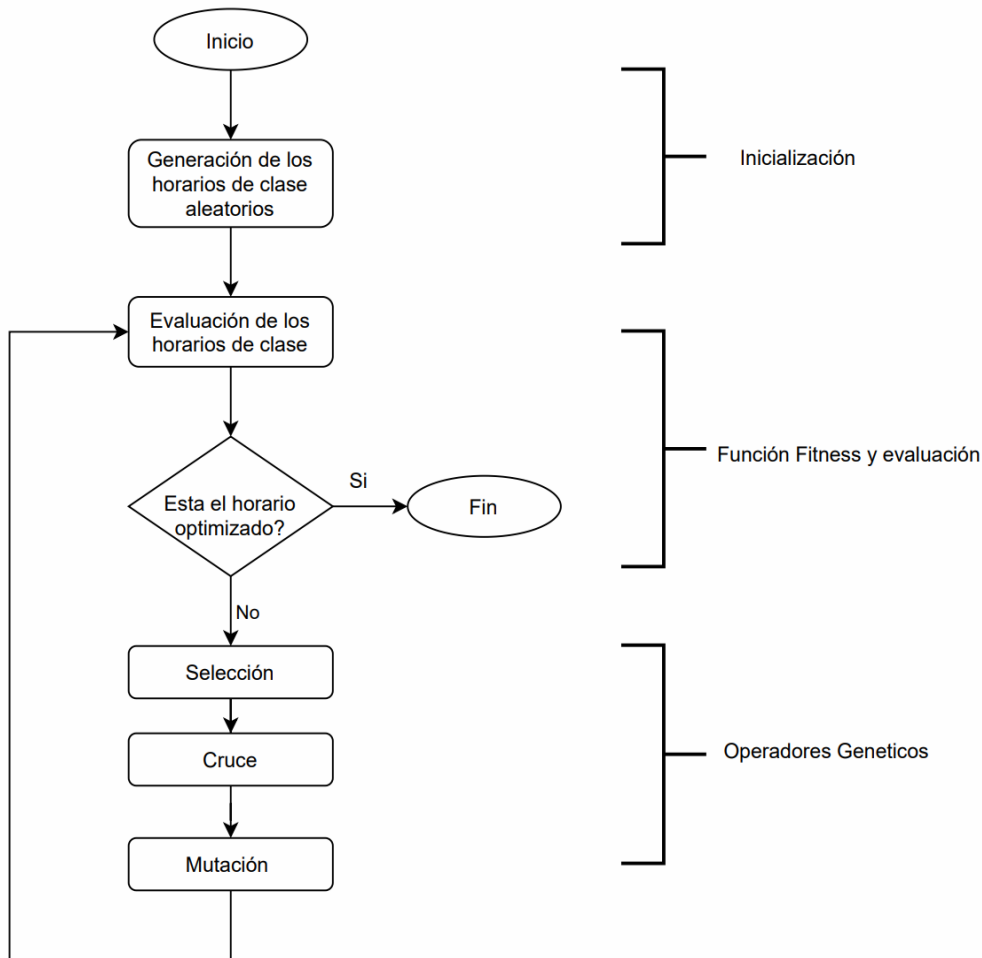


Ilustración 3. Diagrama de flujo del AG. Fuente: Elaboración propia basada en (Cornejo Reyes, 2018).

A. Inicialización del algoritmo genético de minimización

Como se mencionó anteriormente los algoritmos genéticos trabajan con poblaciones de datos extremadamente grandes debido a que son métodos de búsqueda estocástica, es decir los Algoritmos Genéticos buscan a los mejores candidatos de una población que van a formar parte del proceso evolutivo.

Por tal motivo, la primera fase consiste en generar treinta horarios aleatorios con la finalidad de tener una población inicial variada y numerosa, cabe recalcar que esta población inicial si bien respeta restricciones no presenta ninguna optimización y es a partir



de aquí que comienza el proceso de optimización con algoritmos genéticos. Para la generación de la población inicial se utilizó una función randómica la cual permite formar horarios diferentes en cada iteración.

B. Función fitness de minimización y evaluación

Con el fitness de minimización lo que se ha obtenido es un horario de clases con el menor número de restricciones cometidas es decir un horario cuyos individuos no hayan violado las restricciones planteadas, se pretende que el valor fitness deseado sea lo más cercano o igual a cero con lo que cumplirá con el resultado deseado. El cálculo del valor fitness está dada entonces por la sumatoria de las restricciones violadas multiplicado el factor de penalización (fp) que en este caso es igual a cinco. El valor de penalización es aleatorio y depende del ensayo de prueba y error. Cabe mencionar que la fórmula descrita a continuación ha sido planteada por el autor.

La ecuación de la función fitness de minimización está dada por:

$$Fit_{min} = \sum RC \times fp \quad (1)$$

En donde: RC corresponde al total de las restricciones cometidas y fp corresponde al valor del factor de penalización.

C. Operadores Genéticos de minimización

Para llegar a obtener el resultado de la función objetivo de minimización los algoritmos genéticos requieren de operadores genéticos que permitan modificar y evaluar a cada individuo con la finalidad de obtener un valor fitness con tendencia a cero (minimización). Para ello, se han utilizado los tres operadores genéticos planteados e implementados en el siguiente orden.

- Operador de selección

En cuanto a la operación de selección, para este modelo se ha utilizado la selección por torneo, este operador determina que individuos dejarán descendencia y en qué cantidad en la próxima generación. El tamaño de torneo definido es igual a cinco, es decir que el modelo selecciona cinco individuos (horarios de clases) de los treinta horarios iniciales generados aleatoriamente para competir entre ellos. En este punto la selección es elitista es decir seleccionara de preferencia al que mejor valor fitness posea.

- Operador de Cruce

Luego de obtener los cromosomas padre y madre en la operación de selección, estos proceden a cruzarse, es decir, en este paso se obtiene dos cromosomas hijos, en donde cada uno va a tener una parte del material genético de los padres. El operador de cruce utilizado es en dos puntos. Como muestra la Ilustración 4. La probabilidad de cruce es del 70% ($P_c = 0,7$).

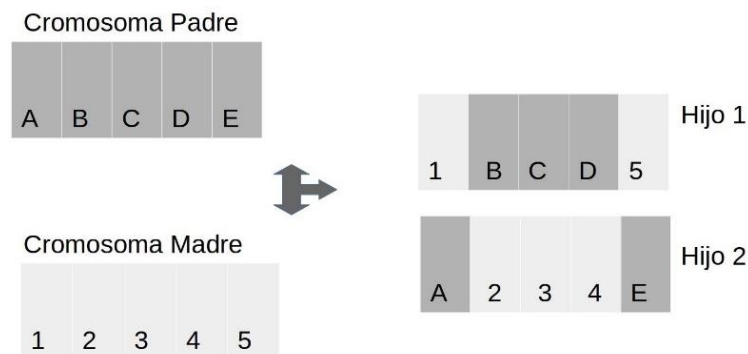


Ilustración 4. Cruce entre dos puntos. Fuente: Elaboración propia basada en (Cornejo Reyes, 2018).

- Operación de mutación

Como detalla la Ilustración 5 la operación de mutación es el paso siguiente al cruce debido a que uno o ambos individuos hijos obtenidos van a ser sometidos a este proceso, esto depende de la probabilidad de mutación que en este caso es del 50% ($P_m = 0,5$). En

este proceso el cromosoma solo va a sufrir cambios aleatorios específicos en un solo gen en particular.

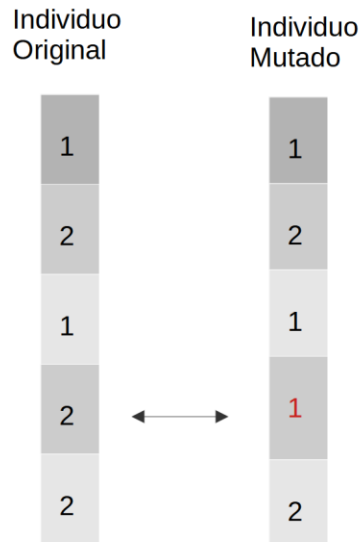


Ilustración 5. Operación de Mutación. Fuente: Elaboración propia basada en (Cornejo Reyes, 2018).

2.5.2 Algoritmo genético de maximización

Una vez obtenidos los horarios de clases óptimos con la función fitness de minimización, lo que prosigue es tomar los resultados (los horarios de clases) para formar un nuevo cromosoma, el cual se encarga de maximizar la tasa de ocupación de las aulas. Las fases definidas son tres: Inicialización, Función Fitness de maximización y operadores genéticos de maximización.

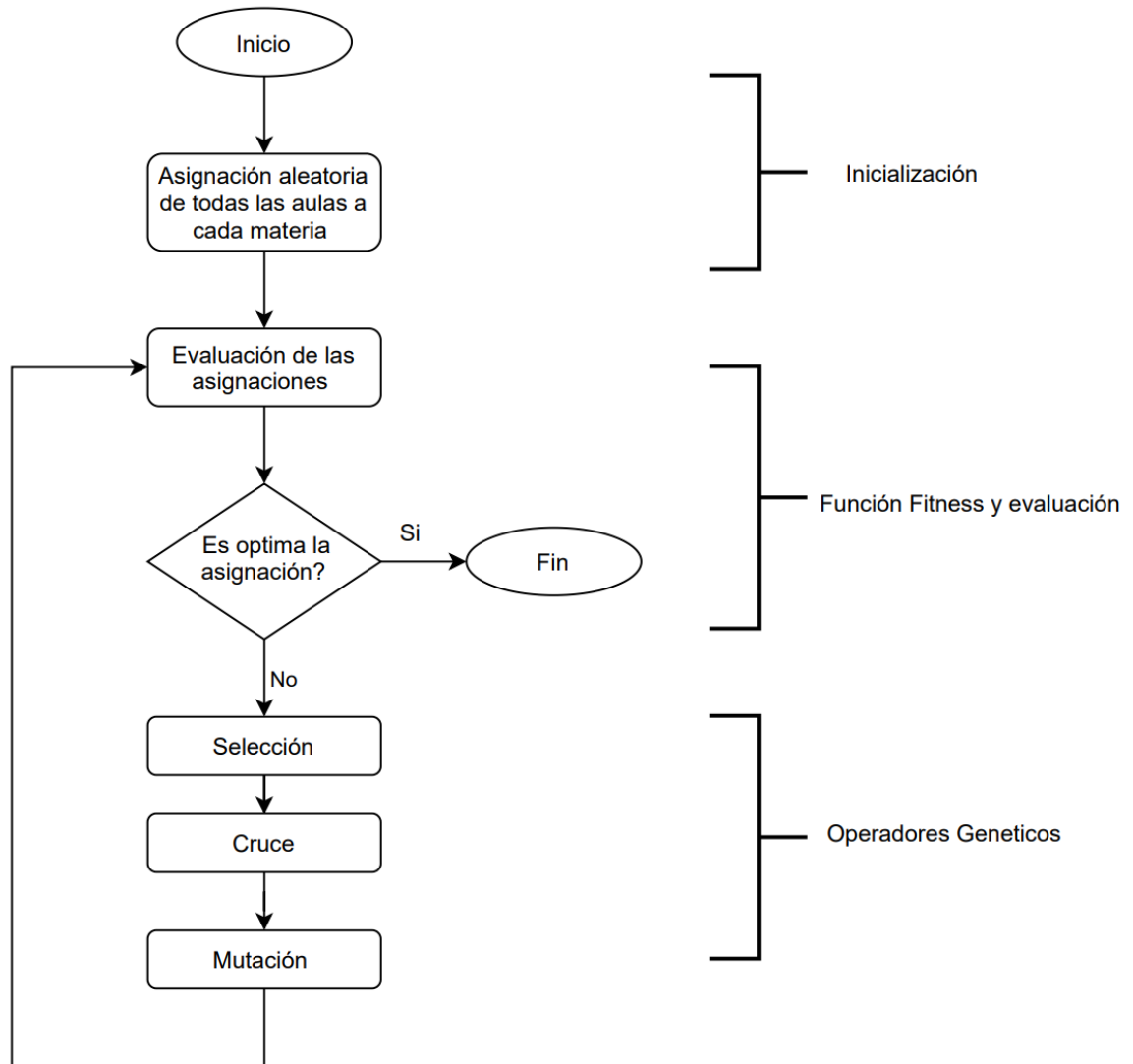


Ilustración 6. Diagrama de flujo del AG. Fuente: Elaboración propia basada en (Cornejo Reyes, 2018).

A. Inicialización del algoritmo genético de maximización

Para el modelo de maximización los datos de entrada corresponden al resultado del paso anterior, es decir, el horario de clases optimizados. Ahora bien, a cada una de las materias se les ha asignado todas las posibles aulas cumpliendo únicamente con las restricciones de capacidad del aula y cruce de aulas.



B. Fitness de maximización

El fitness de maximización se encarga de asignar las materias a las mejores aulas tomando en cuenta su capacidad, la tasa de utilización, la frecuencia de utilización y la tasa de ocupación y mientras más alto es el valor fitness mejor maximización tendrá.

El cálculo del valor fitness está dada entonces por la sumatoria de las restricciones violadas multiplicado el factor de penalización (fp) que en este caso es igual a menos cinco. El valor de penalización es aleatorio y depende del ensayo de prueba y error. Cabe mencionar que las fórmulas descritas a continuación han sido planteadas por el autor.

La ecuación de la función fitness de maximización está dada por:

$$Fit_{max} = \sum RC \times fp \quad (2)$$

En donde: RC corresponde al total de las restricciones cometidas y fp corresponde al valor del factor de penalización.

Es importante considerar que, las medidas de la tasa de utilización del espacio se utilizan para calcular la función de aptitud del problema estudiado en este ensayo. Siendo la función fitness de maximización, la tasa de utilización del espacio, que sirve para medir la eficiencia en el uso de un determinado espacio en relación con su capacidad y disponibilidad. Cabe mencionar que las fórmulas descritas a continuación han sido planteadas por el autor en base a los objetivos.

$$\begin{aligned} \text{Tasa de utilización por aula} \\ = \text{frecuencia de utilización} \times \text{tasa de ocupación} \end{aligned} \quad (3)$$

Donde, la frecuencia de utilización mide la frecuencia con la que se usa una habitación en relación con el número total de horas durante las cuales está disponible. La frecuencia de utilización está determinada por:



Frecuencia de utilización

$$= \frac{\text{Numero total de horas utilizadas}}{\text{Numero total de horas disponibles}} \quad (4)$$

Y las tasas de ocupación miden el grado en que una habitación está completamente ocupada en relación con su capacidad total. La tasa de ocupación se determina de la siguiente manera:

Tasa de ocupación

$$= \frac{\text{Numero de espacios ocupados}}{\text{Capacidad total del aula}} \quad (5)$$

Para el caso de estudio, se ha enfatizado en determinar aquellas aulas que cuenten con al menos 65% (este porcentaje se determinó debido a que existen materias con un grupo pequeño de matriculados y no existen aulas lo suficientemente pequeñas para aprovechar al máximo la capacidad instalada) en la asignación total de sus espacios. Así mismo, teniendo en cuenta que pueden existir varias soluciones con valores fitness similares, pero una puede ser mejor que otra, se ha visto la necesidad de ponderar aspectos de relevancia que pueden presentarse durante la ejecución del AG y posteriormente al finalizar el algoritmo. Dicho esto, se definió que la función fitness no solo hace referencia a lo obtenido en la tasa de utilización por aula, sino que además estará fuertemente ligada a los siguientes factores de interés:

- Número de aulas con la mejor tasa de ocupación.
- Número de aulas con las mejores frecuencias de utilización.

C. Operadores Genéticos de maximización

Para llegar a obtener el resultado de la función objetivo de maximización los algoritmos genéticos requieren de igual forma que en la minimización, de operadores genéticos que permitan modificar y evaluar a cada individuo con la finalidad de obtener un valor fitness cercano a cero (maximización) partiendo de valores negativos. Para ello se



han utilizado los tres operadores genéticos planteados e implementados en el siguiente orden.

- **Operador de selección**

En cuanto a la operación de selección se trate, para este modelo se ha utilizado la selección por torneo, este operador determina que individuos dejaran descendencia y en qué cantidad en la próxima generación. El tamaño de torneo definido es igual a cinco, es decir que el modelo selecciona cinco individuos para competir entre ellos y se selecciona al que mejor valor de función de ajuste posea.

- **Operador de Cruce**

Como muestra la Ilustración 4, luego de obtener los cromosomas padre y madre en la operación de selección, estos proceden a cruzarse, es decir, en este paso se obtiene dos cromosomas hijos, en donde cada uno va a tener una parte del material genético de los padres. El operador de cruce utilizado es en dos puntos. La probabilidad de cruce es del 70% ($P_c=0,7$).

- **Operación de mutación**

La operación de mutación es el paso siguiente al cruce debido a que uno o ambos individuos hijos obtenidos van a ser sometidos a este proceso, esto depende de la probabilidad de mutación que en este caso es del 50% ($P_m = 0,5$). En este proceso el cromosoma solo va a sufrir cambios aleatorios específicos en un solo gen en particular. Tal como muestra la Ilustración 5.

Tanto en el fitness de minimización como de maximización, los operadores genéticos en combinación permiten evolucionar al modelo partiendo de la población inicial, cada iteración se va ajustando de modo que los individuos cumplan con las restricciones planteadas.



Al ser un modelo evolutivo, iteración tras iteración se va ajustando con la finalidad de descartar a los individuos menos óptimos (los que incumplen con las restricciones) hasta lograr obtener una población con los individuos más óptimos, es decir, los que cumplen con las restricciones propuesta del modelo que pueden haberse cumplido en totalidad o no

2.6 Pseudocódigo y Programación del AG

El pseudocódigo es una forma de expresar los distintos pasos que va a realizar un programa, de la forma más parecida a un lenguaje de programación. Su principal función es la de representar por pasos la solución a un programa o algoritmo, es por eso que para llegar a obtener el Algoritmo Genético del modelo de optimización de la capacidad instalada de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se trabajó en el siguiente pseudocódigo que posterior fue codificado en el lenguaje de programación Python por ser el más ideal para trabajar con AG, debido a su amplia librería (framework) y herramientas (toolbox) que ofrece.



A continuación, se presenta el pseudocódigo generado por el autor:

BEGIN

Generar base de datos en Excel

Generar población inicial de manera randómica (aleatoria)

WHILE generaciones < 300 OR fitness < 100 **DO**:

Seleccionar individuos de la población mediante método de torneo

Cruzar los individuos seleccionados con probabilidad P_c para generar los descendientes

Mutar los descendientes generados con probabilidad P_m

Evaluar los descendientes

Insertar los descendientes a la población

END WHILE

Seleccionar mejor individuo

Generar población inicial mediante permutación de aulas con asignaturas del horario de clases

WHILE fitness! = 0 **DO**:

Seleccionar individuos de la población mediante método de torneo

Cruzar los individuos seleccionados con probabilidad P_c para generar los descendientes

Mutar los descendientes generados con probabilidad P_m

Evaluar los descendientes

Insertar los descendientes a la población

END WHILE

Seleccionar mejor individuo

Imprimir horario con aulas asignadas

END



3 Resultados y Discusiones

Una vez finalizado el Algoritmo Genético del Modelo de optimización de la capacidad instalada de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, y luego de haber ejecutado 300 iteraciones, estas fueron entregando información importante que ha sido de utilidad para llegar al modelo propuesto. En la Ilustración 7 y en la Ilustración 12 se puede visualizar las curvas de convergencia del algoritmo. Así mismo en el apartado de anexos, desde el anexo 2 en adelante se puede apreciar los resultados de Python en su lenguaje de programación.

3.1 Resultados modelo de minimización

En la parte de minimización en donde se obtuvieron los horarios de clases, se logró una optimización muy particular para este caso de estudio, debido a que el Algoritmo Genético no alcanzó a respetar una de las restricciones planteadas que corresponde al máximo número de horas por día de clases. Esta restricción no se cumplió directamente porque la segmentación por grupos como se mencionó en el alcance fue propuesta por el autor mediante prueba y error. Otra de las causas de obtener esa peculiar grafica es por la limitada información y al formato en el cual la Facultad maneja los datos. Información como: horarios disponibles por los docentes para impartir clases, horarios en las cuales las materias pueden ser asignadas, número mínimo y máximo de horas de clase por día, horas mínimas y máximas de horas de clase por día por semestre por carrera, entre otras.

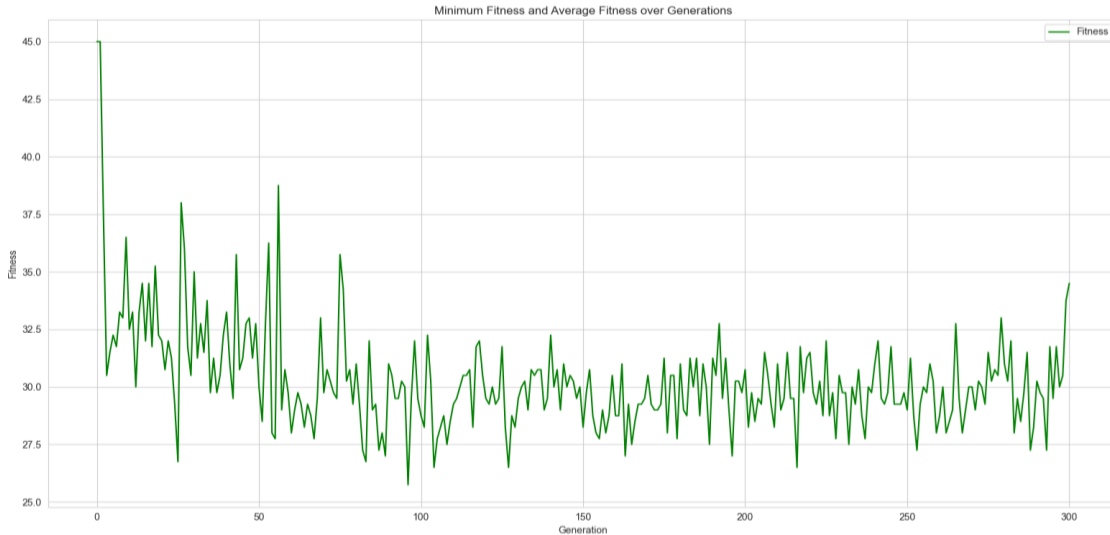


Ilustración 7. Convergencia del Algoritmo Genético luego de ejecutar 300 iteraciones. Fuente: Elaborado por el autor.

La forma de la curva de convergencia es particular para este caso, pues al no contar con datos reales, el algoritmo encuentra dificultades para terminar de resolver todas las restricciones. Sin embargo, si tomamos como referencia el valor inicial de 45, se puede visualizar gráficamente como el algoritmo evolucionó y resolvió las restricciones hasta llegar al valor de 25 como muestra la Ilustración 7. La salida del Algoritmo en la Ilustración 8, brinda mayor información para entender el comportamiento del AG.

```
Violaciones de asignatura con número mayor de créditos = 0
Violaciones de docentes dando dos o más sesiones de clases a la misma hora = 0
Violaciones de máximo número de horas por día = 5
Violaciones de asignaturas no ingresadas en los horarios determinados = 0
-- Valor Fitness = 25.0
```

Ilustración 8. Salida en consola de los valores obtenidos para cada una de las restricciones. Fuente: Elaborado por el autor

A continuación, como muestra la Ilustración 9 se puede evidenciar un fragmento de la salida en consola que proporciona el Algoritmo Genético de minimización, este fragmento corresponde al horario de primer ciclo que se ha generado en forma matricial para un día de la semana de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad de Cuenca.



La representación está dispuesta en filas, columnas y los elementos. Cada fila representa una hora del día, las columnas representan los ciclos de la carrera, y finalmente cada elemento es una asignatura que está correctamente emplazada en su respectivo ciclo. El número “uno” que se puede visualizar en la esquina superior izquierda de la Ilustración 9 es el día de la semana que corresponde al día martes.

La matriz ha sido programada respetando el código de Python por lo tanto en un inicio, antes de obtener un resultado toda la matriz ha sido seteada por default con -1 en cada ubicación y a medida que ha generado resultados, estos -1 fueron reemplazados por números de entre 1 y 417 que corresponden al total de materias ofertadas en la Facultad de Ciencias Químicas. (Ver Ilustración 9).

```
1 : [[24. 60. -1. -1. 28. -1. -1. -1. -1. -1.]
 [ 8. 60. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1.]
 [ 8. -1. -1. -1. 36. 40. 80. -1. -1. -1.]
 [17. -1. -1. -1. 33. 40. 80. -1. -1. -1.]
 [17. -1. -1. -1. 33. -1. -1. -1. -1. -1.]
 [ 9. 57. -1. -1. 37. -1. -1. -1. -1. -1.]
 [ 6. -1. -1. -1. -1. 50. -1. 62. -1. -1.]
 [10. -1. -1. -1. 38. 50. -1. 62. -1. -1.]
 [-1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1.]
 [-1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. 67. -1. -1.]
 [-1. 59. -1. -1. -1. -1. -1. 67. -1. -1.]
 [ 7. 59. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1.]
 [ 7. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1.]
 [-1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1. -1.]
```

Ilustración 9. Representación matricial de un fragmento del horario generado por el Algoritmo Genético en Python. Fuente: Elaborado por el autor.

Este proceso se ha replicado para todas las carreras de la Facultad de Ciencias Químicas. A continuación, en la Ilustración 10, se muestra una representación que permite distinguir las asignaturas claramente asignadas a una hora del día y a un día de la semana, el horario corresponde al sexto ciclo de la carrera de Ingeniería Industrial, de igual manera se muestra en la Ilustración 11 el horario de clases de séptimo ciclo de la misma carrera.



Horario de Clases Ingeniería Industrial - Sexto Ciclo															
	Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			Viernes		
	Aula	Porcentaje		Aula	Porcentaje		Aula	Porcentaje		Aula	Porcentaje		Aula	Porcentaje	
0 07h00 - 08h00	INVESTIGACION OPERATIVA	CT103	87 %	DESARROLLO DE EMPRENDEDORES (CRÉDITOS)	CT01	83 %									
1 08h00 - 09h00	INVESTIGACION OPERATIVA	CT103	87 %	DESARROLLO DE EMPRENDEDORES (CRÉDITOS)	CT01	83 %	INVESTIGACION OPERATIVA	CT103	87 %						
2 09h00 - 10h00							INVESTIGACION OPERATIVA	CT103	87 %				INVESTIGACION OPERATIVA	CT103	87 %
3 10h00 - 11h00	PSICOLOGIA INDUSTRIAL	CT04	100 %										INVESTIGACION OPERATIVA	CT103	87 %
4 11h00 - 12h00	PSICOLOGIA INDUSTRIAL	CT04	100 %										PSICOLOGIA INDUSTRIAL	CT01	92 %
5 12h00 - 13h00															
6 13h00 - 14h00															
7 14h00 - 15h00				LEGISLACION INDUSTRIAL	CT04	77 %	PLANEACION ESTRATEGICA	CT05	96 %	PSICOLOGIA INDUSTRIAL	CT04	100 %	LEGISLACION INDUSTRIAL	CT01	71 %
8 15h00 - 16h00	LEGISLACION INDUSTRIAL	CT04	77 %	LEGISLACION INDUSTRIAL	CT04	77 %							LEGISLACION INDUSTRIAL	CT01	71 %
9 16h00 - 17h00	INVESTIGACION Y DESARROLLO	CT06	100 %							INVESTIGACION Y DESARROLLO	CT06	100 %			
10 17h00 - 18h00	INVESTIGACION Y DESARROLLO	CT06	100 %							INVESTIGACION Y DESARROLLO	CT06	100 %			
11 18h00 - 19h00	MAQUINAS Y HERRAMIENTAS	AT11	91 %							MAQUINAS Y HERRAMIENTAS	AT11	91 %			
12 19h00 - 20h00	MAQUINAS Y HERRAMIENTAS	AT11	91 %				MAQUINAS Y HERRAMIENTAS	AT11	91 %	MAQUINAS Y HERRAMIENTAS	AT11	91 %	PLANEACION ESTRATEGICA	CT05	96 %
13 20h00 - 21h00	PLANEACION ESTRATEGICA	CT05	96 %				MAQUINAS Y HERRAMIENTAS	AT11	91 %				PLANEACION ESTRATEGICA	CT05	96 %

Ilustración 10. Horario de clases de sexto ciclo de la carrera de Ingeniería Industrial. Fuente: Elaborado por el autor.

13 15h00 - 17h00							YDWB BPCBZDZD HPHWYDZ	C103	88 #	BEZLWJW EWEKREJCY	C103	87 #	BEZLWJW EWEKREJCY	C103	87 #
14 17h00 - 19h00				YDWB BPCBZDZD HPHWYDZ	V111	81 #	YDWB BPCBZDZD HPHWYDZ	C103	88 #	BEZLWJW EWEKREJCY	C103	87 #	BEZLWJW EWEKREJCY	C103	87 #
15 17h00 - 19h00				YDWB BPCBZDZD HPHWYDZ	V111	81 #									
16 17h00 - 19h00				LECMOTQDZD DEF WEDIO YWBEKLE	C1101	100 #	LECMOTQDZD DEF WEDIO YWBEKLE	C1101	100 #				LECMOTQDZD DEF WEDIO YWBEKLE	C1101	100 #
17 17h00 - 19h00	MECEMERY ECONOMVY	C101	85 #	LECMOTQDZD DEF WEDIO YWBEKLE	C1101	100 #	LECMOTQDZD DEF WEDIO YWBEKLE	C1101	100 #				MECEMERY ECONOMVY	C101	88 #
18 17h00 - 19h00													MECEMERY ECONOMVY	C101	88 #
19 17h00 - 19h00	MEKCYDCEJCYM	V111	81 #							MECEMERY DE BPOCEZDZ	C1101	81 #			
20 17h00 - 19h00	MEKCYDCEJCYM	V111	81 #							MECEMERY DE BPOCEZDZ	C1101	81 #			
21 17h00 - 19h00	MEKCYDCEJCYM	V111	81 #	MEKCYDCEJCYM	V111	81 #	MECEMERY DE BPOCEZDZ	C1101	81 #	MECEMERY DE BPOCEZDZ	C1101	81 #			
22 17h00 - 19h00	MECEMERY DE BPOCEZDZ	C1101	81 #	MEKCYDCEJCYM	V111	81 #	MECEMERY DE BPOCEZDZ	C1101	81 #						
23 17h00 - 19h00	MECEMERY DE BPOCEZDZ	C1101	81 #												
24 08h00 - 10h00							EOPBPO WDPDZLZBZDZ	C103	83 #						
25 08h00 - 10h00				EOPBPO WDPDZLZBZDZ	C1101	100 #	EOPBPO WDPDZLZBZDZ	C103	83 #						
26 03h00 - 08h00				EOPBPO WDPDZLZBZDZ	C1101	100 #									

Ilustración 11. Horario de clases de séptimo ciclo de la carrera de Ingeniería Industrial. Fuente: Elaborado por el autor.

3.2 Resultados modelo de maximización

Una vez obtenido el mejor resultado del modelo de minimización, este sirvió como entrada (input) del modelo de maximización. Con esto lo que se pretende indicar es que, a partir del mejor horario obtenido, se procede a asignar las aulas respectivas según el día, la hora, la capacidad del aula frente a los estudiantes matriculados para la asignatura y el tipo de asignatura, pudiendo esta última ser: aula, laboratorio o centro de cómputo. Para este experimento partimos de 300 iteraciones, las cuales fueron validando las asignaciones aleatorias generadas por el sistema, en donde básicamente todas las asignaturas se cruzaron con todas las aulas, siendo este el punto de partida de nuestro Algoritmo Genético y sobre el cual, iteración a iteración evolucionan. En la Ilustración 12 se puede visualizar la curva de convergencia para este modelo; además en esta figura se puede comparar los valores mínimos obtenidos iteración tras iteración, así como el promedio de valores obtenidos de la población.

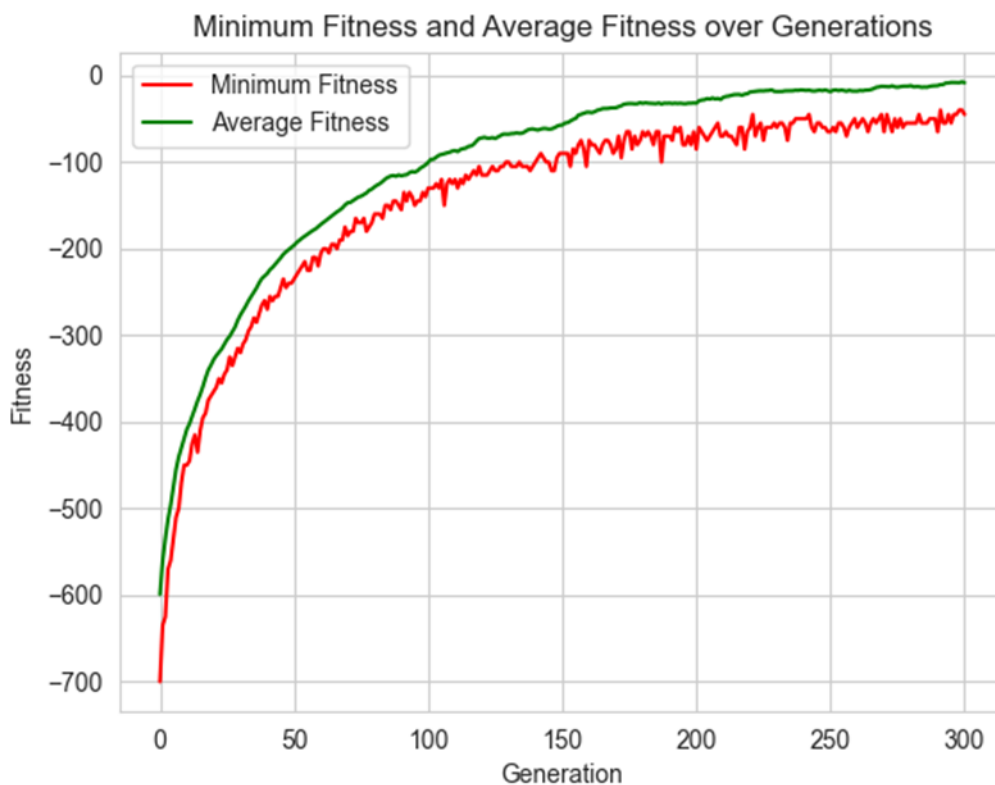


Ilustración 12. Curva de convergencia del Algoritmo de maximización luego de ejecutarse 300 iteraciones. Fuente: Elaborado por el autor.

En el caso de la forma de esta gráfica, es evidente que, dadas las restricciones tanto en calidad como en cantidad, y la naturaleza de este planteamiento, nos permite visualizar una curva de convergencia mucho más suavizada y siempre tendiendo a cero como cercano a lo óptimo.

Para complementar el entendimiento y el análisis presentado, se muestran en la Ilustración 13, las salidas brindadas por el sistema que validan los datos obtenidos en la gráfica.

```
Violaciones de tipo de aula = 0  
Violaciones de aulas utilizadas con número mayor de estudiantes = 0  
-- Valor Fitness = 0
```

Ilustración 13. Salida en consola de los resultados obtenidos por el Algoritmo Genético luego de ejecutar 300 iteraciones. Fuente: Elaborado por el autor.

Por último, observaremos en la Ilustración 10 y en la Ilustración 11, el resultado de la asignación de aulas a las materias, según su capacidad y tipo de aula, este proceso fue realizado por el algoritmo de maximización. Las aulas han sido asignadas sobre un horario obtenido de la fase de minimización. Se adjunta además de las aulas asignadas, la capacidad del aula, el número de estudiantes matriculados para la asignatura y el porcentaje de ocupación del aula.



4 Conclusiones

La presente investigación permitió generar un modelo de optimización de la capacidad instalada de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca personalizado únicamente para las condiciones de la facultad antes mencionada. El cual, tiene como base para su funcionamiento, la teoría evolutiva Darwiniana, la misma que permite definir modelos con alta complejidad de información en relación a modelos deterministas.

Cuando se aplicó el modelo de optimización basado en Algoritmos Genéticos todas las variables y funciones objetivos se modelaron matemáticamente con la finalidad de ejemplificar la estructura de los AG, pero para llegar a ello fue necesario tener conocimientos avanzados en programación con la finalidad de reducir el número de iteraciones para lograr evolucionar más rápido al algoritmo.

Para llegar a conseguir una optimización verdadera de la capacidad de la Facultad se emplearon las variables que afectaron directa e indirectamente al modelo, así mismo se defino con claridad la función objetivo de minimización y de maximización, las que permitieron describir y entender el comportamiento evolutivo del algoritmo genético propuesto.

Cuando se programó los AG se pudo evidenciar que el valor de los operadores genéticos es probabilístico por ende dependen del ensayo de prueba y error. Por tal motivo todos los valores de los operadores genéticos fueron definidos por el autor.

Con respecto a la capacidad instalada actual de la Facultad de Ciencias Químicas. Esta es determinada por un horario planificado de forma manual. Esto implica que muchas de las restricciones y optimizaciones no sean integradas en los horarios de clases. Por ello, el beneficio que brinda el modelo es obtener horarios de clases que consideren la capacidad instala como prioridad en las asignaciones respectivas, es decir, asegura horarios que convergen y llegan a la optimización. Cabe mencionar que se debe tener establecidos ciertos parámetros por parte de la Facultad con la finalidad de que cuando se modele



matemáticamente los AG estos valores sean reales y así llegar a obtener mejores resultados.

En el apartado de minimización se logró conseguir un horario de clases optimizado en el cual respeta el mayor número de restricciones planteadas, pero la curva de convergencia no fue la esperada debido a los excesivos grupos y subgrupos que se tiene en ciertas materias, las cuales influyeron directamente en la optimización

En cuanto a la parte de maximización en donde se asignaron las aulas a las materias, se obtuvo una optimización completa debido a que la información fue clara y precisa. Es por eso que en apartado de resultados se puede apreciar una curva de convergencia ideal. Si bien las restricciones no son fuertes o de gran complejidad como en la minimización, éstas están bien establecidas.

Finalmente, el modelo de optimización basado en AG propone una alternativa a la hora de generar horarios para las cuatro carreras de la facultad de ciencias Químicas ya que ahorran tiempo y recursos a la hora de ser planificados. Y lo más importante garantiza que todas las materias ofertadas en el periodo académico se asignen en dicho horario generado, así mismo asegura que no exista un cruce de horarios es decir que dos o más materias no se dicten en un mismo día a una misma hora. Por otro lado, el modelo funciona con un porcentaje de ocupación de las aulas de un mínimo de 65%. Porcentaje definido por el número de matriculados por materia, esto quiere decir que en los semestres finales se tiene un menor número de estudiantes en comparación con los semestres iniciales, por lo tanto, el modelo busca aulas que se ajusten al número de matriculados.

Así mismo, cabe mencionar que el porcentaje de ocupación de las aulas, pone a discusión que al mejorar el porcentaje de optimización es decir que alcance un 70 u 80 %, implicaría invertir en infraestructuras (aulas pequeñas) que puedan asignar a grupos minúsculos de matriculados. Por otro lado, de no invertir en dicha infraestructura, resultaría factible emprender nuevas metas en la universidad que busquen reducir la brecha entre estudiantes que ingresan por primera vez a la universidad y estudiantes que egresan de cada carrera de la Facultad de Ciencias Químicas. De esta forma, se tendría aulas con un porcentaje de ocupación eficiente.



5 Futuras Investigaciones

Para futuras investigaciones se ha dejado planteado este modelo como un inicio en la optimización de operaciones, asignación de recursos, aprovechamiento del talento humano, entre otros. Así mismo este modelo sirve como base para la creación de un software más amigable con el usuario en el ingreso de datos y en la interpretación de los resultados. Cabe destacar que, para obtener un modelo mucho más optimizado hace falta tener definido por parte de la universidad cierta información necesaria como se mencionó anteriormente para que el modelo de optimización tenga una aproximación mucho más cercana a la realidad.



6 Referencia

- Arias Manosalva, A. B., & Pesantez Jara, L. F. (2011). *Propuesta de modelo de gestión para las ONG (Organizaciones No Gubernamentales) sin fines de lucro, enfocado en el ámbito del desarrollo, educación y servicio social, en la provincia del Azuay*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1038>
- Barrero Barros, S. E., & López Villavicencio, L. A. (2013). *Algoritmo para gestión de horarios de la Facultad de Ingeniería de la universidad de Cuenca* [BachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4538>
- Brito-Vallina, M. L., Alemán-Romero, I., Fraga-Guerra, E., Para-García, J. L., & Arias-de Tapia, R. I. (2011). Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros. *Ingeniería Mecánica*, 14(2), 129-139.
- Cáceres-Ruiz Díaz, M. (2019). [Http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1812-95282019000200044&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1812-95282019000200044&lng=en&nrm=iso&tlng=es). *Memorias del Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud*, 17(2), 44-55. <https://doi.org/10.18004/mem.iics/1812-9528/2019.017.02.44-055>
- Condor Bermeo, V. (2017). NUEVAS TENDENCIAS DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR.: LA TRANSFORMACIÓN DE LA UNIVERSIDAD ECUATORIANA. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(3), 139-144.
- Cornejo Reyes, P. J. (2018). *Diseño e implementación de un algoritmo matemático basado en optimización para la generación de horarios de clases en la*



Universidad Politécnica Salesiana [MasterThesis, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16121>

Cornejo-Reyes, J., & Robles-Bykbaev, V. (2018). *Diseño e implementación de un algoritmo matemático basado en optimización para la generación de horarios de clases en la Universidad Politécnica Salesiana*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22200.39684>

El Universo. (2020, mayo 2). Universidad de Cuenca reclama por reducción de presupuesto. *El Universo*. <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/05/02/nota/7829637/universidad-cuenca-anuncia-despido-400-docentes-luego-reduccion>

Eugenia, D.-C. E., Carlos, D.-R., Alberto, B.-M. L., & Beatriz, P.-G. (2015). Desarrollo de un modelo matemático para procesos multivariados mediante Balanced Six Sigma. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(3), 419-430. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.003>

Forrest, S. (1996). Genetic algorithms. *Encuestas de computación de ACM*, 28(1), 77-80. <https://doi.org/10.1145/234313.234350>

Franco Baquero, J. F., Toro Ocampo, E. M., & Gallego Rendón, R. A. (2008). Problema de asignación óptima de salones resuelto con Búsqueda Tabú. *Ingeniería y Desarrollo*, 24, 149-175.

Gil González, C. A., Manyoma Velásquez, P. C., & Orejuela Cabrera, J. P. (2016). Modelo de simulación-optimización para determinar la capacidad instalada de un sistema de servicios educativo. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 141-155.



- Ginnobili, S. (2010). La teoría de la selección natural darwiniana. *THEORIA. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, 25(1), 37-58.
- Hernández Domínguez, J. L. (2010). *Algoritmo genético multi-objetivo para el descubrimiento de secuencias reguladoras* [Tesis de maestría, INAOE]. <http://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1009/511>
- López Calvajar, G. A., Castro Perdomo, N. A., & Guerra, O. (2017). *DEL PLAN DE PRODUCCIÓN. ESTUDIO DE CASO CARPINTERÍA DE ALUMINIO*. 9.
- Maldonado, C. E. (2013). Un problema fundamental en la investigación: Los problemas P vs. NP. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 4(2), 10-20.
- Martínez, C. de la F. (2017). Matematización. *Uno: Revista de didáctica de las matemáticas*, 78, 75-76.
- Martínez, I., López, F., Vertiz, G., & Jiménez. (2014). *Investigación de Operaciones: Serie Universitaria Patria*. Grupo Editorial Patria.
- Martínez Miguélez, M. (2003). Naturaleza y aplicabilidad de los modelos matemáticos. *Cuadernos del Cendes*, 20(52), 177-190.
- Martínez Vicente, J. M., & Valls Fernández, F. (2008). Aplicación De La Teoría De Holland a La Clasificación De Ocupaciones. Adaptación Del Inventario De Clasificación De Ocupaciones (ico). *Revista Mexicana de Psicología*, 25(1), 151-164.
- Moreno-Reséndez, A., Aguilar-Durón, J., Moreno-Reséndez, A., & Aguilar-Durón, J. (2013). Retos de la universidad pública frente a la necesidad de financiamiento para el desarrollo de sus actividades. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 243-255.



Peña Ariza, L. V., Felizzola Jimenez, H. A., Peña Ariza, L. V., & Felizzola Jimenez, H. A. (2020). Optimización de la capacidad de producción en una empresa de alimentos usando simulación de eventos discretos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 277-292. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200277>

Plaza Gálvez, L. F. (2016). Modelación matemática en ingeniería. *IE Revista de investigación educativa de la REDIECH*, 7(13), 47-57.

Ramírez, A. E. N. (1996). Aplicación de algunos modelos matemáticos a la toma de decisiones. *Política y Cultura*, 6, 183-198.

Robert, K., Saibel, R., & Ángel, D. (2012). Formulación de un modelo matemático para optimizar el tiempo de producción en una planta extrusoras de tubos. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 16(62), 33-41.

Smink, V. (2017, mayo 18). Por qué se ha duplicado el número de jóvenes que van a la universidad en América Latina (y cuál es el lado negativo de este fenómeno). *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-39970406>

Solano Sabatier, Y., Calvo Marín, M., & Trejos Picado, L. (2008). Implementación De Un Algoritmo Genético Para La Asignación De Aulas En Un Centro De Estudio. *Uniciencia*, 22(1-2), 115-121.

Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones*. Pearson Educación.

TIEMPO. (2017, febrero 16). *Universidad de Cuenca gana premio como Mejor Proyecto Innovador del Año*. EL TIEMPO. <http://tinyurl.com/yytetlvc>

Vásquez, N., Sánchez, M., & Henao, E. (2014). *Estudio de Capacidad Instalada*. 63.

Yepes Piqueras, V. (2013). *MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN*. 52.

7 Anexos

Ubicación de los espacios físicos	Espacios físicos	Capacidad por espacio físico (número de sillas)
Balzay Facultad	LABORATORIO CERÁMICA BALZAY	20
	203	36
	208	37
	209	52
	210	40
	C1 103	35
	C1 104	35
	C1 122	52
	C1 202	53
	C1 205	50
	C1 206	57
	C1 207	37
	C1 211	53
	CENTRO DE CÓMPUTO	55
	LABORATORIO DE AMBIENTAL	20
	LABORATORIO DE ANÁLISIS BIOLÓGICO	25
	LABORATORIO DE ANÁLISIS CUALITATIVO	40
	LABORATORIO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO	20
	LABORATORIO DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL	25
	LABORATORIO DE ANÁLISIS ORGÁNICO	18
	LABORATORIO DE CATÁLISIS	15
	LABORATORIO DE FARMACOGNOSIA	15
	LABORATORIO DE MICROSCOPIA	18
	LABORATORIO DE QUÍMICA INORGÁNICA	25
	LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA	18
	LABORATORIO MICROBIOLOGÍA	25
	SALA DEL CONSEJO DIRECTIVO	15
TECNOLOGÍA FARMACEUTICA	20	
Facultad de Ingeniería Tecnológico	GABINETE DE FÍSICA	25
	AT11	32
	CENTRO DE CÓMPUTO 1	37
	CENTRO DE CÓMPUTO 2	23
	CT01	24



CT02	38
CT03	35
CT04	22
CT05	28
CT06	26
CT07	25
CT08	47
CT101	34
CT102	56
CT103	46
GABINETE DE GEOLOGÍA	10
LAB. INST. Y CONTROL	20
LABORATORIO DE BROMATOLÓGICO	20
LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA	20
LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS	20
LABORATORIO DE QUÍMICA	14
LABORATORIO DE QUÍMICA DE SUELOS	15
LABORATORIO MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS	20
Totales	1548

Anexo 1. Capacidad de Aulas, laboratorios y centros de cómputos



1 249 PRÁCTICAS CÁLCULO DIFERENCIAL G1_SUBG2 20 Aula 22 90.9090909090909 CT04 1 Lunes
2 249 PRÁCTICAS CÁLCULO DIFERENCIAL G1_SUBG2 20 Aula 22 90.9090909090909 CT04 1 Lunes
3 234 QUÍMICA GENERAL G2 38 Aula 38 100.0 CT02 1 Lunes
4 250 CÁLCULO DIFERENCIAL G2 40 Aula 46 86.95652173913044 CT103 1 Lunes
5 230 PRÁCTICAS ÁLGEBRA LINEAL G2_SUBG2 21 Aula 22 95.45454545454545 CT04 1 Lunes
9 239 PRÁCTICAS FÍSICA I G1_SUBG2 21 Aula 22 95.45454545454545 CT04 1 Lunes
10 239 PRÁCTICAS FÍSICA I G1_SUBG2 21 Aula 22 95.45454545454545 CT04 1 Lunes
11 240 FÍSICA I G2 35 Aula 35 100.0 CT03 1 Lunes
12 240 FÍSICA I G2 35 Aula 35 100.0 CT03 1 Lunes
0 281 INVESTIGACION OPERATIVA 40 Aula 46 86.95652173913044 CT103 6 Lunes
1 281 INVESTIGACION OPERATIVA 40 Aula 46 86.95652173913044 CT103 6 Lunes
3 282 PSICOLOGIA INDUSTRIAL 22 Aula 22 100.0 CT04 6 Lunes
4 282 PSICOLOGIA INDUSTRIAL 22 Aula 22 100.0 CT04 6 Lunes
8 283 LEGISLACION INDUSTRIAL 17 Aula 22 77.27272727272727 CT04 6 Lunes
9 279 INVESTIGACION Y DESARROLLO 26 Aula 26 100.0 CT06 6 Lunes
10 279 INVESTIGACION Y DESARROLLO 26 Aula 26 100.0 CT06 6 Lunes
11 284 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS 29 Aula 32 90.625 AT11 6 Lunes
12 284 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS 29 Aula 32 90.625 AT11 6 Lunes
13 280 PLANEACION ESTRATEGICA 27 Aula 28 96.42857142857143 CT05 6 Lunes
1 297 ADMINISTRACION FINANCIERA 23 Aula 24 95.83333333333334 CT01 8 Lunes
2 293 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL 15 Aula 24 62.5 CT01 8 Lunes
3 293 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL 15 Aula 24 62.5 CT01 8 Lunes
7 295 MET. DE LA INVESTIGACIÓN 11 Aula 22 50.0 CT04 8 Lunes
8 295 MET. DE LA INVESTIGACIÓN 11 Aula 22 50.0 CT04 8 Lunes
11 296 PLAN. Y CONT. PRODUCCION I 16 Aula 22 72.72727272727273 CT04 8 Lunes
12 296 PLAN. Y CONT. PRODUCCION I 16 Aula 22 72.72727272727273 CT04 8 Lunes
1 261 INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICAS G1 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 3 Lunes
2 253 MECÁNICA DE MATERIALES G1 40 Aula 46 86.95652173913044 CT103 3 Lunes
8 259 ESTADÍSTICA ANALÍTICA G1 32 Aula 32 100.0 AT11 3 Lunes
9 259 ESTADÍSTICA ANALÍTICA G1 32 Aula 32 100.0 AT11 3 Lunes
0 265 DISEÑO DE MÁQUINAS G1 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 5 Lunes
1 265 DISEÑO DE MÁQUINAS G1 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 5 Lunes
2 269 DESARROLLO DE EMPRENDEDORES G1 20 Aula 25 80.0 CT07 5 Lunes
3 269 DESARROLLO DE EMPRENDEDORES G1 20 Aula 25 80.0 CT07 5 Lunes
11 268 PRÁCTICAS INGENIERÍA DE PROCESOS Y ERGONOMÍA G1 18 Aula 24 75.0 CT01 5 Lunes
12 268 PRÁCTICAS INGENIERÍA DE PROCESOS Y ERGONOMÍA G1 18 Aula 24 75.0 CT01 5 Lunes
1 305 FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS 36 Aula 47 76.59574468085107 CT08 9 Lunes
2 305 FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS 36 Aula 47 76.59574468085107 CT08 9 Lunes
4 302 LIBRE ELECCIÓN I 46 Aula 47 97.87234042553192 CT08 9 Lunes
5 302 LIBRE ELECCIÓN I 46 Aula 47 97.87234042553192 CT08 9 Lunes
7 307 ÉTICA, DERECHOS HUMANOS Y CIUDADANÍA (SISTEMA DE CRÉDITOS) 25 Aula 25 100.0 CT07 9 Lunes
8 307 ÉTICA, DERECHOS HUMANOS Y CIUDADANÍA (SISTEMA DE CRÉDITOS) 25 Aula 25 100.0 CT07 9 Lunes
9 303 SEGURIDAD E HIGIEN. INDUS 35 Aula 35 100.0 CT03 9 Lunes
10 303 SEGURIDAD E HIGIEN. INDUS 35 Aula 35 100.0 CT03 9 Lunes
11 300 GESTION DE CALIDAD 34 Aula 34 100.0 CT101 9 Lunes
12 304 OPTATIVA I 35 Aula 38 92.10526315789474 CT02 9 Lunes
13 304 OPTATIVA I 35 Aula 38 92.10526315789474 CT02 9 Lunes
3 286 INGENIERIA DE PROCESOS 33 Aula 34 97.05882352941177 CT101 7 Lunes
4 286 INGENIERIA DE PROCESOS 33 Aula 34 97.05882352941177 CT101 7 Lunes
6 290 MERCADOTECNIA 31 Aula 32 96.875 AT11 7 Lunes
7 290 MERCADOTECNIA 31 Aula 32 96.875 AT11 7 Lunes
9 291 INGENIERIA ECONOMICA 22 Aula 24 91.66666666666666 CT01 7 Lunes

Anexo 2. Resultados con código de Python del horario de Ingeniería Industrial correspondiente al día Lunes.

Fuente: Elaborado por el autor



0 229 PRÁCTICAS ÁLGEBRA LINEAL G2_SUBG1 22 Aula 22 100.0 CT04 1 Martes
6 250 CÁLCULO DIFERENCIAL G2 40 Aula 46 86.95652173913044 CT103 1 Martes
7 243 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN G1 41 Aula 46 89.13043478260869 CT103 1 Martes
8 243 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN G1 41 Aula 46 89.13043478260869 CT103 1 Martes
10 244 PRÁCTICAS METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN G1 41 Aula 46 89.13043478260869 CT103 1 Martes
11 236 PRÁCTICAS QUÍMICA GENERAL G2_SUBG2 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 1 Martes
12 240 FÍSICA I G2 35 Aula 35 100.0 CT03 1 Martes
13 240 FÍSICA I G2 35 Aula 35 100.0 CT03 1 Martes
0 285 DESARROLLO DE EMPRENDEDORES (SISTEMA DE CRÉDITOS) 20 Aula 24 83.33333333333334 CT01 6 Martes
1 285 DESARROLLO DE EMPRENDEDORES (SISTEMA DE CRÉDITOS) 20 Aula 24 83.33333333333334 CT01 6 Martes
7 283 LEGISLACION INDUSTRIAL 17 Aula 22 77.27272727272727 CT04 6 Martes
8 283 LEGISLACION INDUSTRIAL 17 Aula 22 77.27272727272727 CT04 6 Martes
0 293 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL 15 Aula 25 60.0 CT07 8 Martes
1 293 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL 15 Aula 25 60.0 CT07 8 Martes
6 298 INSTRUMENTACION Y CONTROL 15 Aula 22 68.18181818181817 CT04 8 Martes
7 298 INSTRUMENTACION Y CONTROL 15 Aula 22 68.18181818181817 CT04 8 Martes
11 296 PLAN. Y CONT. PRODUCCION I 16 Aula 24 66.66666666666666 CT01 8 Martes
12 296 PLAN. Y CONT. PRODUCCION I 16 Aula 24 66.66666666666666 CT01 8 Martes
5 262 PRÁCTICAS INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICAS G1 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 3 Martes
6 254 PRÁCTICAS MECÁNICA DE MATERIALES G1_SUBG1 20 Aula 24 83.33333333333334 CT01 3 Martes
7 255 PRÁCTICAS MECÁNICA DE MATERIALES G1_SUBG2 20 Aula 24 83.33333333333334 CT01 3 Martes
8 263 ECUACIONES DIFERENCIALES G1 35 Aula 35 100.0 CT03 3 Martes
9 263 ECUACIONES DIFERENCIALES G1 35 Aula 35 100.0 CT03 3 Martes
10 256 TERMODINÁMICA G1 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 3 Martes
11 264 PRÁCTICAS ECUACIONES DIFERENCIALES G1 35 Aula 35 100.0 CT03 3 Martes
0 277 DISEÑO INDUSTRIAL CAD G1 19 Aula 26 73.07692307692307 CT06 5 Martes
4 266 PRÁCTICAS DISEÑO DE MÁQUINAS G1 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 5 Martes
5 266 PRÁCTICAS DISEÑO DE MÁQUINAS G1 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 5 Martes
7 267 INGENIERÍA DE PROCESOS Y ERGONOMÍA G1 18 Aula 25 72.0 CT07 5 Martes
12 268 PRÁCTICAS INGENIERÍA DE PROCESOS Y ERGONOMÍA G1 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 5 Martes
13 276 PRÁCTICAS COSTOS Y PRESUPUESTOS DE PRODUCCIÓN G1 20 Aula 22 90.9090909090909 CT04 5 Martes
0 305 FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 9 Martes
1 305 FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 9 Martes
0 289 EQUIPO INDUSTRIAL 34 Aula 34 100.0 CT101 7 Martes
1 289 EQUIPO INDUSTRIAL 34 Aula 34 100.0 CT101 7 Martes
4 290 MERCADOTECNIA 31 Aula 32 96.875 AT11 7 Martes
5 290 MERCADOTECNIA 31 Aula 32 96.875 AT11 7 Martes
9 287 TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE 34 Aula 34 100.0 CT101 7 Martes
10 287 TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE 34 Aula 34 100.0 CT101 7 Martes
11 288 ADM. RECURSOS HUMANOS 31 Aula 32 96.875 AT11 7 Martes
12 288 ADM. RECURSOS HUMANOS 31 Aula 32 96.875 AT11 7 Martes

Anexo 3. Resultados con código de Python del horario de Ingeniería Industrial correspondiente al día Martes Fuente: Elaborado por el autor



0 241 PRÁCTICAS FÍSICA 1 G2_SUBG1 17 Aula 22 77.27272727272727 CT04 1 Miércoles
1 225 ÁLGEBRA LINEAL G1 34 Aula 34 100.0 CT101 1 Miércoles
2 245 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN G2 39 Aula 46 84.78260869565217 CT103 1 Miércoles
3 245 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN G2 39 Aula 46 84.78260869565217 CT103 1 Miércoles
4 242 PRÁCTICAS FÍSICA 1 G2_SUBG2 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 1 Miércoles
8 251 PRÁCTICAS CÁLCULO DIFERENCIAL G2_SUBG1 20 Aula 22 90.9090909090909 CT04 1 Miércoles
9 239 PRÁCTICAS FÍSICA I G1_SUBG2 21 Aula 22 95.45454545454545 CT04 1 Miércoles
10 239 PRÁCTICAS FÍSICA I G1_SUBG2 21 Aula 22 95.45454545454545 CT04 1 Miércoles
11 248 PRÁCTICAS CÁLCULO DIFERENCIAL G1_SUBG1 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 1 Miércoles
12 236 PRÁCTICAS QUÍMICA GENERAL G2_SUBG2 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 1 Miércoles
1 281 INVESTIGACION OPERATIVA 40 Aula 46 86.95652173913044 CT103 6 Miércoles
2 281 INVESTIGACION OPERATIVA 40 Aula 46 86.95652173913044 CT103 6 Miércoles
12 284 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS 29 Aula 32 90.625 AT11 6 Miércoles
13 284 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS 29 Aula 32 90.625 AT11 6 Miércoles
0 297 ADMINISTRACION FINANCIERA 23 Aula 24 95.83333333333334 CT01 8 Miércoles
1 297 ADMINISTRACION FINANCIERA 23 Aula 24 95.83333333333334 CT01 8 Miércoles
4 294 SIMULACION DE LA PRODUCCION 15 Aula 24 62.5 CT01 8 Miércoles
5 294 SIMULACION DE LA PRODUCCION 15 Aula 24 62.5 CT01 8 Miércoles
6 298 INSTRUMENTACION Y CONTROL 15 Aula 22 68.18181818181817 CT04 8 Miércoles
7 298 INSTRUMENTACION Y CONTROL 15 Aula 22 68.18181818181817 CT04 8 Miércoles
4 258 PRÁCTICAS TERMODINAMICA G1_SUBG2 18 Aula 25 72.0 CT07 3 Miércoles
5 258 PRÁCTICAS TERMODINAMICA G1_SUBG2 18 Aula 25 72.0 CT07 3 Miércoles
6 262 PRÁCTICAS INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICAS G1 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 3 Miércoles
7 262 PRÁCTICAS INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICAS G1 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 3 Miércoles
8 259 ESTADÍSTICA ANALÍTICA G1 32 Aula 32 100.0 AT11 3 Miércoles
12 260 PRÁCTICAS ESTADÍSTICA ANALÍTICA G1 32 Aula 34 94.11764705882352 CT101 3 Miércoles
1 273 ÉTICA DE LA CIENCIA G1 21 Aula 22 95.45454545454545 CT04 5 Miércoles
5 278 PRÁCTICAS DISEÑO INDUSTRIAL CAD G1 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 5 Miércoles
6 278 PRÁCTICAS DISEÑO INDUSTRIAL CAD G1 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 5 Miércoles
7 271 PSICOLOGÍA INDUSTRIAL G1 20 Aula 24 83.33333333333334 CT01 5 Miércoles
8 271 PSICOLOGÍA INDUSTRIAL G1 20 Aula 24 83.33333333333334 CT01 5 Miércoles
6 306 LIBRE ELECCIÓN I 14 Aula 24 58.33333333333336 CT01 9 Miércoles
7 303 SEGURIDAD E HIGIEN. INDUS 35 Aula 35 100.0 CT03 9 Miércoles
8 303 SEGURIDAD E HIGIEN. INDUS 35 Aula 35 100.0 CT03 9 Miércoles
11 308 PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION II 34 Aula 34 100.0 CT101 9 Miércoles
12 308 PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION II 34 Aula 34 100.0 CT101 9 Miércoles
1 289 EQUIPO INDUSTRIAL 34 Aula 35 97.14285714285714 CT03 7 Miércoles
2 289 EQUIPO INDUSTRIAL 34 Aula 35 97.14285714285714 CT03 7 Miércoles
4 286 INGENIERIA DE PROCESOS 33 Aula 34 97.05882352941177 CT101 7 Miércoles
5 286 INGENIERIA DE PROCESOS 33 Aula 34 97.05882352941177 CT101 7 Miércoles
9 287 TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE 34 Aula 34 100.0 CT101 7 Miércoles
10 287 TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE 34 Aula 34 100.0 CT101 7 Miércoles
12 288 ADM. RECURSOS HUMANOS 31 Aula 35 88.57142857142857 CT03 7 Miércoles
13 288 ADM. RECURSOS HUMANOS 31 Aula 35 88.57142857142857 CT03 7 Miércoles

Anexo 4. Resultados con código de Python del horario de Ingeniería Industrial correspondiente al día Miércoles.

Fuente: Elaborado por el autor.



0 233 PRÁCTICAS QUÍMICA GENERAL G1_SUBG2 17 Aula 22 77.27272727272727 CT04 1 Jueves
1 225 ÁLGEBRA LINEAL G1 34 Aula 34 100.0 CT101 1 Jueves
3 230 PRÁCTICAS ÁLGEBRA LINEAL G2_SUBG2 21 Aula 22 95.45454545454545 CT04 1 Jueves
4 230 PRÁCTICAS ÁLGEBRA LINEAL G2_SUBG2 21 Aula 22 95.45454545454545 CT04 1 Jueves
5 234 QUÍMICA GENERAL G2 38 Aula 38 100.0 CT02 1 Jueves
6 234 QUÍMICA GENERAL G2 38 Aula 38 100.0 CT02 1 Jueves
7 235 PRÁCTICAS QUÍMICA GENERAL G2_SUBG1 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 1 Jueves
8 235 PRÁCTICAS QUÍMICA GENERAL G2_SUBG1 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 1 Jueves
10 232 PRÁCTICAS QUÍMICA GENERAL G1_SUBG1 17 Aula 22 77.27272727272727 CT04 1 Jueves
11 228 ÁLGEBRA LINEAL G2 43 Aula 46 93.47826086956522 CT103 1 Jueves
6 282 PSICOLOGIA INDUSTRIAL 22 Aula 22 100.0 CT04 6 Jueves
7 282 PSICOLOGIA INDUSTRIAL 22 Aula 22 100.0 CT04 6 Jueves
9 279 INVESTIGACION Y DESARROLLO 26 Aula 26 100.0 CT06 6 Jueves
10 279 INVESTIGACION Y DESARROLLO 26 Aula 26 100.0 CT06 6 Jueves
11 284 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS 29 Aula 32 90.625 AT11 6 Jueves
12 284 MAQUINAS Y HERRAMIENTAS 29 Aula 32 90.625 AT11 6 Jueves
6 294 SIMULACION DE LA PRODUCCION 15 Aula 24 62.5 CT01 8 Jueves
7 294 SIMULACION DE LA PRODUCCION 15 Aula 24 62.5 CT01 8 Jueves
8 299 DISTRIBUCION DE PLANTA 16 Aula 24 66.66666666666666 CT01 8 Jueves
0 261 INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICAS G1 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 3 Jueves
2 257 PRÁCTICAS TERMODINAMICA G1_SUBG1 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 3 Jueves
3 257 PRÁCTICAS TERMODINAMICA G1_SUBG1 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 3 Jueves
4 254 PRÁCTICAS MECÁNICA DE MATERIALES G1_SUBG1 20 Aula 24 83.33333333333334 CT01 3 Jueves
10 264 PRÁCTICAS ECUACIONES DIFERENCIALES G1 35 Aula 35 100.0 CT03 3 Jueves
11 256 TERMODINÁMICA G1 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 3 Jueves
12 256 TERMODINÁMICA G1 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 3 Jueves
3 274 PRÁCTICAS ÉTICA DE LA CIENCIA G1 21 Aula 24 87.5 CT01 5 Jueves
9 267 INGENIERÍA DE PROCESOS Y ERGONOMÍA G1 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 5 Jueves
10 267 INGENIERÍA DE PROCESOS Y ERGONOMÍA G1 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 5 Jueves
1 305 FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 9 Jueves
2 305 FORMULACION Y EVALUACION DE PROYECTOS 36 Aula 38 94.73684210526315 CT02 9 Jueves
10 300 GESTION DE CALIDAD 34 Aula 34 100.0 CT101 9 Jueves
11 308 PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION II 34 Aula 34 100.0 CT101 9 Jueves
12 308 PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION II 34 Aula 34 100.0 CT101 9 Jueves
5 286 INGENIERIA DE PROCESOS 33 Aula 34 97.05882352941177 CT101 7 Jueves
6 286 INGENIERIA DE PROCESOS 33 Aula 34 97.05882352941177 CT101 7 Jueves
12 292 GESTION ENERGETICA 32 Aula 35 91.42857142857143 CT03 7 Jueves
13 292 GESTION ENERGETICA 32 Aula 35 91.42857142857143 CT03 7 Jueves

Anexo 5. Resultados con código de Python del horario de Ingeniería Industrial correspondiente al día Jueves. Fuente: Elaborado por el autor



1 249 PRÁCTICAS CÁLCULO DIFERENCIAL G1_SUBG2 20 Aula 22 90.9090909090909 CT04 1 Viernes
2 249 PRÁCTICAS CÁLCULO DIFERENCIAL G1_SUBG2 20 Aula 22 90.9090909090909 CT04 1 Viernes
3 238 PRÁCTICAS FÍSICA I G1_SUBG1 22 Aula 22 100.0 CT04 1 Viernes
4 238 PRÁCTICAS FÍSICA I G1_SUBG1 22 Aula 22 100.0 CT04 1 Viernes
6 226 PRÁCTICAS ÁLGEBRA LINEAL G1_SUBG1 17 Aula 22 77.27272727272727 CT04 1 Viernes
7 242 PRÁCTICAS FÍSICA 1 G2_SUBG2 18 Aula 22 81.81818181818183 CT04 1 Viernes
8 235 PRÁCTICAS QUÍMICA GENERAL G2_SUBG1 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 1 Viernes
9 227 PRÁCTICAS ÁLGEBRA LINEAL G1_SUBG2 17 Aula 22 77.27272727272727 CT04 1 Viernes
10 227 PRÁCTICAS ÁLGEBRA LINEAL G1_SUBG2 17 Aula 22 77.27272727272727 CT04 1 Viernes
11 248 PRÁCTICAS CÁLCULO DIFERENCIAL G1_SUBG1 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 1 Viernes
12 248 PRÁCTICAS CÁLCULO DIFERENCIAL G1_SUBG1 19 Aula 22 86.36363636363636 CT04 1 Viernes
2 281 INVESTIGACION OPERATIVA 40 Aula 46 86.95652173913044 CT103 6 Viernes
3 281 INVESTIGACION OPERATIVA 40 Aula 46 86.95652173913044 CT103 6 Viernes
4 282 PSICOLOGIA INDUSTRIAL 22 Aula 24 91.66666666666666 CT01 6 Viernes
7 283 LEGISLACION INDUSTRIAL 17 Aula 24 70.83333333333334 CT01 6 Viernes
12 280 PLANEACION ESTRATEGICA 27 Aula 28 96.42857142857143 CT05 6 Viernes
13 280 PLANEACION ESTRATEGICA 27 Aula 28 96.42857142857143 CT05 6 Viernes
3 294 SIMULACION DE LA PRODUCCION 15 Aula 24 62.5 CT01 8 Viernes
4 294 SIMULACION DE LA PRODUCCION 15 Aula 24 62.5 CT01 8 Viernes
5 298 INSTRUMENTACION Y CONTROL 15 Aula 22 68.18181818181817 CT04 8 Viernes
6 298 INSTRUMENTACION Y CONTROL 15 Aula 22 68.18181818181817 CT04 8 Viernes
10 296 PLAN. Y CONT. PRODUCCION I 16 Aula 24 66.66666666666666 CT01 8 Viernes
11 296 PLAN. Y CONT. PRODUCCION I 16 Aula 24 66.66666666666666 CT01 8 Viernes
1 257 PRÁCTICAS TERMODINAMICA G1_SUBG1 18 Aula 24 75.0 CT01 3 Viernes
3 258 PRÁCTICAS TERMODINAMICA G1_SUBG2 18 Aula 25 72.0 CT07 3 Viernes
11 260 PRÁCTICAS ESTADÍSTICA ANALÍTICA G1 32 Aula 32 100.0 AT11 3 Viernes
12 260 PRÁCTICAS ESTADÍSTICA ANALÍTICA G1 32 Aula 32 100.0 AT11 3 Viernes
4 270 PRÁCTICAS DESARROLLO DE EMPRENDEDORES G1 20 Aula 25 80.0 CT07 5 Viernes
5 270 PRÁCTICAS DESARROLLO DE EMPRENDEDORES G1 20 Aula 25 80.0 CT07 5 Viernes
6 278 PRÁCTICAS DISEÑO INDUSTRIAL CAD G1 19 Aula 24 79.16666666666666 CT01 5 Viernes
10 272 PRÁCTICAS PSICOLOGÍA INDUSTRIAL G1 20 Aula 25 80.0 CT07 5 Viernes
11 272 PRÁCTICAS PSICOLOGÍA INDUSTRIAL G1 20 Aula 25 80.0 CT07 5 Viernes
1 301 LIBRE ELECCIÓN I 35 Aula 35 100.0 CT03 9 Viernes
2 301 LIBRE ELECCIÓN I 35 Aula 35 100.0 CT03 9 Viernes
7 303 SEGURIDAD E HIGIEN. INDUS 35 Aula 35 100.0 CT03 9 Viernes
8 303 SEGURIDAD E HIGIEN. INDUS 35 Aula 35 100.0 CT03 9 Viernes
12 308 PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION II 34 Aula 34 100.0 CT101 9 Viernes
13 308 PLANEACION Y CONTROL DE LA PRODUCCION II 34 Aula 34 100.0 CT101 9 Viernes
7 291 INGENIERIA ECONOMICA 22 Aula 25 88.0 CT07 7 Viernes
8 291 INGENIERIA ECONOMICA 22 Aula 25 88.0 CT07 7 Viernes
9 287 TECNOLOGIA DEL MEDIO AMBIENTE 34 Aula 34 100.0 CT101 7 Viernes
12 292 GESTION ENERGETICA 32 Aula 35 91.42857142857143 CT03 7 Viernes
13 292 GESTION ENERGETICA 32 Aula 35 91.42857142857143 CT03 7 Viernes

Anexo 6. Resultados con código de Python del horario de Ingeniería Industrial correspondiente al día Viernes. Fuente: Elaborado por el autor