

Genetic Algorithm in the Allocation of Hours of an Institute of Higher Education

*Nilo Salvador León, Bachiller¹, Pedro Gilmer Castillo Domínguez, Ingeniero²
Ingeniería de Sistemas Computacionales. Universidad Privada del Norte, Perú,
nilo697@hotmail.com¹, ing.pedrocastillodominguez@gmail.com²*

Abstract— Administrative management in technological higher education institutions is of utmost importance to achieve their strategic objectives, one of the most important processes is the generation of class schedules, in this process the complexity varies according to the number of classes that are taught, the semesters of each degree that is opened and the number of classrooms available. The present research work was carried out with the aim of determining the influence of the genetic algorithm in improving the allocation of schedules at the John A. Mackay Higher Education Institution during the year 2019. The type of study was pre-experimental; with a sample of 2 technical professional careers of the institution and considering 3 factors within the process, which were time, cost and results. The genetic algorithm was implemented with the SCRUM software development methodology, its main advantage being to develop systems in a short period of time and great flexibility to changes during development. The pre-experimental research resulted in an 84.42% reduction in the time spent, for costs it decreased by 84.71%, and finally the use of the classrooms was optimized by 5%; achieving a more efficient allocation of schedules.

Keywords— Genetic algorithm, Schedule assignment, Administrative management.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.518>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Algoritmo Genético en la Asignación de Horarios de un Instituto de Educación Superior

Nilo Salvador León, Bachiller¹, Pedro Gilmer Castillo Domínguez, Ingeniero²
Ingeniería de Sistemas Computacionales. Universidad Privada del Norte, Perú, nilo697@hotmail.com¹,
ing.pedrocastillodominguez@gmail.com²

Abstract— Administrative management in technological higher education institutions is of utmost importance to achieve their strategic objectives, one of the most important processes is the generation of class schedules, in this process the complexity varies according to the number of classes that are taught, the semesters of each degree that is opened and the number of classrooms available. The present research work was carried out with the aim of determining the influence of the genetic algorithm in improving the allocation of schedules at the John A. Mackay Higher Education Institution during the year 2019. The type of study was pre-experimental; with a sample of 2 technical professional careers of the institution and considering 3 factors within the process, which were time, cost and results. The genetic algorithm was implemented with the SCRUM software development methodology, its main advantage being to develop systems in a short period of time and great flexibility to changes during development. The pre-experimental research resulted in an 84.42% reduction in the time spent, for costs it decreased by 84.71%, and finally the use of the classrooms was optimized by 5%; achieving a more efficient allocation of schedules.

Palabras Clave— Genetic algorithm, Schedule assignment, Administrative management.

Resumen— La gestión administrativa en las instituciones de educación superior tecnológica es de suma importancia para alcanzar sus objetivos estratégicos, uno de los procesos más importantes es la generación de horarios de clases, en dicho proceso la complejidad varía de acuerdo con el número de clases que se dictan, los semestres de cada carrera que se apertura y la cantidad de aulas disponibles. El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de determinar la influencia del algoritmo genético en la mejora de la asignación de horarios en la Institución de Educación Superior John A. Mackay durante el año 2019. El tipo de estudio fue preexperimental; con una muestra de 2 carreras profesionales técnicas de la institución y tomando en cuenta 3 factores dentro del procesos, los cuales fueron tiempo, costo y resultados. Se implementó el algoritmo genético con la metodología de desarrollo de software SCRUM, siendo su principal ventaja desarrollar sistemas en un periodo de tiempo pequeño y gran flexibilidad a cambios durante el desarrollo. La investigación preexperimental dió como resultados una reducción del 84.42% en el tiempo empleado, para los costos se disminuyó el 84.71 %, y finalmente se optimizó el uso de las aulas en un 5%; logrando una asignación de horarios más eficiente.

Palabras Clave— Algoritmo Genético, asignación de horarios, gestión administrativa.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las instituciones de educación afrontan

cada semestre el problema de la planificación y asignación de horarios de clases (Hernández et. al., 2008) [1]. Las instituciones deben de determinar y organizar sus recursos financieros, materiales y humanos en favor de los alumnos (Mejía, 2008). En cada semestre, los directores de cada carrera deben establecer manualmente los horarios de clases lo cual les toma mucho tiempo de desgaste y compleja coordinación entre ellos, generando problemas en la inscripción a cursos de alumnos, docentes asignados a cursos en los mismos horarios y desaprovechamiento de espacios físicos (Mejía et. al., 2010) [2].

Asimismo, al expandir equilibradamente el horario de los cursos en el día y la semana, y nivelar el conjunto de aulas acorde con las matrículas de los estudiantes, se logra hallar aulas que podrían ser utilizadas para satisfacer necesidades más urgentes. No obstante, varias instituciones no administran adecuadamente sus espacios de enseñanza (Hinton, 2012) [3].

En la ciudad de Bogotá (Colombia), el programa de ingeniería de la Universidad Libre realiza el proceso de asignar salones de forma manual y compleja, exigiendo mucho tiempo y considerando diversos factores como la carencia o aumento de equipos y la creciente demanda de alumnos, por lo que a menudo se generan inconvenientes, los cuales retrasan o dificultan el inicio de clases, afectando la calidad de la educación prestada y a la satisfacción de los estudiantes y docentes (Rodríguez, 2010) [4].

Igualmente, en Honduras, la Universidad Tecnológica Centroamericana el proceso de asignación de clases es una tarea que se ha realizado de forma independiente por cada departamento y de forma manual. Algunos de los obstáculos para resolver adecuadamente el proceso son la amplia cantidad de secciones, profesores, horarios y aulas disponibles, el alto tiempo utilizado en la elaboración y el incumplimiento de los criterios de satisfacción de las autoridades y docentes (Fiallos et. al., 2008) [5].

En el Perú, la Universidad Mayor de San Marcos cuenta con más de 40 facultades y una de sus principales actividades es la elaboración de horarios académicos, el cual se realiza de forma manual con mucho tiempo de elaboración, generando muchas veces retrasos en el proceso de matrícula perjudicando a docentes y alumnos (Ramos, 2012) [6]. Incluso, debido al volumen de datos y variables que intervienen en la elaboración de horarios, este resulta ser costoso, complejo y sin resultados satisfactorios; como realizar la asignación de aulas que permanecen medianamente vacías ya que la cantidad de alumnos matriculados es menor a su capacidad o viceversa, es decir, tal vez se asignan recintos muy pequeños para una gran cantidad de estudiantes (Cortez et. al., 2010) [7].

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.51>:
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

La institución de educación superior tecnológico privado John A. Mackay asigna a una comisión el proceso de asignación de horarios para el semestre o periodo lectivo más próximo, los cuales en aproximadamente dos o tres semanas planifican la cantidad de cursos que se dictarán y la disponibilidad de las aulas de acuerdo con los grupos de alumnos matriculados. Asimismo, realizan reuniones de planificación con los docentes para conocer su disponibilidad horaria, los cursos que dictarán y cualquier inconveniente que se produzca durante el proceso. Haciendo uso de hojas, lapiceros, plumones, pizarra, entre otros materiales, se elaboran los horarios de clases, los cuales son pasados a un formato digital para su impresión y difusión entre docentes y estudiantes. Una vez terminado el proceso, no se guarda alguna información escrita o formato de elaboración debido a que la comisión de elaboración en base a la experiencia. Por tal motivo, se requiere una forma rápida y óptima de planificar, administrar y asignar los materiales, cursos, docentes y aulas.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Se han considerado como antecedentes de algoritmos genéticos a los autores Víctor Suarez Chilma, Omar Castrillón Gómez y Álvaro Guerrero Aguirre (2013) [8], en la investigación “Class Schedule Assignment Based on Students Learning Rhythms Using A Genetic Algorithm”, tuvieron como objetivo implementar un horario escolar que tenga en cuenta los ritmos de aprendizaje en los estudiantes de primaria y secundaria mediante un algoritmo genético. Para lograr esto se desarrolló el análisis de los requerimientos legales y las restricciones necesarias para la asignación de maestros y aulas, asimismo como un algoritmo genético. Los resultados muestran que la metodología desarrollada logró una mejora del 12,3% en la asignación de horarios de clase en comparación al sistema actual de la escuela de estudio. Se concluyó que el algoritmo genético tiene una gran estabilidad en las soluciones encontradas y asegurando una eficiencia de más del 92% en los resultados obtenidos en cada ciclo.

También, a los autores Benitez Aranda, Gomez Villavicencio, Salgado Salgado y Chiapas de la Roca (2015) [9], en la investigación “Herramienta para Generación de Horarios empleando Algoritmos Genéticos”, se propusieron a resolver el problema de asignación de docentes y aulas a un grupo de horarios de clases en la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero (UTRNG); la cual tenía cerca de 12000 alumnos así también un aumento variable de docentes y aulas. Se analizó, diseñó e implementó un sistema que asigne docentes y aulas a un conjunto de horarios empleando algoritmos genéticos. Los resultados fueron una disminución del tiempo de asignación de horarios de varios días a unos minutos e impedir que dos docentes dicten un mismo curso, por lo que se concluyó que utilizando el método de los algoritmos genéticos se elabora rápidamente la asignación de horarios de docentes y aulas, manteniendo una distribución equitativa de horas académicas en docentes.

Asimismo, los autores Camilo Torres Ovalle, Jairo Montoya Torres, Carlos Quintero Araújo, Angélica Sarmiento Lapesqueur y Mónica Castilla Luna (2014) [10], en la investigación “University Course Scheduling and Classroom Assignment”, sus intenciones eran resolver el problema de programación de horarios de clases universitarias en la universidad de La Sabana, Colombia. Con ese propósito se desarrolló un modelo de programación lineal entera, teniendo en cuenta el número de variables de decisión y de restricciones. Se obtuvo como resultado la reducción del número de aulas utilizadas al medio día siendo el 9,8% de las aulas usadas, el 50% de las aulas asignadas no son muy utilizadas, un 15,8% de reducción de aulas utilizadas en total y una reducción del 19,5% en el número de horas lectivas programadas. Se concluyó que el modelo de programación lineal entera incrementa la disponibilidad de los recursos de aulas, docentes y reducen costos de la programación de horarios.

III. ESTADO DEL ARTE

A. Algoritmo Genético

Los algoritmos genéticos son métodos heurísticos de búsqueda inspirados en lo que sabemos acerca del proceso de la evolución natural. La gran plasticidad inherente de estos métodos hace posible aplicarlos a la solución de muy diversos problemas sin hacer modificaciones sustanciales al procedimiento general. En otras palabras, no es necesaria una función claramente definida y con ciertas propiedades en el modelo matemático del problema (Kuri et. al., 2009) [11].

B. Asignación de horarios

La asignación de horarios de clases debe cumplir con los estándares de los requisitos legales actuales, el proyecto educativo institucional y también el plan de estudios de la institución. En general, la planificación del día de clases se basa en la disponibilidad de docentes y aulas, y tiene en cuenta algunas condiciones especiales de cada escuela y la superposición de las tareas de clase. Sin embargo, la asignación de horarios de clase también debe considerar el rendimiento académico de los estudiantes (Suarez et. al., 2013) [8].

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Determinar la influencia de un algoritmo genético en la asignación de horarios.

B. Objetivos Específicos

- Establecer la influencia del algoritmo genético en el tiempo de la asignación de horarios.
- Definir la influencia del algoritmo genético en los costos de la asignación de horarios.
- Determinar la influencia del algoritmo genético en los resultados de la asignación de horarios.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es de carácter Experimental de grado Pre-Experimental, donde la unidad de estudio fue el proceso de asignación de horarios de la institución de educación superior John A. Mackay, ubicada en la provincia de Rioja en el departamento de San Martín, Perú. La población está conformada por dos carreras técnicas profesionales (Administración y Contabilidad) de la institución. Los instrumentos usados fueron fichas de observación para analizar el proceso de asignar horarios sin usar el algoritmo genético y usando el algoritmo genético.

VI. METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO

A. Marco de Desarrollo

Luego de investigar diversas metodologías de desarrollo para el algoritmo genético se optó por la metodología ágil SCRUM. Esta es una metodología que nos permite desarrollar un sistema en un corto periodo de tiempo, facilita realizar las actividades del proyecto a juicio propio, se puede mostrar avances cada cierto tiempo al cliente y es flexible a los cambios que se presenten en el ciclo de desarrollo.

B. Programación

Una vez seleccionada la metodología, se elaboró las historias de usuario que contienen a detalle los requerimientos especificados por el usuario, en este artefacto se da prioridad a las funcionalidades del sistema. Después se realizó el detalle de la implementación en el cual se definió la construcción del algoritmo genético y su despliegue en una plataforma web.

C. Fase de Desarrollo

Tabla 1: ETAPAS DEL DESARROLLO DEL ALGORITMO EVOLUTIVO

Item	Etapas
1	Etapas 1: Planificación
	Historia de Usuario. Detalles de la Implementación.
2	Etapas 2: Diseño e Implementación
	Desarrollo del algoritmo genético. Implementación del sistema web.
3	Etapas 3: Pruebas
	Plan de Pruebas.

Elaboración propia del autor.

D. Etapa 1: Planificación

Tabla 2: HISTORIAS DE USUARIOS

Historia de Usuario				
ID	Rol	Característica / Funcionalidad	Razón / Resultado	Historia de usuario
1	Usuario	Iniciar sesión a través de un usuario y contraseña.	Tener acceso al sistema.	Como usuario quiero tener acceso a la aplicación a través

				de un usuario y contraseña.
2	Usuario	Listar, registrar, editar y eliminar la información de los cursos, docentes, aulas y carreras técnicas profesionales.	Gestionar la información del sistema.	Como usuario quiero gestionar la información de los docentes, cursos, aulas y carreras profesionales.
3	Usuario	Seleccionar los cursos, docentes y aulas que se dictarán en un semestre académico para elaborar un horario de clases en base a su información.	Generar horarios de clases (docentes, ciclos y aulas).	Como usuario quiero ingresar los cursos, ciclos, docentes y aulas para generar horarios de clases para el semestre académico.

Elaboración propia del autor.

Para realizar el detalle de la implementación se analizó la estructura de un algoritmo evolutivo (Población inicial, función fitness, selección de individuos, recombinación y mutación) asimismo, la arquitectura utilizada de un sistema web, en este caso fue una combinación de n-capas con MVC.

Tabla 3: DETALLES DE LA IMPLEMENTACIÓN

Tarea	Pasos	Fases
1. Algoritmo Genético.	Arquitectura del Algoritmo Genético.	Generación de la población inicial.
		Calcular aptitud de la generación. (fitness)
		Selección de individuos.
		Recombinación.
		Mutación.
2. Sistema Web.	Arquitectura y base de datos del sistema.	Crear clases en el sistema.
		Crear base de datos.
	Interfaces.	Interfaces de los mantenedores. (Docentes, clases, ciclos y aulas)
		Interfaces de la Generación de Horarios.
	Despliegue.	Creación del perfil de despliegue con el servicio App Services de Azure.
		Creación de la base de datos con el servicio SQL Database de Azure.

Elaboración propia del autor.

E. Etapa 2: Diseño e Implementación

Para la fase de implementación se siguieron los siguientes pasos:

- Se implementó las clases necesarias para crear un horario de clases en conjunto con sus tablas correspondientes en una base de datos.
- Se dividió el trabajo de elaborar horarios del algoritmo genético en dos fases, la primera asignar horas de clases a las clases de cursos generadas, y la

segunda, asignar aulas a las clases de los cursos. Por ende, se desarrolló dos algoritmos genéticos.

```
// Generar Población de la Primera Etapa
int [,] cicloClases;
int[] pC = new int[15] {0,2,3,5,7,8,10,12,13,15,17,18,20,22,23};
int[] pUH = new int[5] {4,9,14,19,24};
int[] iC;
int iPC;
int prom = 0;
Boolean encontro, completo, termino, ordenado, finalizar = false;

1 referencia
void generarPoblacionInicialHorarioClase() // Asignar horario a una Clase (Respetan

2 referencias
void calcularAptitudHorasClases(int pobHorCla)...

2 referencias
int seleccionarIndividuosHorarioClaseHorario() // Selección por Orden Lineal (LR)...

1 referencia
void cruceHorarioClase(CromosomaEtapa1 padre1, CromosomaEtapa1 padre2, int indice)...

3 referencias
void mutacionHorarioClase(int i)...

1 referencia
void procesoCombinarHorarioClases()...

1 referencia
void elitismoHorasClases(int generacion)...
```

Fig. 1. Primer algoritmo genético – Asignar Horas a las clases
Elaboración propia del autor.

```
// Generar Población de la Segunda Etapa
1 referencia
void generarPoblacionInicialAulaClase() // Asignar Aula a una Clase ...

2 referencias
void calcularAptitudAulasClases(int pobAulCla)...

2 referencias
int seleccionarIndividuosHorarioClaseAula() // Selección por Orden Lineal (LR)...

1 referencia
void cruceAulaClase(CromosomaEtapa2 padre1, CromosomaEtapa2 padre2, int indice)...

3 referencias
void mutacionAulaClase(int i)...

1 referencia
void procesoCombinarAulaClases()...

1 referencia
void elitismoAulaClases(int generacion)...

1 referencia
void PosicionarMejorHorarioClase()...

1 referencia
void PosicionarMejorAulaClase()...
```

Fig. 2. Segundo algoritmo genético – Asignar Aulas a las clases
Elaboración propia del autor.

- Para ambas fases, se definió la generación de la población en base al número de generaciones e individuos establecidos, el cálculo de la aptitud de cada individuo (se implementaron las restricciones de elaboración de horarios).
- Luego, se realizó el proceso de combinación en el cual dependiendo del porcentaje de probabilidad de cruce o mutación cada individuo varía sus valores, y se desarrolla la función de selección de individuos aplicando la selección por orden lineal para obtener aleatoriamente a los mejores individuos. A

continuación, se va creando la nueva generación de individuos en base al cruce de los mejores individuos seleccionados (puede mejorar como empeorar el resultado final).

- Seguido, se elabora la función de elitismo con el que pasaremos los dos mejores individuos de una generación a la nueva generación que se formó.

```
// FUNCIÓN PRINCIPAL
1 referencia
public void elaborarHorario() // Funcion Principal
{
    finalizar = false;
    while(!finalizar){
        // Asignar Horas a las clases - Etapa 1
        generarPoblacionInicialHorarioClase();
        for (int i = 0; i < cantidadGeneraciones; i++)
        {
            calcularAptitudHorasClases(1);
            procesoCombinarHorarioClases(); // Cruce y Mutación
            calcularAptitudHorasClases(2);
            elitismoHorasClases(i);
            poblacionHorarioClase = poblacionHorarioClaseHijos;
            if (finalizar){
                if (poblacionHorarioClase[0].aptitud<200)
                    finalizar = false;
                break;
            }
        }
        PosicionarMejorHorarioClase();
        // Asignar Aulas a las clases - Etapa 2
        finalizar = false;
        while (!finalizar)
        {
            generarPoblacionInicialAulaClase();
            for (int i = 0; i < cantidadGeneraciones; i++)
            {
                calcularAptitudAulasClases(1);
                procesoCombinarAulaClases(); // Cruce y Mutación
                calcularAptitudAulasClases(2);
                elitismoAulaClases(i);
                poblacionAulaClase = poblacionAulaClaseHijos;
                if (finalizar)
                {
                    break;
                }
            }
        }
        PosicionarMejorAulaClase();
    }
}
```

Fig. 3. Función Principal del Sistema Generador de Horarios de Clases
Elaboración propia del autor.

- Después, se implementaron los mantenedores de las clases relacionadas con el horario con la finalidad que el cliente pueda variar los resultados a sus necesidades.
- Para la fase de despliegue, se utilizó el servicio App Services de Azure para publicar el sistema en la web. También, se utilizó el servicio SQLDatabase para

centralizar y facilitar el acceso de la información del sistema.

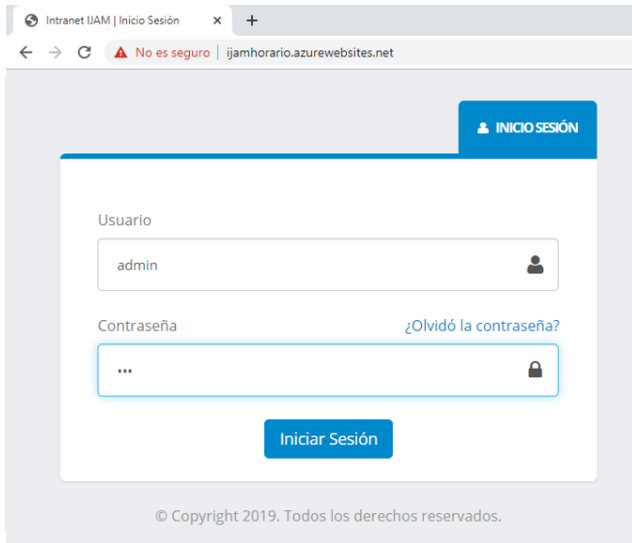


Fig. 4. Sistema desplegado – Ventana de Inicio de Sesión
Elaboración propia del autor.

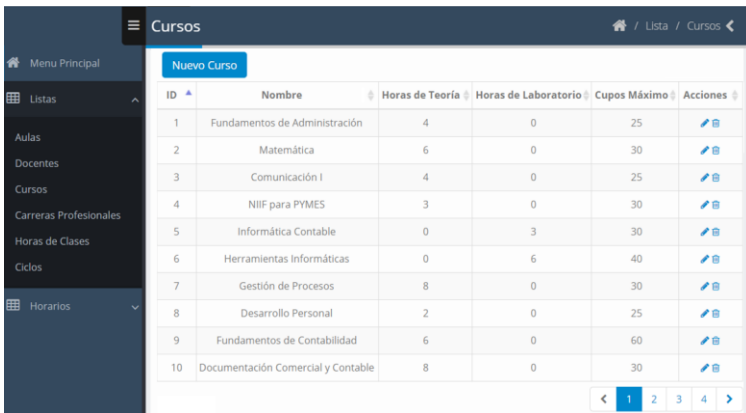


Fig. 5. Sistema desplegado – Mantenedores del sistema
Elaboración propia del autor.

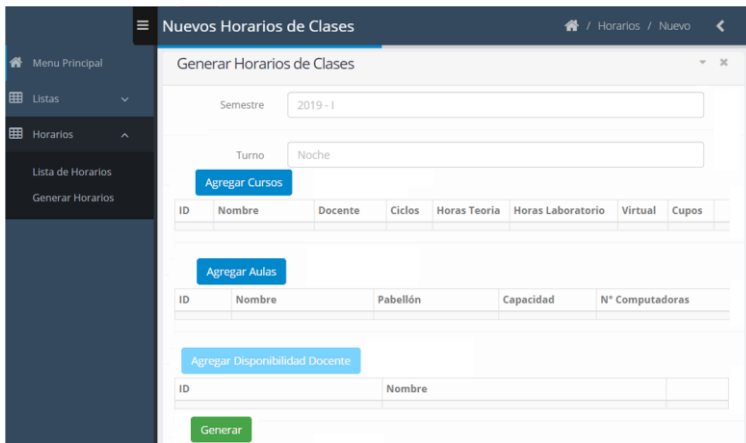


Fig. 6. Sistema desplegado – Generador de Horarios
Elaboración propia del autor.

F. Etapa 3: Pruebas

Se realizó un plan de pruebas para cada historia de usuario registrada, se evalúa el cumplimiento de los requerimientos o funcionalidades esperadas.

Nombre del proyecto	Algoritmo genético en la elaboración de horarios de la institución	Nombre del navegador	Google Chrome		
No. Caso de prueba	1	Version	1.0		
Hecho por	Willy Salvador León	Desarrollado por	Sistema web generador de horarios de clases de docentes, idios y aulas		
Probado por	Kelly Chilla Correa	Probado en	Laptop DELL Inspiron 15 5000 Series		
Historia de Usuario	Prueba #	Acción	Resultados esperados	Resultados Actuales	Aprobado
COMO Usuario quiero ingresar a la aplicación a través de usuario y contraseña para tener acceso al sistema	Características	Iniciar sesión a través de un usuario y contraseña			
	Caso Prueba 1	Ingresar usuario y contraseña correctos	Debe permitir un usuario válido, registrado en el sistema	Permite ingresar un usuario registrado en el sistema	SI
	Paso 1	Ingresar usuario correcto	Debe permitir un usuario válido, registrado en el sistema	Permite ingresar un usuario registrado en el sistema	SI
	Paso 2	Hacer clic en el botón 'Iniciar sesión'	Debe mostrar el mensaje principal	Muestra el mensaje principal	SI
	Caso Prueba 2	Ingresar usuario y contraseña incorrectos	Debe mostrar el mensaje "Usuario o Contraseña incorrecta"	Muestra mensaje: "Usuario o Contraseña incorrecta"	SI
	Paso 1	Ingresar usuario incorrecto	Debe mostrar el mensaje "Usuario o Contraseña incorrecta"	Muestra mensaje: "Usuario o Contraseña incorrecta"	SI
	Paso 2	Ingresar contraseña incorrecta	Debe mostrar el mensaje "Usuario o Contraseña incorrecta"	Muestra mensaje: "Usuario o Contraseña incorrecta"	SI
	Paso 3	Hacer clic en el botón 'Iniciar sesión'	No debe permitir el inicio de sesión	No permite el inicio de sesión	SI
	Caso Prueba 3	Ingresar usuario y contraseña vacíos	Debe mostrar: "Complete este campo"	Muestra mensaje: "Complete este campo"	SI
	Paso 1	No ingresa usuario	Debe mostrar: "Complete este campo"	Muestra mensaje: "Complete este campo"	SI
Paso 2	No ingresa contraseña	Debe mostrar: "Complete este campo"	Muestra mensaje: "Complete este campo"	SI	
Paso 3	Hacer clic en el botón 'Iniciar sesión'	No debe permitir el inicio de sesión	No permite el inicio de sesión	SI	
Como Usuario quiero Gestionar la información de los docentes, los cursos, las aulas y las carreras profesionales	Características	Registrar, registrar, editar y eliminar la información de los cursos, docentes, aulas y carreras profesionales			
	Caso Prueba 1	Ingresar datos correctos	Debe permitir registrar los datos correctos	Permite el registro de los datos correctos	SI
	Paso 1	Ingresar datos correctos	Debe permitir registrar los datos correctos	Permite el registro de los datos correctos	SI
	Paso 2	Seleccionar las opciones (combos) conectar	Debe permitir registrar los datos correctos	Permite el registro de los datos correctos	SI
	Paso 3	Hacer clic en el botón 'Registrar'	Debe registrar los datos y redireccionar a la Vista lista de los datos	Permite registrar los datos y redireccionar a la Vista lista de los datos	SI
	Caso Prueba 2	Ingresar datos vacíos	Debe mostrar: "Complete este campo"	Muestra mensaje: "Complete este campo"	SI
	Paso 1	No ingresa datos	Debe mostrar: "Complete este campo"	Muestra mensaje: "Complete este campo"	SI
	Paso 2	No selecciona opciones	No debe permitir registrar los datos	No permite registrar los datos	SI
	Paso 3	Hacer clic en el botón 'Registrar'	No debe registrar y redireccionar al formulario nuevamente	No registrar y redireccionar al formulario nuevamente	SI
	Caso Prueba 3	Registrar nuevos datos	Debe mostrar un formulario para el registro	Muestra un formulario para el registro	SI
Paso 1	Hacer clic en el botón "Nuevo"	Debe mostrar un formulario para el registro	Muestra un formulario para el registro	SI	
Paso 2	Lista las opciones (combos) el mensaje	Debe de guardar los datos del curso en una "sesión" y redireccionar al formulario general de horario	Permite guardar los datos del curso en una "sesión" y redireccionar al formulario general de horario	SI	
Caso Prueba 4	Editar datos	Debe mostrar un formulario para la edición	Muestra un formulario para la edición	SI	
Paso 1	Hacer clic en el botón "Editar"	Debe mostrar un formulario para la edición	Muestra un formulario para la edición	SI	
Paso 2	Lista las opciones (combos) el mensaje	Debe de listar las opciones seleccionadas	Lista las opciones seleccionadas	SI	
Caso Prueba 5	Eliminar datos	Debe de eliminar el dato y refrescar la lista de los datos	Elimina el dato y refresca la lista de los datos	SI	
Paso 1	Hacer clic en el botón "Eliminar"	Debe de eliminar el dato y refrescar la lista de los datos	Elimina el dato y refresca la lista de los datos	SI	
Como Usuario quiero Registrar los cursos, docentes y aulas para el semestre académico	Características	Registrar los cursos, docentes y aulas que se dictarán en un semestre académico para elaborar un horario de clases de años			
	Caso Prueba 1	Agregar Cursos	Debe mostrar el formulario de agregar cursos	Muestra el formulario de agregar cursos	SI
	Paso 1	Hacer clic en el botón "Agregar Cursos"	Debe mostrar el formulario de agregar cursos	Muestra el formulario de agregar cursos	SI
	Paso 2	Lista las opciones (combos) de cursos, docentes y aulas	Debe mostrar listas (combos) de cursos, docentes y aulas	Muestra las listas (combos) de cursos, docentes y aulas	SI
	Paso 3	Selecciona las opciones (combos) el sistema	Debe permitir seleccionar las opciones correctas	Permite seleccionar las opciones correctas	SI
	Caso Prueba 2	Agregar Aulas	Debe permitir mostrar un modal con una lista (combos) de aulas	Muestra modal con una lista (combos) de aulas	SI
	Paso 1	Hacer clic en el botón "Agregar Aulas"	Debe permitir mostrar un modal con una lista (combos) de aulas	Muestra modal con una lista (combos) de aulas	SI
	Paso 2	Selecciona un aula	Debe permitir seleccionar una opción correcta	Permite seleccionar la opción correcta	SI
	Paso 3	Hacer clic en el botón "Agregar"	Debe permitir registrar en una "sesión" los datos del aula y redireccionar al formulario general de horario	Permite registrar en una "sesión" los datos del aula y redireccionar al formulario general de horario	SI
	Caso Prueba 3	Ingresar datos incorrectos	Debe permitir registrar los datos correctos	Permite registrar los datos correctos	SI
Paso 1	Ingresar datos incorrectos	Debe permitir registrar los datos correctos	Permite registrar los datos correctos	SI	
Paso 2	Hacer clic en el botón "Generar"	Debe permitir generar los horarios de clases	Permite generar los horarios de clases, redireccionar a la vista	SI	
Caso Prueba 4	Ingresar datos vacíos	Debe mostrar el mensaje "Complete este campo"	Muestra mensaje: "Complete este campo"	SI	
Paso 1	No ingresa datos	Debe mostrar el mensaje "Complete este campo"	Muestra mensaje: "Complete este campo"	SI	
Paso 2	Hacer clic en el botón "Generar"	No debe permitir generar los horarios de clases	No genera los horarios de clases	SI	

Fig. 7. Plan de Pruebas
Elaboración propia del autor.

Fig. 8. Horario de Clases por Semestre (Ciclo) y Carrera
Elaboración propia del autor.

Fig. 9. Horario de Clases por Docente
Elaboración propia del autor.

The screenshot shows a software interface for class scheduling. The main window is titled 'Horarios de Clases - Aulas' and displays a weekly timetable for 'Aula: A - 1 - Pabellón A' during the 'Período: 2019 - II - Turno: Noche'. The timetable is organized by days of the week (Lunes to Viernes) and time slots (6:30 pm - 7:15 pm, 7:15 pm - 8:00 pm, 8:00 pm - 8:20 pm, 8:20 pm - 9:05 pm, 9:05 pm - 9:50 pm). Courses listed include 'Fundamentos de Administración', 'Gestión de Procesos', 'Comunicación I', and 'Lic. Jolly Armas'. Each entry specifies the course name, instructor (Cpc. Manuel Quijpe), and class capacity (e.g., 40, 30, 25).

Fig. 10. Horario de Clases por Aula
Elaboración propia del autor.

VII. RESULTADOS

A. Asignación de Horarios

ANTES – TIEMPO

El tiempo total en la asignación de horarios en la carrera de Administración es de 28 horas.

Tabla 4: ANTES – TIEMPO – ADMINISTRACIÓN

Dimensión	Tiempo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Tiempo de planificación de clases.	Fecha de Fin (dd/mm/aa hh:mm) – Fecha de Inicio (dd/mm/aa hh:mm)	h	4h	28h
Tiempo de elaboración de horarios.	Fecha de Fin (dd/mm/aa hh:mm) – Fecha de Inicio (dd/mm/aa hh:mm)		24h	

Elaboración propia del autor.

El tiempo total en la asignación de horarios en la carrera de Contabilidad es de 28 horas.

Tabla 5: ANTES – TIEMPO – CONTABILIDAD

Dimensión	Tiempo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Tiempo de planificación de clases.	Fecha de Fin (dd/mm/aa hh:mm) – Fecha de Inicio (dd/mm/aa hh:mm)	h	4h	28h
Tiempo de elaboración de horarios.	Fecha de Fin (dd/mm/aa hh:mm) – Fecha de Inicio (dd/mm/aa hh:mm)		24h	

hh:mm)			
--------	--	--	--

Elaboración propia del autor.

DESPUÉS – TIEMPO

El tiempo total en la asignación de horarios en la carrera de Administración se redujo a 4.36 horas.

Tabla 6: DESPUÉS - TIEMPO – ADMINISTRACIÓN

Dimensión	Tiempo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Tiempo de planificación de clases.	Fecha de Fin (dd/mm/aa hh:mm) – Fecha de Inicio (dd/mm/aa hh:mm)	h	4h	4.36h
Tiempo de elaboración de horarios.	Fecha de Fin (dd/mm/aa hh:mm) – Fecha de Inicio (dd/mm/aa hh:mm)		0.36h	

Elaboración propia del autor.

El tiempo total en la asignación de horarios en la carrera de Contabilidad se redujo a 4.39 horas.

Tabla 7: DESPUÉS - TIEMPO – CONTABILIDAD

Dimensión	Tiempo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Tiempo de planificación de clases.	Fecha de Fin (dd/mm/aa hh:mm) – Fecha de Inicio (dd/mm/aa hh:mm)	h	4h	4.39h
Tiempo de elaboración de horarios.	Fecha de Fin (dd/mm/aa hh:mm) – Fecha de Inicio (dd/mm/aa hh:mm)		0.39h	

Elaboración propia del autor.

ANTES – COSTOS

El costo total de asignación de horarios en la carrera de Administración es de S/. 286.10.

Tabla 8: ANTES – COSTOS – ADMINISTRACIÓN

Dimensión	Costo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Costo hora de asignación de horarios.	Costo por hora de Trabajo * Cantidad total de horas de trabajo	S/.	S/. 280.00	S/. 286.10

Costo de materiales.	(precio producto 1 * cantidad producto 1) + (precio producto 2 * cantidad producto 2) + ... + (precio producto n * cantidad producto n)		S/. 6.10	
----------------------	---	--	----------	--

Elaboración propia del autor.

El costo total de asignación de horarios en la carrera de Contabilidad es de S/. 286.10.

Tabla 9: ANTES – COSTOS – CONTABILIDAD

Dimensión	Costo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Costo hora de asignación de horarios.	Costo por hora de Trabajo * Cantidad total de horas de trabajo		S/. 280.00	
Costo de materiales.	(precio producto 1 * cantidad producto 1) + (precio producto 2 * cantidad producto 2) + ... + (precio producto n * cantidad producto n)	S/.	S/. 6.10	S/. 286.10

Elaboración propia del autor.

DESPUÉS – COSTOS

El costo total de asignación de horarios en la carrera de Administración se redujo a S/. 43.60.

Tabla 10: DESPUÉS – COSTOS – ADMINISTRACIÓN

Dimensión	Costo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Costo hora de asignación de horarios.	Costo por hora de Trabajo * Cantidad total de horas de trabajo		S/. 43.60	
Costo de materiales.	(precio producto 1 * cantidad producto 1) + (precio producto 2 * cantidad producto 2)	S/.	S/. 0.00	S/. 43.60

	producto 2) + ... + (precio producto n * cantidad producto n)			
--	---	--	--	--

Elaboración propia del autor.

El costo total de asignación de horarios en la carrera de Contabilidad se redujo a S/. 43.90.

Tabla 11: DESPUÉS – COSTOS – CONTABILIDAD

Dimensión	Costo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Costo hora de asignación de horarios.	Costo por hora de Trabajo * Cantidad total de horas de trabajo		S/. 43.90	
Costo de materiales.	(precio producto 1 * cantidad producto 1) + (precio producto 2 * cantidad producto 2) + ... + (precio producto n * cantidad producto n)	S/.	S/. 0.00	S/. 43.90

Elaboración propia del autor.

ANTES – RESULTADOS

La proporción total de los resultados en la carrera de Administración es de 1.0.

Tabla 12: ANTES – RESULTADOS – ADMINISTRACIÓN

Dimensión	Costo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Porcentaje de aulas utilizadas.	$x = \text{N}^\circ \text{ Aulas utilizadas} / \text{Total de aulas}$ $f(x) = \begin{cases} 1 + (1 - (x)) & x \leq 1 \\ 1 - ((x) - 1) & x > 1 \end{cases}$		1.0	
Porcentaje de cumplimiento de capacidad de grupos de cursos.	Nº Clases satisfechas / Total de Clases	Q	1.0	1.0

Elaboración propia del autor.

La proporción total de los resultados en la carrera de Contabilidad es de 0.9.

Tabla 13: ANTES – RESULTADOS – CONTABILIDAD

Dimensión	Costo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Porcentaje de aulas utilizadas.	$x = \text{N}^\circ \text{ Aulas utilizadas} / \text{Total de aulas}$ $f(x) = \begin{cases} 1 + (1 - (x)) & x \leq 1 \\ 1 - ((x) - 1) & x > 1 \end{cases}$		1.0	0.9
Porcentaje de cumplimiento de capacidad de grupos de cursos.	Nº Clases satisfechas / Total de Clases	Q	0.8	

Elaboración propia del autor.

DESPUÉS – RESULTADOS

La proporción total de los resultados en la carrera de Administración se mantuvo en 1.0.

Tabla 14: DESPUÉS – RESULTADOS – ADMINISTRACIÓN

Dimensión	Costo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Porcentaje de aulas utilizadas.	$x = \text{N}^\circ \text{ Aulas utilizadas} / \text{Total de aulas}$ $f(x) = \begin{cases} 1 + (1 - (x)) & x \leq 1 \\ 1 - ((x) - 1) & x > 1 \end{cases}$		1.0	1.0
Porcentaje de cumplimiento de capacidad de grupos de cursos.	Nº Clases satisfechas / Total de Clases	Q	1.0	

Elaboración propia del autor.

La proporción total de los resultados en la carrera de Contabilidad aumentó a 1.0, satisfaciendo óptimamente los resultados.

Tabla 15: DESPUÉS – RESULTADOS – CONTABILIDAD

Dimensión	Costo			
Indicador	Fórmula	UM	Resultado	Total
Porcentaje de aulas utilizadas.	$x = \text{N}^\circ \text{ Aulas utilizadas} / \text{Total de aulas}$ $f(x) = \begin{cases} 1 + (1 - (x)) & x \leq 1 \\ 1 - ((x) - 1) & x > 1 \end{cases}$		1.0	1.0
Porcentaje de cumplimiento de capacidad de grupos de cursos.	Nº Clases satisfechas / Total de Clases	Q	1.0	

Elaboración propia del autor.

EFICIENCIA – ANTES

La proporción total de la eficiencia en las dos carreras es de 0.96. Cuando la proporción es mayor o igual a 1.0, quiere decir que se está realizando el proceso eficientemente.

Tabla 16: ANTES – PARÁMETROS EFICIENCIA

Eficiencia						
Carreras Técnicas	Tiempo Obtenido Antes	Costo Obtenido Antes	Resultado Obtenido Antes	Tiempo Esperado	Costo Esperado	Resultado Esperado
Administración	28h	S/.286.10	1.0	32	S/.326.30	1.0
Contabilidad	28h	S/.286.10	0.9	32	S/.326.30	1.0

Elaboración propia del autor.

Tabla 17: ANTES – EFICIENCIA

Eficiencia				
Carreras Técnicas	Fórmula	UM	Resultado	Total
Administración	$Eficiencia = \frac{\left(\frac{RO}{CO}\right) * TO}{\left(\frac{RE}{CE}\right) * TE}$		1.0	0.96
Contabilidad	Donde: RO: Resultado Obtenido CO: Costo Obtenido TO: Tiempo Obtenido RE: Resultado esperado CE: Costo Esperado TE: Tiempo Esperado	Q	0.91	

Elaboración propia del autor.

EFICIENCIA – DESPUÉS

La proporción total de la eficiencia en las dos carreras es de 1.07, esto quiere decir que se está realizando el proceso eficientemente.

Tabla 18: DESPUÉS – PARÁMETROS EFICIENCIA

Eficiencia						
Carreras Técnicas	Tiempo Obtenido Después	Costo Obtenido Después	Resultado Obtenido Después	Tiempo Esperado	Costo Esperado	Resultado Esperado
Administración	4.36h	S/.43.60	1.0	28h	S/.286.30	1.0
Contabilidad	4.39h	S/.43.90	1.0	28h	S/.286.30	0.90

Elaboración propia del autor.

Tabla 19: DESPUÉS – EFICIENCIA

Eficiencia				
Carreras Técnicas	Fórmula	UM	Resultado	Total
Administración	$Eficiencia = \frac{\left(\frac{RO}{CO}\right) * TO}{\left(\frac{RE}{CE}\right) * TE}$		1.02	1.07
Contabilidad	Donde: RO: Resultado Obtenido CO: Costo Obtenido TO: Tiempo Obtenido RE: Resultado esperado CE: Costo Esperado TE: Tiempo Esperado	Q	1.12	

Elaboración propia del autor.

VIII. DISCUSIONES

En los resultados mostrados en la eficiencia, se puede apreciar que la eficiencia en la asignación de horarios fue del 95% antes de usar la solución de algoritmos genéticos. Posteriormente, después de haberla usado, el valor obtenido fue de 100%. En base a los autores Víctor Suarez Chilma, Omar Castrillón Gómez y Álvaro Guerrero Aguirre (2013) [8], en la investigación “Class Schedule Assignment Based on Students Learning Rhythms Using A Generic Algorithm” afirmaron que la metodología desarrollada basada en algoritmos genéticos logró una mejora del 12,3% en la asignación de horarios de clase en comparación al sistema actual de la escuela de estudio asegurando una eficiencia de más del 92%. Asimismo, Víctor Suárez, Álvaro Guerrero y Omar Castrillón (2013) [12] en el artículo “Programación de Horarios Escolares basados en Ritmos Cognitivos usando un Algoritmo Genético de Clasificación No-dominada, NSGA-II” aportaron que obtuvieron una eficiencia del 44,74% con el uso del algoritmo sobre otros aplicados al mismo problema y evaluados en la misma forma.

De la misma forma, los resultados mostrados en la dimensión tiempo, se puede apreciar que el tiempo promedio en la asignación de horarios fue 28 horas antes de usar la solución de algoritmos genéticos. Posteriormente, después de haberla usado, el valor obtenido fue de 4,36 horas. Esto demuestra una disminución bastante notable del tiempo empleado para la planificación y asignación de horarios en el instituto de educación superior tecnológico privado John A. Mackay. Además, la solución de algoritmos genéticos es comprendida por las dimensiones de eficiencia, tiempo, costos y resultados. Del mismo modo, los autores Demetrio Rey, Luis Llave, Enrique Flores, Víctor Barrios, Braulio de Abreu y José Nazar (2015) [13] en la investigación “Asignación de Horarios para los alumnos de la facultad de Ingeniería UC” encontraron que se tiene un alto porcentaje de efectividad, calidad y rapidez de asignación debido a que se obtuvo un 44% de satisfacción total con un tiempo de ejecución de 790 segundos. En cuanto a la dimensión de resultados, José Mejía Caballero y Carlos Paternina Arboleada (2010) [2], en la investigación “Asignación de horarios de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos” muestran que es posible resolver problemas de gran tamaño en un tiempo de ejecución menor a los 10 minutos obteniendo una óptima programación de horarios para cada una de las asignaturas considerando las restricciones, periodos asignados y espacios de tiempo deseados.

En los valores mostrados en la dimensión resultados, se puede apreciar que el porcentaje de resultados obtenidos en la asignación de horarios fue del 95% antes de usar la solución de algoritmos genéticos. Posteriormente, después de haberla usado, el valor obtenido fue de 100%. Por otro lado, Camilo Torres Ovalle, Jairo Montoya Torres, Carlos Quintero Araújo, Angélica Sarmiento Lepesqueur y Mónica Castilla Luna (2014) [10], en la investigación “University Course Scheduling and Classroom Assignment” hallaron como

resultado la reducción del número de aulas utilizadas al medio día siendo el 9,8% de las aulas usadas, el 50% de las aulas asignadas no son muy utilizadas, un 15,8% de reducción de aulas utilizadas en total y una reducción del 19,5% en el número de horas lectivas programadas.

IX. CONCLUSIONES

Al implementar el algoritmo genético tuvo una influencia positiva en la eficiencia de la asignación de horarios de la institución, llegando a obtener un 100% en el resultado de la eficiencia. Asimismo, se demostró la influencia de un algoritmo genético en el tiempo empleado de la asignación de horario, disminuyendo el tiempo laboral en aproximadamente 9 horas y media. Asu vez, se demostró la influencia de un algoritmo genético en los costos de la asignación de horarios, disminuyendo el costo del proceso en S/. 242.7. Finalmente, no se demostró la influencia positiva de un algoritmo genético en los resultados de la asignación de horarios, el aumento fue mínimo de un 0.05% la distribución y aptitud en el manejo de recursos, pero demuestra que el sistema llega a tener un porcentaje de resultados más que el especialista encargado de elaborar horarios de clases.

X. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones basados en el mismo tema del proyecto realizado, se recomienda mejorar la interacción del usuario con el sistema al momento de ingresar los cursos, docentes, ciclos y aulas para generar un horario de clases, de esta forma se reducirá el tiempo y carga laboral en el sistema.

También, si se desea implementar la funcionalidad de disponibilidad de horas de docentes, tomando en cuenta los días y las horas determinadas que un docente está disponible para dictar una clase, la complejidad de generar horarios de clases aumentará considerablemente, pero será un gran beneficio para la institución.

AGRADECIMIENTO

A Dios el que me acompaña y me apoya en todos mis proyectos. También a mi familia, que siempre se han preocupado por mí, y formando la persona que soy ahora frente a los diversos problemas de la vida. Y a todas las personas queridas e importantes que me han ayudado a cumplir esta investigación.

REFERENCES

- [1] Hernández R., Miranda J. & Rey A. Programación de Horarios de Clases y Asignación de Salas para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Diego Portales Mediante un Enfoque de Programación Entera. Revista Ingeniería de Sistemas - Volumen XXII. Obtenido de: http://www.dii.uchile.cl/ris/RISXXII/horariosUDP_RISVersion%20FINA L.pdf, 2008.

- [2] Mejía J. & Paternina C. Asignación De Horarios De Clases Universitarias Mediante Algoritmos Evolutivos. *Revista Educación En Ingeniería*, 5(9), 140-149. Obtenido de: <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/15>, 2010.
- [3] Hinton K. A Practical Guide to Strategic Planning in Higher Education. Michigan: Society for College and University Planning. Obtenido de: <https://oira.cortland.edu/webpage/planningandassessmentresources/planningresources/SCPGuideonPlanning.pdf>, 2012.
- [4] Rodríguez W. Aplicación de Algoritmos Meta-Heurísticos a la Asignación de Salas y Salones, Programa Ingeniería de Sistemas Jornada Diurna Universidad Libre. Bogotá: Universidad Libre. Obtenido de: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/8799>, 2010.
- [5] Fiallos J., García J. & Pérez J. Diseño de un sistema de asignación automática de horario de clases: Caso UNITEC. Tegucigalpa, Honduras. Obtenido de: http://www.laccei.org/LACCEI2008-Honduras/Papers/PO131_Fiallos.pdf, 2008.
- [6] Ramos F. Sistema para la generación de horarios académicos en instituciones universitarias usando algoritmo Tabú. Perú: Repositorio de Tesis Digitales. Obtenido de: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4913/Ramos_mf.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 2012.
- [7] Cortez A., Rosales G., Naupari R. & Vega H. Sistema de apoyo a la generación de horarios basado en algoritmos genéticos. En *Revista de Investigación de Sistemas e Informática*, 7(1) pp. 37-55. Obtenido de: <https://pdfs.semanticscholar.org/eb88/17d24497222102845fdaa5e8759db86a7a9e.pdf>, 2010.
- [8] Suarez V., Castrillón O. & Guerrero A. Class Schedule Assignment Based on Students Learning Rhythms Using A Genetic Algorithm. En *Revista Scielo*, 9(17) pp. 77-95. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-91652013000100005&script=sci_arttext&tlng=pt, 2013.
- [9] Benitez, A, Gomez. V, Salgado. S & Chiapas. R. (2015). Herramienta para la Generación de Horarios empleando Algoritmos Genéticos. *Revista de Tecnología e Innovación*. Vol. (2) N° 2. 196-205. Obtenido de: http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologia_e_innovacion/vol2num2/Tecnologia-e-Innovacion-113-122.pdf.
- [10] Torres. C., Montoya. J, Quintero. C., Sarmiento. A. & Castilla. M. University Course Scheduling and Classroom Assignment. *Ingeniería y Universidad*, 18(1), 59-75 ISSN: 0123-2126. Obtenido de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262014000100004, 2014.
- [11] Kuri A. & Galaviz J. Algoritmos Genéticos. México: Instituto Politécnico Nacional. Obtenido de: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upnortesp/detail.action?docID=3194055>, 2009.
- [12] Suárez V., Guerrero A., Castrillón O. Programación de Horarios Escolares basados en Ritmos Cognitivos usando un Algoritmo Genético de Clasificación No-dominada, NSGA-II. En revista *Información Tecnológica*, 24(1), pp. 103-114. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642013000100012&script=sci_arttext, 2013.
- [13] Rey. D, Llave. L, Flores. E, Barrios, V, Abreu. B & Nazar. J. Asignación de Horarios para los alumnos de la facultad de ingeniería UC. Uruguay: Universidad de Carabobo. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/281244220_Asignacion_de_Horarios_para_los_Alumnos_de_la_Facultad_de_Ingenieria_UC, 2015.