



**REVISION DE LITERATURA Y PROPUESTA METODOLOGICA PARA
CONSTRUIR UN PROCESO DE ASINACION EN INVESTIGACION
OPERATIVA - CASO DE ESTUDIO EN ASIGNACION DE DOCENTES A
MATERIAS**

**Jairo Steven Jimenez Tang-Chang
Rafael Leonardo Rosas Martinez**

**Universidad ECCI
Facultad de Ingeniería Industrial
Ciudad, Colombia
2015**

**REVISION DE LITERATURA Y PROPUESTA METODOLOGICA PARA
CONSTRUIR UN PROCESO DE ASINACION EN INVESTIGACION
OPERATIVA - CASO DE ESTUDIO EN ASIGNACION DE DOCENTES A
MATERIAS**

**Jairo Steven Jimenez Tang-Chang
Rafael Leonardo Rosas Martinez**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al
título de:

Ingeniero Industrial

Director (a):

Phd (c) Jorge Iván Romero Gelvez

Línea de Investigación:

GESTIÓN, MEJORA Y OPTIMIZACION DE PROCESOS PRODUCTIVOS

Grupo de Investigación:

GIPA

Universidad ECCI

Facultad de Ingeniería Industrial

Bogotá, Colombia

2015

Nuestras virtudes y nuestros defectos son
inseparables, como la fuerza y la materia.
cuando se separan, el hombre deja de existir.

Nikola Tesla.

Agradecimientos

A nuestros queridos padres, hermanos, amigos y docentes que siempre creyeron en nosotros y nos apoyaron durante este largo proceso para llegar a ser quienes somos hoy día.

Resumen

El propósito de este proyecto se centra en la construcción de una metodología para la correcta programación de un modelo de asignación de docentes a materias en la facultad de ingeniería industrial de la universidad ECCI, investigando los modelos meta heurísticos que permitan la adecuada asignación de docentes versus materias teniendo en cuenta el uso de las variables del entorno, dando cumplimiento a los requisitos exigidos por la universidad, tal como se halló en artículos realizados en universidades colombianas donde se lograron propuestas para mejorar el proceso de asignación que se desarrollaba en estas, partiendo de la diferencia que existe al asignar materias y docentes en instituciones educativas (colegios) y universidades; obteniendo así un método que favorezca a la correcta administración de los recursos de la universidad.

Palabras clave: Programación, Metaheurística, Metodología, Horarios universitarios, Búsqueda Tabú.

Abstract

The purpose of this project is focused on building a correct methodology for programming a model assignment of teachers to subjects at the Faculty of industrial engineering of the University ECCI, investigating meta heuristic models that allow the appropriate allocation of teachers versus materials taking into consider the use environment variables, in compliance with the requirements of the university, such as found in items made in Colombian universities where proposals are able to improve the allocation process that was developed in these, starting from the difference to assign materials and teachers in educational institutions (schools) and universities; thus obtaining a method that favors the proper management of the resources of the university.

Keywords: Programming, Metaheuristics, Methodology, university timetables, Tabu Search.

Contenido

	Pág.
Resumen	2
Lista de formulas	4
Lista de figuras	5
Lista de tablas	6
Lista de ilustraciones	7
Introducción	8
1. Contexto del Proyecto	9
1.1 Problemática.....	10
1.1.1 Objetivos.....	11
1.1.1.1 Objetivo general	11
Proponer una metodología basada en revisión de literatura para solucionar el problema de asignación de docentes a materias.....	11
1.1.1.2 Objetivos específicos.....	11
2. Marco teórico	12
2.1 Investigación de operaciones.....	12
2.1.1 Programación Dinámica	14
2.2 Metaheurística.....	14
2.2.1 Algoritmo genético	15
2.2.2 Enjambre de partículas	23
2.2.3 Búsqueda tabú (Tabú Search)	29
2.4.4 RECOCIDO SIMULADO:	37
2.4.5 GRASP (Greedy Randomized adaptive search Procedure):.....	39
3. Diseño y desarrollo metodológico	45
3.1 Diseño Metodológico	45
3.2 Metodología Propuesta.....	45
3.2.1 Variables.....	47
3.3 Segmentación del problema	48
3.4 Selección del Modelo.....	49
4. Conclusiones y recomendaciones	52
4.1 Conclusiones	52
4.2 Recomendaciones	52

Lista de formulas

	Pág.
Fórmula 1. Modelo matemático de asignación de horarios en escuelas colombianas	19
Fórmula 2. FUNCION OBJETIVO GLOBAL	20
Fórmula 3. FUNCION OBJETIVO LOCAL	20
Fórmula 4. intercambio continuo de una población de partículas	24
Fórmula 5. Pbest	26
Fórmula 6. Gbest	26
Fórmula 7. Algoritmo SA	38
Fórmula 8. algoritmo Grasp.....	41
Fórmula 9.algoritmo de construcción (semilla).....	41

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. simulación de enjambre de partículas	25
Figura 2. fase de soluciones del problema	33

Lista de tablas

	Pág.
Tabla1. Cuadro comparativo entre colegios vs universidades para modelos de asignación.	46
Tabla 2. Comparación de artículos hallados con uso de modelos de asignación de docentes a materias.	49

Lista de ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1 diseño metodológico	43

Introducción

El siguiente proyecto de grado pretende brindar una guía metodológica para la construcción de un modelo metaheurístico de asignación de docentes a materias, buscando entre los modelos más empleados para brindar solución a este tipo de problemas, de manera óptima que garantice la satisfacción de los requisitos exigidos por el problema y la universidad. Se desarrollo con el fin de sugerir una solución al problema de asignación de horarios académicos en el entorno universitario de la ECCI, aprovechando al máximo los recursos de la institución, haciendo un mejor uso de las instalaciones y docentes, creando de manera eficiente una construcción de los horarios. Las restricciones carecen de claridad al interior de la Universidad ECCI, a la hora de generar la programación de horarios se presentan varios inconvenientes relacionados con la constante rotación de docentes de cátedra.

Dentro de los modelos destacados se encuentran, algoritmo genético, grasp, tabú search, enjambre por partículas, recocido simulado, el más destacado hasta el día de hoy es el de tabú search, debido a que brinda cierta flexibilidad y el grado de soluciones factibles se acerca al óptimo global, en comparación de los otros modelos, este contiene una memoria artificial que logra crear en cada iteración.

El desarrollo metodológico está dirigido a los últimos semestres de la carrera de ingeniería industrial de la universidad ECCI como primer foco, adaptando el modelo a los requerimientos, restricciones y políticas laborales-académicas que se tienen para los docentes y alumnos, de manera que una vez elaborada la programación y la correcta asignación de docentes y materias se pueda replicar este modelo en diferentes semestres y carreras.

1. Contexto del Proyecto

A lo largo de la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad ECCI se puede apreciar las dificultades que se presentan siempre al comienzo de cada semestre, como lo es empezar clases y que muchos docentes no estén asignados por los diferentes impases que suelen ocurrir en la planeación académica; debido también a la cantidad de restricciones que presenta y el criterio con el que se aplican (Mejía & Paternina, 2010). Nuestra motivación para el siguiente proyecto de grado fue la materia de programación lineal la cual permitió evidenciar la cantidad de soluciones que se podían generar para brindar solución a problemas, se inició la búsqueda y metodología de los modelos de asignación que brindaban solución a problemas de la vida cotidiana identificando una oportunidad de hacer uso de estos modelos mejorando el proceso antes mencionado de asignación de docentes dentro de la carrera pero solo como una idea, al comprender mejor los modelos metaheurísticos en investigación de operaciones I y II decidimos enfocar algún modelo de asignación para resolver esta problemática presentada en la universidad.

Con orientación de un docente experto en esta área se empezó una búsqueda de varios artículos y proyectos relacionados con la asignación de docentes en instituciones educativas, donde se inició una búsqueda para caracterizar los modelos de esta manera se hallaron un sin fin de métodos que fueron de utilidad para nuestro objetivo. La particularidad que se encontró en todos los artículos, es el uso de las mismas variables, docentes, alumnos, materias, capacidad de los salones, horarios, en conjunto con el requerimiento de cada materia, para llevar las clases en salones especializados, según lo requiera la materia.

Se abordó el problema desde diferentes puntos llegando a destacar la construcción de algunos modelos a lo largo de la historia como lo son: grafos coloreados, recocido simulado, algoritmos genéticos, programación con restricciones, algoritmos de búsqueda

local, programación lineal, búsqueda tabú y enjambres de partículas, etc. lo cual nos genero una gran incógnita, ¿cual modelo es el que mejor se adecua a nuestras necesidades?

1.1 Problemática

La investigación de operaciones contiene una gran cantidad de ramas para el desarrollo de problemas relacionados con la asignación, tales como problemas logísticos, de inventarios, en conjunto con modelos de transporte; por lo cual las bases matemáticas de dichos modelos son similares, lo que permite modificar dichos algoritmos y adaptarlos a nuevos problemas, las variables que se encuentran involucradas en el problema, las restricciones o limitaciones que se tienen para brindar una solución; en este caso involucrando horas-hombre con cantidad de salones, horas-cursos, cantidad-salón, son claves para dar la solución, mediante bloques de horarios, limitando las zonas tabú o en donde no se puede ejecutar la búsqueda.

Existen 3 fases del algoritmo para seleccionar los horarios que satisfacen las restricciones, la asignación de horarios a asignaturas, la selección de profesores para con las asignaturas o cursos en donde ellos se sientan más cómodos y con las mayores fortalezas mediante matriz multicriterio, la asignación de asignaturas a salones; una vez culminada estas 3 fases se completa la búsqueda deseada obteniendo como resultado la mejor programación de horarios de la semana.

1.1.1 Objetivos

1.1.1.1 Objetivo general

Proponer una metodología basada en revisión de literatura para solucionar el problema de asignación de docentes a materias

1.1.1.2 Objetivos específicos

- Analizar los diferentes modelos matemáticos que permitan la programación de asignación de docentes en las instituciones educativas.
- Elegir el modelo de programación de asignación de docentes que mejor se adapte a nuestra necesidad.
- Acondicionar el modelo, acorde a la información y al sistema académico.

2. Marco teórico

2.1 Investigación de operaciones

Para contextualizar este proyecto de grado procedimos a citar 2 grandes autores de la investigación de operaciones para dejar en claro el concepto de la Investigación Operativa según Frederick S. Hillier "Como su nombre lo indica, el objetivo de esta disciplina implica "investigar sobre las operaciones". En consecuencia, esta disciplina se aplica a la problemática relacionada con la conducción y la coordinación de *actividades* en una organización. En esencia, la naturaleza de la organización es irrelevante, por lo cual la IO ha sido aplicada de manera extensa en áreas tan diversas como manufactura, transporte, construcción, telecomunicaciones, planeación financiera, cuidado de la salud, fuerzas armadas y servicios públicos, por nombrar sólo unas cuantas. Así, la gama de aplicaciones es inusualmente amplia." (Hillier & Frederick S., 2010)

La IO es una disciplina que nace para dar solución a los problemas de la vida cotidiana mediante la fabricación de modelos matemáticos, que busca obtener soluciones óptimas, determinando la mejor ruta a seguir.

Para la construcción del modelo a desarrollar se deben seguir una serie de pasos como lo enmarca Frederick S. Hillier, de los cuales funcionan como un medio para ejecutar un correcto método científico. "La IO incluye el término investigación en el nombre porque utiliza un enfoque similar al que se aplica en las áreas científicas establecidas. El método científico se utiliza para explorar los diversos problemas que deben ser enfrentados, pero en ocasiones se usa el término management science o ciencia de la administración como sinónimo de investigación de operaciones. El proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema, lo cual incluye la recolección de los datos pertinentes. El siguiente paso es la construcción de un modelo científico —generalmente matemático— con el cual se intenta abstraer la esencia del problema real. En esta etapa se propone la hipótesis de que el modelo será una representación tan precisa de las características esenciales de la situación,

que permitirá que las conclusiones —soluciones— que se obtengan sean válidas también para el problema real." (Hillier & Frederick S., 2010)

Según lo expresa Taha Hamdy en su introducción a la investigación de operaciones surgió a partir del conflicto armado de la segunda guerra mundial con el único propósito de obtener el mejor rendimiento y utilización de los recursos que se tenían para dicha guerra, todo el arsenal armamentista de la época, obteniendo resultados óptimos, logrando los objetivos propuestos; a partir de este momento se le dio importancia a esta materia en las industriales, los problemas del diario vivir, para obtener un mejor rendimiento y productividad de lo que se tiene y lo que se desea lograr en cierto espacio de tiempo.

La solución a los problemas van regidos según la naturaleza del mismo según Hamdy "En la investigación de operaciones no se tiene una sola técnica general con la que se resuelvan todos los modelos matemáticos que surgen en la práctica. En lugar de ello, la clase y la complejidad del modelo matemático determina la naturaleza del método de solución."(Taha, 2010).

En su libro investigación de operaciones Hamdy enmarca los siguiente "Las fases principales de la implementación de la investigación de operaciones en la práctica comprenden:

1. La definición del problema.
2. La construcción del modelo.
3. La solución del modelo.
4. La validación del modelo.
5. La implementación de la solución.

De las cinco fases, sólo la número tres de la solución del modelo es la que está mejor definida y es la más fácil de implementar en un estudio de investigación de operaciones, porque maneja principalmente modelos matemáticos precisos"(Taha, 2010).

2.1.1 Programación Dinámica

La programación dinámica es una técnica matemática útil para la toma de decisiones secuenciales interrelacionadas. Proporciona un procedimiento sistemático para determinar la combinación óptima de decisiones.

En contraste con la programación lineal, no cuenta con una formulación matemática estándar "del" problema de programación dinámica, sino que se trata de un enfoque de tipo general para solucionar problemas; además, las ecuaciones específicas que se usan deben ajustarse a la situación particular. Por tanto, es necesario cierto grado de creatividad y un buen conocimiento de la estructura general de los problemas de programación dinámica para reconocer cuando y como un problema puede ser resuelto por medio de estos procedimientos. Es posible desarrollar mejor estas habilidades mediante la exposición de una gran variedad de aplicaciones de programación dinámica y con el análisis detallado de las características comunes de todas estas situaciones. (Hillier & Frederick S., 2010)

2.2 Metaheurística

"Un método heurístico es un procedimiento que trata de descubrir una solución factible muy buena, pero no necesariamente una solución óptima, para el problema específico bajo consideración. No puede darse una garantía acerca de la calidad de la solución que se obtiene, pero un método heurístico bien diseñado puede proporcionar una solución que al menos está cerca de ser óptima (o concluir que no existen tales soluciones). El procedimiento también debe ser suficientemente eficiente como para manejar problemas muy grandes. Con frecuencia, el procedimiento es un algoritmo iterativo novedoso, donde cada iteración implica la realización de una búsqueda de una nueva solución que puede ser mejor que la solución que se encontró con anterioridad. Cuando el algoritmo termina después de un tiempo razonable, la solución que proporciona es la mejor que se pudo encontrar en cualquier iteración."(Hillier & Frederick S., 2010).

Existe una cierta diferencia entre la heurística y la metaheurística, la heurística busca obtener soluciones mediante métodos sencillos y comunes para lograr resultados de manera rápida y oportuna, a problemas complejos; su principal característica es la búsqueda de

óptimos locales. La metaheurística se forma en base a la continuidad de búsqueda que realiza para obtener una solución factible no siempre óptima, repetidamente según la evolución del algoritmo.

La metaheurística es aplicada principalmente en problemas de decisión combinatorios, que contengan variables enteras o continuas. Las principales características que presentan todos los modelos de la rama metaheurística son los siguientes según (Sait & Youssef, 1999) “Son ciegos y no se saben si llegan a una solución óptima; son algoritmos aproximativos, las soluciones que se generan como nuevas no necesariamente son óptimas. Son modelos sencillos”.

2.2.1 Algoritmo genético

Los principios básicos de los Algoritmos Genéticos fueron establecidos por Holland (1975), y se encuentran bien descritos en varios textos – (Goldberg, 1989), (Davis, 1991), (Michalewicz, 1992), (Reeves, 1993). El algoritmo genético es un método adaptivo y evolutivo empleado para solucionar problemas de búsqueda y optimización, la filosofía empleada por este método es aplicar el concepto evolutivo de la genética, mediante el cual se hace aproximación a una solución óptima. Cada uno de los sujetos que interactúan en el entorno, son puestos a prueba, de los cuales los que logran una mejor adaptación, son las primeras opciones, para llevar a cabo la replicación genética y formar nuevas generaciones hasta llegar al punto de seleccionar el individuo con mejor genética.

Se trabaja bajo un conjunto de genes de los cuales tienes variables 0 o 1, las mutaciones evolutivas permite cambiar de manera aleatoria la composición de los cromosomas y por ende al individuo; una de los mayores avances en este algoritmo genético es algo conocido como los cruces entre individuos.

Para dar una definición más clara de los algoritmos genéticos citamos a Goldberg “Algoritmos de búsqueda basados en los mecanismos de selección natural y genética natural. Combinan la supervivencia de los más compatibles entre las estructuras de cadenas, con una estructura de información ya aleatorizada, intercambiada para construir un algoritmo de búsqueda con algunas de las capacidades de innovación de la búsqueda humana”(Goldberg, 1989).

Los elementos que integran el algoritmo genético son los siguientes: Cromosomas los cuales están compuestos por cadenas de ADN, dentro del algoritmo este son las diferentes soluciones del problema, los cromosomas están compuestos de genes, que representan las características físicas del genotipo, los genes son representados como bloques de bits, cada característica para alterar dentro del genotipo se le conoce como alelo; estos alelo se encuentran ubicados en un cadena de bit cuyo valor será 0 o 1. En el mundo animal los seres humanos están conformados por grupos de 23 cromosomas, en el momento a la fecundación y creación de un nuevo individuo se comparten estos 23 cromosomas entre el padre y la madre. El cruce es conocido como el intercambio de genes. La mutación es la permutación de un bit en un lugar aleatorio, esto se puede definir como el cambio aleatorio de un gen.

El algoritmo genético seleccionar los bits a los cuales se les da una valoración, hasta obtener el conjunto de cromosomas listos, determinando el conjunto de soluciones factibles a elegir. Los algoritmos genéticos de componen de 3 fases, selección de los individuos, el cruce de los cromosomas, y la mutación. Las fases se componen de los siguientes:

Selección o reproducción: Son seleccionados los cromosomas dentro de la población para llevar a cabo la reproducción, en cuanto tenga la mejor características este se seguirá reproduciendo.

Cruce: Un operador de manera aleatoria inicia un proceso combinatorio, para determinar la mejor descendencia y cromosomas a emplear.

Mutación: De los individuos obtenidos el operador inicia un proceso de alteración de los mismos, de manera aleatoria a fin de obtener mejores cromosomas.

Los algoritmos genéticos buscan optimizar 4 aspectos importantes son los siguientes:

1. Conjunto de parámetros organizados en cadenas alfabéticas
2. Construir una familia de puntos muestrales bien estructurados
3. Basta solo con la función objetivo para estructurar la solución al problema.
4. Se fundamenta en operadores aleatorios para lograr la obtención de diferentes puntos, así obtener una mejor solución.

A Continuación analizaremos este algoritmo genético aplicado al problema de asignación de asignaturas a docentes en la universidad ecci, mediante aplicaciones en entornos similares a este problema.

- El siguiente artículo que se citara aplica y desarrolla el algoritmo genético para la programación de horarios escolares,

Nombre: *Programación de Horarios Escolares basados en Ritmos Cognitivos usando un Algoritmo Genético de Clasificación No-dominada, NSGA-II*

Autor: *Suárez, Víctor F; Guerrero, Álvaro; Castrillón, Omar D*

Año de publicación: *2013*

A continuación citaremos el abstract:

“Se plantea la solución del problema de programación óptima de horarios escolares de una escuela pública Colombiana. Esto se hace considerando no solo la asignación adecuada de salones y docentes sino también los ritmos cognitivos que presentan los estudiantes como el factor más importante en el proceso de optimización. Se propone como método de solución el Algoritmo Genético de Clasificación No-dominada, NSGA-II. Los resultados muestran una mayor eficiencia del algoritmo en comparación con otros aplicados al mismo problema y evaluados en la misma forma. A nivel experimental, la metodología evidencia que los grupos programados mediante la orientación descrita presentan una reducción en los niveles de mortalidad académica en comparación con una programación horaria que no consideran los ritmos cognitivos de los estudiantes” (Suárez, Guerrero, & Castrillón, 2013).

Dentro de este artículo primero se enmarca las variables a tener en cuenta a la hora de ejecutar el método, con las respectivas restricciones, los docentes, las asignaturas, la jornada que se trabaja, y los periodos en los que se dividen, la cantidad de estudiantes; para finalmente dar una correcta administración de los recursos entre estos, la infraestructura, junto con el recurso humano.

La metodología aplicada es la siguiente:

1. Recolección de datos, se estructura horas, días de la semana y grupos; se selecciona la población inicial, seleccionar las materias de un mismo curso y formando bloques de los diferentes horarios para una misma materia.

2. Operadores genéticos: a partir de la solución inicial organizada, se inicia hacer mutaciones mediante la técnica del cruce pmx (partially matched crossover).
3. Selección: Se reúne la población de padres y la población de hijos, siendo necesario desarmar los bloques con el fin de formar cada una de las posibles soluciones. Se lleva a cabo las restricciones bajo las funciones.

Formula 1

Algoritmo génico para la asignación de horarios en las escuelas Colombianas.

$$RD = F1 + F2$$

Los valores de f1 y f2 se describen de la siguiente manera.

$$F1 = \sum_{j=1}^{NG} \sum_{j=1}^S F_{Resf1}(\text{materiales})$$

$$F2 = \sum_{j=1}^5 \sum_{K=1}^6 F_{Resf2}(\text{PROFESORES}) + F_{Resf2}(\text{Salones})$$

Dónde:

i = Variables para recorrer la cantidad total de grupos a programar

j = Variables para recorrer los días de la semana

k = Variables para recorrer las horas del día

NG = Cantidad total de grupos a programar

La evaluación F_{Resf1} y F_{Resf2} se realiza de la siguiente manera:

$F_{Resf1} = \begin{cases} 1 \\ 1 \\ 0 \end{cases}$	Si algún código se repite más de 2 veces en la columna j
	Si al repetirse algún código 2 veces en la columna j, estos no están consecutivos
	Otro caso
	Si se repite algún elemento en el vector de profundidad determinado por (j,k)

$$F_{Res.2} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \\ \text{En otro caso} \end{array} \right.$$

Fórmula 1. Modelo matemático de asignación de horarios en escuelas colombianas,
Tomado de (Suárez et al., 2013)

Las restricciones empleadas son las siguientes, el nivel de atención que tiene un grupo de estudiantes en los diferentes horarios para poder captar materias que requieran un mayor nivel de atención debido al contenido de la asignatura.

4. Condición de parada: se entrega la solución final del algoritmo.

La conclusión mediante a la que se llega con este método es mejorar los horarios para brindar lo óptimo, de tal forma que los estudiantes mejoren el rendimiento cognitivo adaptando los horarios de clase.

- En un segundo trabajo de grado se encontró la aplicación del algoritmo genético a las universidades y la programación de horarios de la misma:

Nombre: *Asignación de horarios de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos*
Año publicación: 2008
Autor: Ing. José Mejía Caballero.

El trabajo que se cita fue presentado para la asignación en postgrado en la universidad del norte en la ciudad de barranquilla aplicando la solución al problema al interior de la universidad de la guajira en la facultad de ingeniería industrial.

La esencia de este proyecto es demostrar los diferentes métodos a emplear para brindar la solución ideal a la programación de horarios de clase, puesto que esta universidad asigna los horarios de profesores de acuerdo a su disponibilidad. Toda la estructura de horarios académicos es trazar un cronograma semanal para las materias, para replicarlo durante el resto del semestre; de esta forma ejecutar el mismo paso durante todos los semestres.(Mejía & Paternina, 2010)

El modelo que ellos plantean tienen las siguientes restricciones a docentes, 5 días a la semana en un total máximo de 7 periodos diarios cada uno de estos periodos con un valor de 90minutos, y cada materias requiere de 1 a 3 periodos por semana. Dentro de

este problema de horarios trabajan al conocido como horario compacto lo que significa estudiar en bloques, debido a que los estudiantes deben hacer grandes desplazamientos hasta la universidad.

La restricción de asignaturas es fundamental para este caso, una materia que se componga de 4 horas solo se permite que en un día se ha prevista por un docente 3 horas como máximo, para no afectar el nivel cognitivo de los estudiantes.

Restricciones duras del problema:

- Todo salón solo debe tener a lo más 1 asignatura por periodo
- Cada asignatura se compone de n periodos semanales
- Toda materia debe tener un solo profesor con su respectiva asignatura durante un periodo.
- Los horarios de asignatura de un semestre no deben coincidir con un mismo periodo.
- La cantidad de alumnos debe ser igual o menor a la capacidad del salón.

Fórmula 2. **FUNCION OBJETIVO GLOBAL**

$$\max [f_{og}(x)] \sum_{x=1}^n f_{ol}(x)$$

$$\forall x \in \{1, \dots, 350\}$$

Fórmula 3. **FUNCION OBJETIVO LOCAL**

$$f_{ol}(x) = \left((chsl(x) + chsg(x)) / 2 \right) X \left((chpl(x) + chpg(x)) / 2 \right)$$

Función global la cual busca maximizar la función objetivo local, en donde chsg y chpg representa el conflicto entre salones y profesores en un mismo semestre.

Para la ejecución del algoritmo se tomaron 3 aspectos, días de la semana, 7 periodos de clase, con un total de 10 semestres. A ello se le aplicó el operador genético que hace recombinación de las variables, a partir de la población inicial.

Nombre: *Experimentos con Algoritmos Genéticos para resolver un problema real de Programación Maestros-Horarios-Cursos.*

Autor: *Pedro FLORES, Ernesto BRAU, Jazmín A. MONTEVERDE, Norman F. SALAZAR, José FIGUEROA, Eliseo CADENA, Caleb A. LIZÁRRAGA.*

Este artículo presentado ante la revista Iberoamérica de sistemas e informática, busca solucionar el problema de asignación de horarios en la universidad de sonora en México para el departamento de matemáticas. El problema planteado en este paper, es brindar la mejor asignación de docentes de matemáticas para las carreras de toda la universidad que así lo soliciten o requieran.

Los criterios establecidos previos para hacer la programación son los siguientes

- Los maestros serán programados de acuerdo a su antigüedad y nivel académico.
- Restricción dura de los cursos el número de horas pactas que debe ser visto en una semana.
- Número de aulas establecidas para cada curso.
- Restricciones duras de los profesores, en cuanto a los horarios y las materias que está dispuesto a dictar.
- Se debe cumplir con el rango de horas que debe cumplir un docente.

Para el desarrollo del problema se debió tener en cuenta varias cosas, primero se debe desarrollar un individuo, el cual posee los vectores de profesores, vector de horarios y vector de cursos, a partir de allí se genera la población inicial, que es la composición de los bloques de profesores asignando el valor 1 de manera aleatoria. La forma para evaluar la aptitud del individuo se hace mediante una función de desempeño. Para ejemplificar este problema se tomaron 2 métodos que se encuentran dentro del AG los cuales fueron la ruleta y el torneo binario

El método de la ruleta: consiste, como su nombre los sugiere, en simular una ruleta. Esto se logra creando un espacio de probabilidad, en el cual los individuos más fuertes ocupan un mayor rango, de tal forma que tienen una mayor probabilidad de reproducirse.

El torneo binario es un método que consisten en seleccionar aleatoriamente dos individuos y dejar que compitan, es decir ambos errores son comparados y el individuo

con el menor error pasa a la siguiente generación. Esto se repite hasta que la matriz con los hijos este lleno.

Los operadores genéticos empleados fueron la mutación y el cruzamiento, dentro de los cuales el cruzamiento ellos realizó 3 pruebas en el simple, donde se selecciona un bloque del individuo y a partir de este se hacer el cruzamiento aleatorio, el cruzamiento doble contiene la misma metodología del simple solo que este se repite, generando cruce 2 veces de manera aleatoria. En el cruzamiento uniforme se tiene la misma probabilidad e elegir los genes de un individuo y del otro de manera aleatoria.

La mutación consiste en seleccionar aleatoriamente un bloque del vector solución, verificando que valor tienen, una vez esto si se encuentra en 0 se le asigna de manera aleatoria el valor de 1 lo que representa la asignación de docentes en espacios libres.

La conclusión mediante la cual llega este artículo es a determinar el método en donde se brindan menos errores y se obtiene la solución de manera más oportuna fue el método de torneo binario. (Flores et al., 2005)

Nombre: Programación óptima de horarios de clase usando un algoritmo memético

Autor: MAURICIO GRANADA E., ELIANA M. TORO OCAMPO, JOHN F. FRANCO BAQUERO

El siguiente artículo fue desarrollado en la universidad tecnológica de Pereira, a fin de desarrollar un algoritmo mimético, algunas consideraciones consideradas restricciones regidas por la universidad son las siguientes: Un estudiante solo se le permite ver una asignatura por periodo, se deben cumplir con las condiciones pactas para cada materia, en el caso de los laboratorios, solo será impartida una asignatura por salón y periodo.

En cuanto a las restricciones blandas de los estudiantes, se debe procurar evitar que tengan clase en el último bloque del día, se debe evitar que un curso académico tenga una sola clase durante el día.

A manera general se toman los siguientes datos, conjunto de salones, conjunto de eventos que son considerados como las clases que se deben dictar. Conjunto de estudiantes, conjunto de características del evento, por ello es importante satisfacer esta restricción, de que cumpla con los requerimientos del evento o asignatura.

Lo que se busca con el algoritmo mimético es mantener la población de soluciones, para hacer modificaciones o reemplazos entre los individuos de tal forma que se ha la correcta sustitución, logrando la calidad.

La idea de este modelo es asignar los salones a los eventos o asignaturas, disminuir el cruce de los horarios de los estudiantes al igual que de los salones. La característica del algoritmo memético sigue 6 pasos repetitivos, que son los siguientes:

1. Obtener 2 alternativas padre de la población actual usando el proceso de selección.
2. Se obtiene una alternativa hijo aplicando Recombinación a los padres obtenidos en el paso anterior.
3. Se obtiene una alternativa modificada aplicando Mutación (hijo mutado).
4. Si la configuración es infactible se mejora la infactibilidad y se obtiene una alternativa menos infactible, de lo contrario, ir al paso 5.
5. Se mejora la optimalidad de la alternativa en estudio.
6. Si la alternativa resultante de aplicar los pasos anteriores no se encuentra en la población, entonces aplicar estrategia de modificación de la población, sino, volver al paso 1.

De esta forma se plantean estrategias que sirven para mejorar la optimalidad del problema, cumpliendo con las restricciones, seleccionando el individuo que brinde el menor efecto negativo sobre el modelo, en caso de que los individuos a evaluar no cumplan ninguno con lo deseado. (Granada, Ocampo, & Baquero, 2006)

2.2.2 Enjambre de partículas

Este método fue desarrollado en el año 1995 por (Eberhart & Kennedy, 1995), este modelo fue construido a partir de la observación de los enjambres de abejas quienes siempre buscan obtener la mayor cantidad de polen, con la menor distancia recorrida del enjambre, esta es la idea fundamental del modelo. De esta forma se trazan los puntos a los cuales se desea llegar teniendo en cuenta la distancia y la valoración que estos puntos tienen establecidos, para obtener una programación de ruta, cumpliendo las

restricciones obteniendo la mejor valoración. La valoración de los puntos es conocida con el nombre de fitness.

Las características que poseen las partículas es la velocidad que cada una de estas posee, estas partículas realizan un movimiento similar a la realidad, aproximándose a una aceleración y velocidad, atraídas por la localización más atractiva.

En el modelo que presentamos a continuación siguiendo este algoritmo se intenta optimizar una función que viene determinada por los valores sobre una malla, de esta forma y mediante un diagrama se hace didáctica la presentación del modelo.

Existe un método para evitar que se crucen las partículas, que es mediante la creación de restricciones que brinden una repulsión entre las mismas, otro punto importante es hacer óptimos locales, dividir en grupos de colonias, o familias las partículas, después obtener las soluciones por segmentos separados y posteriormente evaluarlas.

Otra característica de este modelo es que el conjunto de familias puede variar, es decir que dentro de cada enjambre considerado búsqueda local, se pasa a ser intercambios de individuos.

A continuación se presenta unas ecuaciones que representan el intercambio continuo de una población de partículas.

Fórmula 4. Intercambio continuo de una población de partículas.

$$v_{i+1} = c_0 * v_i + c_i * rand(1) * (p_i - x_i) + c_2 * rand(1) * (G_{Best} - x_i)$$

$$x_{i+1} = x_i + v_{i+1}$$

Fórmula 4. Autor: (Hinojosa, Espinosa, & Correa, 2012)

Aquí se representa la variable posición y la variable velocidad, dentro de las poblaciones.

(Sumpter, 2006) hace una revisión “el comportamiento colectivo para la formación de enjambres observando propiedades de autorregulación y principios de comportamiento colectivo como: integridad, variabilidad, realimentación positiva, realimentación negativa, umbrales de respuesta, dirección, inhibición, redundancia, sincronización y egoísmo”.

En la descripción del modelo se hablan de 2 movimientos el primero es el desplazamiento del individuo al punto óptimo, el otro es el comportamiento de verticidad, este principio consiste en llevar al enjambre a un punto de equilibrio, a nivel de velocidad, para posteriormente potenciar la atracción de los puntos óptimos.

Existen unos pasos a seguir para ejecutar el modelo:

- Un enjambre de partículas realiza una búsqueda aleatoria de la solución en un espacio de N dimensiones.
- Solo hay una solución en el espacio de búsqueda en cada momento.
- Cada partícula no sabe dónde está la solución, pero conoce a que distancia se encuentra de ella en cada iteración.
- Las partículas conocen a que distancia están el resto de partículas. La estrategia es seguir a la partícula que se encuentre más cerca de la solución

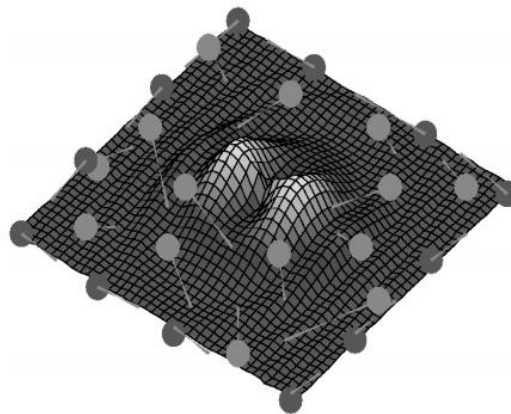


Figura 1. simulación de enjambre de partículas, autor: (Mendez Muñoz, 2007)

Lo que se representa en la figura 1. está en 2 dimensiones, es identificar las partículas que se encuentra sobre el plano, y las crestas allí mostradas representan optimo local y global respectivamente, y la trayectoria de cada una de las partículas por llegar a los óptimos establecidos.

Existen 2 elementos dentro de la ecuación expresada, p_{best} que representa la mejor partícula, l_{best} significa el mejor valor obtenido de la partícula vecina, y el mejor valor global G_{best} .

Fórmula 5. Pbest

$$v_i = v_i + c1 * rand() * (pbest_i - present_i) + c2 * rand() * (gbest_i - present_i)$$

Fórmula 6. Gbest

$$present_i = present_i + v_i$$

A continuación se presentaran algunos artículos relacionados con la aplicación de este modelo a la programación de horarios.

- **Nombre:** *A Novel Hybrid Swarm based Approach for Curriculum based Course Timetabling Problem*

Autores: *Cheng Weng Fong, Hishammudin Asmuni, Way Shen Lam, Barry McCollum, and Paul McMullan*

Este artículo publicado en 2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), el artículo plantea el problema de asignación de horarios, para satisfacer requerimiento de eventos en cada uno de los cursos, en horarios semanas, para este caso específico se trabajaron 4 restricciones duras y 4 restricciones blandas.

Las 4 restricciones duras son las siguientes, programar los cursos en un solo periodo para los estudiantes, todos los cursos que se han dictados por maestros que sigan un mismo programa académico deben ser dictados en diferentes horarios, de tal forma que no allá cruce. Las disponibilidades de docentes, si no posee este la disponibilidad no se le puede programar un curso a ese determinado horario. Un solo salón deberá será asignado a un único curso en un mismo periodo de tiempo.

Las 4 restricciones blandas son las siguientes: El número de estudiantes debe ser igual o menor a la capacidad de cada salón. Los cursos deben cumplir con el mínimo de horas semanales programadas, se debe seguir el programa académico de cada curso. Las actividades programadas para un curso deben ser previstas, no se le debe excluir.

A partir de allí se da el desarrollo del modelo, cuyo fin es generar la búsqueda de alimento para las partículas del enjambre, primero evalúa las posibilidades dentro de su entorno poblacional y posteriormente se traslada a sus vecinos evaluando de igual forma en donde es más provechoso encontrar el óptimo global.

En este artículo se muestra la interacción del algoritmo pso con otros como Great Deluge Algorithm y el Nelder-Mead Simplex Search para formar de manera global un algoritmo basado en obtener el mejor concepto global, logrando llegar a soluciones de mejor calidad, brindando de igual forma las comparaciones, entre los modelos. (Fong, Asmuni, Lam, McCollum, & McMullan, 2014)

- **Nombre:** *Particle swarm optimization with transition probability for timetabling problems*

Autores: *Kanoh, H.a , Chen, S.b*

ABSTRACT :

“En este trabajo, se propone un nuevo algoritmo para resolver los problemas de horarios de cursos universitarios mediante la optimización por enjambre de partículas (PSO). PSO se están aplicando cada vez más para obtener soluciones casi óptimas para muchos problemas de optimización numérica. Sin embargo, también se está comprobando cada vez más que las OSP no resuelven los problemas de satisfacción de restricciones, así como lo hacen otras Meta-heurística. En este trabajo, presentamos probabilidad de transición en PSO para resolver este problema. Los experimentos utilizando los horarios de la Universidad de Tsukuba mostraron que este enfoque es una solución más eficaz que una estrategia de la Evolución. (Kanoh & Chen, 2013)

- **Nombre:** *Solving University Course Timetabling Problems Using Constriction Particle Swarm Optimization with Local Search*

Autores: *Ruey-Maw Chen * and Hsiao-Fang Shih*

ABSTRACT:

“Horarios del curso es un problema de optimización combinatoria y se ha confirmado como un problema NP-completo. Problemas de horarios del curso son diferentes para diferentes universidades. El problema por supuesto horarios universidad estudiado implica restricciones duras como aula, currículum de la clase, y otras variables. Al mismo tiempo, algunas restricciones blandas también deben ser consideradas, incluyendo el tiempo preferido del profesor, el tiempo de clase favorita etc. Estas preferencias se corresponden con los valores obtenidos a través de cuestionarios de satisfacción.

Optimización de enjambre de partículas (PSO) es un esquema prometedor para resolver problemas NP-completos debido a su convergencia rápida, menos ajustes de los parámetros y la capacidad para adaptarse a las características ambientales dinámicas. Por lo tanto, PSO se aplicó a la solución de problemas de horarios por supuesto en este trabajo. Para reducir la complejidad computacional, un intervalo de tiempo fue designado en la codificación de una partícula como la unidad de programación. Hay dos tipos de PSO, la versión masa de inercia y la constricción versión, fueron evaluados. Por otra parte, una heurística intercambio se utilizó para explorar el espacio de la solución vecina para mejorar la calidad solución. Además, los conflictos de horario se manejan después de una solución se ha generado. Los resultados experimentales demuestran que el régimen propuesto de PSO constricción con intercambio heurística es capaz de generar los horarios del curso satisfactorios que cumplen con los requisitos de los profesores y las clases de acuerdo a las diversas limitaciones aplicadas” (Chen & Shih, 2013).

Al interior de este artículo se tienen en cuenta 7 restricciones duras, que son aplicadas al entorno universitario, son las siguientes:

- Un docente solo puede dar 1 clase por intervalo de tiempo.
- Solo es permitido usar 1 aula por clase
- Cada materia solo puede ser dictada una sola vez por intervalo de tiempo.
- Las materias que posean 3 créditos deben ser dadas en bloques consecutivos.
- Docentes de primer nivel deben dictar 2 clases cada semana.
- Docente administrativo solo dictara clase en jornada única.

Las restricciones blandas a seguir son 4:

- Se debe evitar el conflicto de horarios entre los cursos.
- Se debe programar las asignaturas de acuerdo a las preferencias de los docentes y estudiantes.
- Se debe cumplir con el límite de horas semanales de los docentes.
- Los docentes de tiempo completo deben dar clases por lo menos 3 días de la semana.

Las condiciones bajo las cuales se realizó la ejecución del sistema fueron 16 profesores, 10 clases, 10 salones. De acuerdo a la ejecución del modelo los pasos fueron los siguientes:

- Priorizar los horarios de los docentes, con sus respectivas preferencias.
- Establecer las bases de datos de los docentes, con número de docentes y respectivo código, cursos, y el número de estudiantes con las horas de clase.
- Se debe asignar responsabilidades a los docentes para que estén a cargo de las aulas, en un máximo de 2 docentes por aula, gestionando así la utilización de los recursos de la misma aula, si el caso así lo requiere.
- Cuando la asignación de cursos y docentes se superponen con otras y el algoritmo la considera una posible solución factible, se debe proseguir con la búsqueda hasta llegar a un punto en donde las soluciones se han concretas y no se presenten cruce de ninguna de estas variables.

Las conclusiones a las que se llegan en esta investigación, es que mediante la combinación del modelo enjambre por partículas, en conjunto con la búsqueda local, brinda resultados más óptimos que el algoritmo común.

2.2.3 Búsqueda tabú (Tabú Search)

Esta técnica fue propuesta por Glover en 1986. Su nombre está relacionado con las acepciones de tabú como 'prohibición impuesta por las costumbres sociales como una medida de prevención' y 'prohibición de algo que constituye un riesgo'.

"La búsqueda tabú tiene sus orígenes en procedimientos combinatorios aplicados a problemas de cubrimiento no lineales en los finales de los años 70 y aplicada subsecuentemente a una diversa colección de problemas que van desde secuenciación y balance de canales de computación hasta análisis de clusters y planeamiento de espacio".(Glover, 1989)

Modelo meta heurístico diseñado para resolver problemas de optimización combinatorios basados en búsquedas locales bajo el principio de inteligencia artificial. Cuando se habla de inteligencia artificial hacemos referencia a una memoria de los sucesos, con los datos en general, generando una búsqueda con resultados inteligentes.

Este algoritmo busca hallar soluciones fuera de los óptimos locales, mediante el reemplazo de una nueva solución aunque no es muy buena es reemplazada para poder explorar nuevos barrios.

Los elementos que integran la búsqueda tabú son, conjunto de soluciones, función objetivo, restricciones estos datos a manera de generalidad de los métodos de búsqueda. Existe un conjunto de soluciones factibles, de estas algunas pertenecen al conjunto elite las cuales tienen una valoración más elevada que el resto de soluciones, expresamente un óptimo local pertenece al conjunto elite.

El verdadero diferencial del método tabú es la utilización de una lista tabú en donde se almacena todas las soluciones que registran como no factibles, la forma de generar esta lista, es mediante la construcción de las soluciones factibles generar resultados contrarios. Esta lista puede contener, resultados obtenidos, movimientos realizados y características de los ítems que se encuentran en dicha lista.

Tabú tenure se define como la cantidad de movimientos o iteraciones que hace un elemento en la lista tabú, el valor tenure representa el número de iteraciones más que seguirá en la lista una vez este adentro de ella. Cuando se presentan variaciones en la función objetivo de la búsqueda tabú, la base de datos automáticamente cambia de tal manera que se reemplazan los valores.

Cuando los valores que enmarcan la lista salen de ella seleccionados mediante criterios de aspiración, las aspiraciones de movimiento y atributo.

Existen los siguientes criterios de aspiración:

- Aspiración por default: Los movimientos son restringido se elige el de menor impacto.
- Aspiración por objetivo: Un movimiento brinda la oportunidad de ser el óptimo es candidato a ser el óptimo.
- Aspiración por dirección de búsqueda: El movimiento a realizar es una mejora al que se tiene.

Las memorias de búsqueda tabú poseen características de 2 tipos: explícita y de atributos, las características explícitas quieren decir que la solución son registradas y almacenadas de manera completa, son soluciones de elite. Características de atributos solo se almacena la información de características previamente registradas.

La memoria de la búsqueda tabú trabaja en base a 4 principios:

- **calidad:** Funciona para diferenciar entre las soluciones meritorias o que son opción a solucionar el problema, o si por el contrario se requiere una acción que contribuya a mejorar la solución existente. Mediante la flexibilidad del modelo se permite la opción de continuar la búsqueda mediante la exploración de nuevas funciones.
- **Influencia:** Mide el impacto de cambio que genera la elección de una solución, mediante resultados, que generan los atributos de dicha solución.
- **Memoria a corto plazo:** Se almacena exclusivamente los últimos movimientos registrados por el algoritmo recientemente, reuniendo información de iteraciones, y valores determinados.
- **Memoria a largo plazo:** En este tipo de memoria se deposita información adicional a la recolectada recientemente, movimientos y atributos que son frecuencia de transición o frecuencia de residencia, en donde la de transición recolecta el número de veces que la solución fue seleccionada como optima, y la de residencia inspecciona el número de veces que la solución hizo parte de las iteraciones de la solución.

Esta memoria emplea 2 estrategias, la intensificación y la diversificación de búsqueda.

La intensificación consiste en regresar a zonas exploradas y hace una búsqueda más drástica. La diversificación busca explorar barrios a los cuales no se ha llegado.

- ***Nombre:*** Problema de asignación óptima de salones resuelto con Búsqueda Tabú
Autor: John Fredy Franco Baquero, Eliana Mirledy Toro Ocampo, Ramón Alfonso Gallego Rendón

PUBLICADO: INGENIERÍA & DESARROLLO Número 24 Julio-diciembre, 2008 ISSN: 0122-3461

ABSTRACT:

“La asignación de salones se plantea como un problema de optimización matemática; es un problema complejo y típico de la investigación de operaciones acerca del cual muchos grupos de investigadores alrededor del mundo discuten sobre la mejor forma de resolverlo. Se presenta el modelo matemático del problema, así como una metodología basada en la Búsqueda Tabú, con el fin de encontrar soluciones factibles que minimicen

la función objetivo propuesta, mediante la propuesta de constructivos, estructura de vecindad y estrategias para desenvolver el proceso de búsqueda. La calidad de las soluciones encontradas se valida y compara con casos de prueba de la literatura especializada. Palabras claves: Búsqueda Tabú, meta heurísticas, optimización combinatoria, programación de horarios de clase” (Fredy et al., 2008).

Este artículo plantea el problema a las instituciones educativas, formulando el problema basado en la incorrecta utilización de recursos, empleando los recursos infraestructura, cantidad de salones, número de docentes con que cuenta el plantel, y las diferentes áreas en las cuales se desempeñan. “El modelo plantea un conjunto de restricciones denominadas duras o de obligatorio cumplimiento y un conjunto de restricciones blandas cuyo cumplimiento es optativo”(Fredy et al., 2008).

Los autores plantean el conjunto de métodos que se han utilizado para resolver este problema, de las cuales ya se han mencionado con anterioridad, en conjunto con métodos matemáticos o heurísticos, que representan el uso de algoritmos y bases de datos matemáticas sobre las que se apoyan los algoritmos.

Los problemas propuestos por ellos son los siguientes:

- Asignación de horarios escolares y universitarios: Se planten un cuadro comparativo para determinar el grado de complejidad de estos 2 entornos. La información a resaltar es la siguiente la carga de docentes es más flexible en entorno universitario, el horario en el entorno escolar es único de jornada única, horarios universitarios viene en 2 jornadas. Es oportuno mencionar que estas características pertenecen a este caso específico.
- Asignación de los horarios de exámenes.

Las siguientes restricciones duras fueron las registradas para este caso:

- Los salones asignados deben de cumplir con los recursos que requiere la materia.
- No se debe presentar conflicto entre los horarios entregados a los estudiantes.
- Es imposible que se presente 2 eventos en una misma hora.

Restricciones blandas son de cumplimiento optativo

- Asistir diariamente a un solo evento o examen de clase
- Asistir a un evento en el último bloque del día.

- Dar continuidad a los cursos.

Se hace una descripción de las matrices y vectores empleados para la construcción del modelo, las matrices son realizadas en código binario 1 quiere decir que cumple y 0 para determinar que no cumple o aplica:

- Se recolecta la información de las características de los eventos.
- Matriz salones y sus características. (1 si el salón cumple con las características o 0 si no las cumple).
- Vector con la capacidad de los salones.
- Matriz estudiante en donde se rectifican si ingresa o no al evento.
- A partir de las matrices ya constituidas se pueden empezar a generar, la programación de los eventos, con la programación de exámenes, características eventos y salones.
- Matriz horario eventos.
- Horario estudiantes se crea a partir de la matriz Hora-salón-evento-estudiante.

La aplicación del modelo esta seccionado en 4 fases, primero se hace la fase de construcción de las matrices, en la segunda fase se hace la búsqueda local, disminuyendo la violación de las restricciones duras, en esta última fase se ejecuta la búsqueda tabú, para dar cumplimiento a las restricciones blandas.

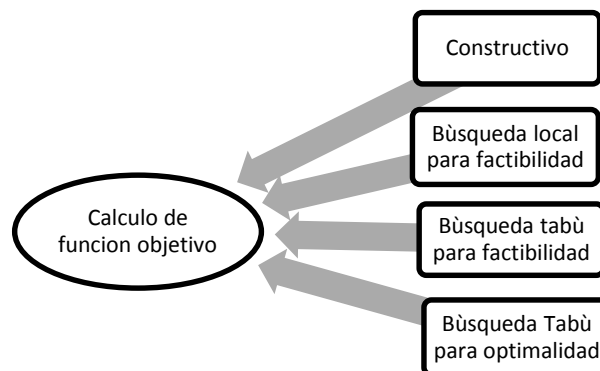


Figura 2. fase de soluciones del problema, autores:(Fredy et al., 2008).

Para poder evaluar la función objetivo y obtener los resultados esperados, se inicia el proceso de sensibilidad, evaluando cada evento mediante un contador de problemas registrados, entre las restricciones duras y blandas. Se forma la estructura de las

vecindades o grupo de elementos, conservando la calidad y la proporcionalidad entre los componentes; logrando así de esta forma la interacción entre los diferentes vecindarios.

Manejo de la memoria a corto plazo, esta consiste en un vector tabú, donde se almacena en la base de datos un evento restringido, de esta forma cuando se vaya a explorar, se reestructura las restricciones cambiando las limitaciones en otras vecindades.

En la diversificación, se almacena el número de iteraciones que un evento ha tenido, y las alteraciones del mismo.

Las conclusiones a las que se llegaron en este artículo después de revisar previamente los resultados. Se llegó a reducir las restricciones, escapando de los óptimos locales, los eventos que tienen más restricciones tiene la facilidad de crear vecindarios. Agregar restricciones que influyan sobre los eventos y la duración de los mismos, en conjunto con la programación de los horarios de los docentes.

- **Nombre:** *Algoritmo de tipo Búsqueda Tabú para un problema de Programación de Horarios Universitarios Vespertinos*
- **Autor:** *Cristian David Oliva San Martín- Gastón Marcelo Ramírez Guzmán*

PUBLICACION: Revista Inge Cuc, Vol. 9, N° 2, pp 58-65, Diciembre, 2013

ABSTRACT

“En este estudio se presenta un modelo de programación no lineal en variables enteras para un problema de programación de horarios universitarios vespertinos y se propone un algoritmo para su solución. El problema consiste en programar asignaturas en un horizonte de planificación considerando profesores, aulas, alumnos, días y un conjunto de restricciones, buscando minimizar la penalidad de no satisfacer los requerimientos de profesores, el número de cambios de sala y el número de periodos libres entre cursos. Se propone un modelo matemático y una implementación de un algoritmo de tipo búsqueda tabú. Para evaluar la efectividad del algoritmo se utilizaron casos de prueba con datos reales del Instituto IPEGE (Chile), en los que el algoritmo es capaz de obtener soluciones factibles en un tiempo razonable. Los parámetros de dicho algoritmo fueron calibrados con los casos de prueba, para posteriormente evaluar su desempeño. Se

muestra que este obtuvo mejores soluciones que el método manual" (San Martín & Guzmán, 2013)

Palabras clave: problema de programación de horarios universitarios vespertinos, algoritmo de tipo búsqueda tabú, meta heurísticas.

Este artículo plantean los 3 problemas de programación que se han venido manejando, programación de cursos escolares, asignación de horarios universitarios, la programación de exámenes. Los modelos encontrados por ellos para brindar solución a este problema fueron, simulado recocido, Graps, algoritmo evolutivo y tabu search; puesto que brindan la obtención de soluciones optimas en un menor tiempo.

“Este artículo busca resolver el problema de programación de horarios universitarios vespertinos”(San Martín & Guzmán, 2013). Los autores indica un trabajo de horarios vespertinos quiere decir que trabajan jornadas de 4 bloques a lo largo de la tarde. Dentro del modelo matemático se consideran los siguientes grupos: Conjunto de materias, grupo de estudiantes, periodos de tiempo de las asignaturas, Conjuntos de días que se debe llevar a cabo la programación. Conjunto de profesores, conjunto de aulas y sus características. Periodos en donde se pueden dictar asignaturas, Periodos en donde el docente no está disponible. Conjunto de asignaturas que se pueden dictar en un salón. Días en que se puede dictar la asignatura, conjunto de asignaturas que dicta el profesor.

Los parámetros planteados son los siguientes, numero de periodos consecutivos en que se dicta una materia, las penalidades que se presentan cuando un profesor es programado en un horario en donde no se encuentra disponible. Penalizar los horarios libres después de recibir clases en un periodo determinado.

Las variables de decisión:

$X_{crt} = 1$ si la asignatura $c \in C$ es programada en el aula $r \in RCc$, en el periodo $t \in TCc$, $X_{crt} = 0$, e.o.c. $U_{cdh} = 1$ si para la asignatura $c \in C$ se asignan h periodos consecutivos el día $d \in DCc$, $U_{cdh} = 0$ e.o.c. $Y_{gdr} = 1$ si la asignatura $c \in Gg$ el día $d \in DCc$ tiene asignada la sala $r \in RCc$, $Y_{gdr} = 0$ e.o.c. $V_{gdt} = 1$ si alguna asignatura $c \in CGg$ se dicta en el periodo $t \in TCc$ el día $d \in DCc$, $V_{gdt} = 0$ e.o.c.

A continuación se plantean las restricciones secundarias y primarias:

Restricciones secundarias:

- Minimizar el número de penalizaciones en el cumplimiento de horarios de docentes.
- Minimizar el número de espacios de tiempo entre asignaturas en los grupos.
- Evitar el cambio de aula en un mismo día para los grupos.

Restricciones primarias:

- Dar cumplimiento a las horas de cada materia.
- Se debe dictar por lo menos 1 asignatura en un periodo a los grupos.
- Un profesor deberá dictar una asignatura en un periodo de tiempo.
- La asignatura se debe dictar en una sola sala durante un periodo.
- La programación de una materia en un día debe hacerse en bloque consecutivo y no dejar espacios de otras materias.
- El número de eventos a una asignatura será único.

Las fases de las que se compone el planteamiento de la búsqueda tabú son las siguientes:

1. Creación de un ranking acorde a las aulas y los días más solicitados para llevar a cabo eventos.
2. Asignar ranking a los eventos de menor a mayor puntuación.
3. Se crean vecindarios donde que contenga información de aulas y días, los cuales sirven como base de datos, luego de que ya estén llenos los conjuntos ya mencionados acorde al ranking.
4. Si quedan elementos pendientes por seleccionar se inicia la búsqueda tabú de acuerdo al peso de importancia que estos posean.
5. La lista tabú es creada de tal manera que se almacene el número de iteraciones de cada profesor, acorde al número de movimientos y características.
6. Si un movimiento a realizar se encuentra dentro de la lista tabú, no se puede seleccionar a menos que proporción un mejor resultado que el óptimo global actual.
7. Si no se ha obtenido una mejor solución, se recurre a intensificar la búsqueda en la zona en donde se encuentra la mejor solución actual.

8. Cuando se llega a un límite de iteraciones sin obtener resultado, se escoge un punto aleatorio para iniciar de nuevo la búsqueda.

Una vez hecho este procedimiento, el siguiente paso es verificar los resultados obtenidos, verificando una vez más el mejoramiento del servicio, obteniendo resultados de procesamiento mejores, e igualmente asemejando el proceso de programación manual que se lleva a cabo, llegando a un total de 3000 iteraciones.

2.4.4 RECOCIDO SIMULADO:

"La técnica heurística del recocido simulado (RS), en inglés Simulated Annealing (SA), está basada en un algoritmo propuesto por Metropolis (1953) en el marco de la termodinámica estadística, para simular el proceso de enfriamiento de un material (recocido). El recocido simulado ha sido utilizado para resolver en forma exitosa una amplia variedad de problemas de optimización combinatoria, convirtiéndose en una metaheurística clásica." (Quintero, 2009)

"El algoritmo de recocido simulado (Simulated Annealing, SA) es un método iterativo que inicia con un cierto estado s . Mediante un proceso particular genera un estado vecino s' al estado actual. Si la energía, o evaluación, del estado s' es menor que la del estado s , se cambia el estado s por s' . Si la evaluación de s' es mayor que la de s entonces se puede empeorar eligiendo s' en lugar de s con una cierta probabilidad que depende de las diferencias de las evaluaciones $\Delta f = f(s) - f(s')$ y de temperatura actual del sistema T . La posibilidad de elegir un estado peor al actual es lo que le permite a SA salir de óptimos locales para poder llegar a los óptimos globales. La probabilidad de aceptar elegir un peor estado normalmente se calcula por la fórmula $P(\Delta f, T) = e^{-\Delta f/T}$. Una cualidad de SA es que la temperatura va disminuyendo gradualmente conforme avanza la simulación." (Annealing, 2004)

"Fueron Kirkpatrick (1983) y por otra parte y de manera totalmente independiente Cerny (1985) quienes introdujeron los conceptos de recocido dentro del mundo de la optimización combinatoria. La analogía utilizada es la siguiente:

- Las soluciones del problema de optimización corresponden a los diferentes estados del sistema.
- El criterio de evaluación de calidad de la solución con la energía de los estados.

- La solución óptima con el estado fundamental del sistema.
- Los óptimos locales se corresponderán con los meta-estables.
- El parámetro temperatura lo realizará un parámetro de control.

El SA puede ser concebido como un proceso interactivo de algoritmos de Metrópolis. Es un método de búsqueda por entornos donde el criterio de elección es: el algoritmo selecciona aleatoriamente a un candidato de entre todos los que componen el entorno de la solución actual; si el candidato es mejor que la solución actual según el criterio de evaluación establecido, dicho candidato pasa a ser la solución actual, en caso contrario será aceptado con una determinada probabilidad que disminuye según aumenta los costes de la solución candidata y la que tenemos actualmente. Una vez haya sido descartada la solución candidata, el algoritmo elige aleatoriamente otra como candidata y vuelve a repetir el proceso.

El esquema del algoritmo SA para un problema P de minimización, fijado un entorno V , posee la siguiente estructura.

ALGORITMO SA

Entrada: Una instancia x de p

Paso 1: Sea $M(x)$ el conjunto de todas las posibles soluciones de la entrada x . Se calcula o selecciona aleatoriamente una solución factible inicial $\alpha \in M(x)$.

Seleccionar una temperatura inicial T .

Seleccionar una función f del tiempo y de T (función de reducción de temperatura).

Paso 2.1: $= 0$

Mientras $T > 0$ hacer

Seleccionar arbitrariamente $\beta \in V_x(\alpha)$

Si $\text{cost}(\beta) \leq \text{cost}(\alpha)$ entonces $\alpha := \beta$

En otro caso generar un número aleatorio r en el rango $(0,1)$

$$\text{Si } r < e^{\frac{-\cos t(\beta) - \cos t(\alpha)}{T}}$$

Entonces $\alpha := \beta$

Fin:

$$I := I + 1$$

$$T := f(T, 1)$$

Paso 3: Salida α

Fórmula 7. Algoritmo SA, autor: (Reina & García, 2004)

Si ha demostrado que el SA es capaz de encontrar, asintóticamente, la solución óptima con probabilidad uno, independientemente de la solución inicial de partida.

Siendo como es un método relativamente reciente, fue al comienzo de la década de los 80 cuando queda definido como una nueva estrategia heurística, utilizada para resolver problemas combinatorios cuya resolución resulta ser bastante compleja, son muchos y diversos problemas los que han sido resueltos con esta técnica como pueden ser entre otros: diseño de componentes electrónicas, procesamiento de imágenes, distribución de recursos, scheduling, criptografía, etc." (Reina & García, 2004)

2.4.5 GRASP (Greedy Randomized adaptive search

Procedure):

Es la más joven de todas las metaheurísticas desarrolladas en los años 80 siendo su propósito el resolver problemas complejos en el ámbito de la optimización combinatoria, el término GRASP fue introducido por Feo y Resende (1995), siendo su traducción literal: Procedimientos de Búsqueda Voraces Adaptivo Aleatorizados.

Este método se diferencia de los demás existentes, anteriores a él, en que intenta construir soluciones "muy buenas" con las cuales trabaja para ir obteniendo otras aún mejores.

GRASP es un método iterativo en el que en cada paso existen dos fases una de construcción y otra de mejora. En la fase de construcción se aplica un método heurístico para obtener una solución inicial, mejorando ésta en la siguiente fase utilizando un algoritmo de búsqueda local. La mejor de todas las soluciones examinadas es la que se toma como solución final.

Para la fase de construcción GRASP utiliza, una función de evaluación "miope", es decir una función que solamente tiene en cuenta lo que ocurre en la interacción actual y no en las sucesivas interacciones, un procedimiento de elección al azar y otro de actualización adaptativo.

Una vez que se han realizado las dos fases, la solución obtenida se almacena y se realiza una nuevas iteración, ejecutando de nuevo las dos fases, guardando en cada una de ellas la mejor solución obtenida hasta el momento.

Se dice que GRASP es un método heurístico aleatorizado ya que no selecciona el mejor candidato propuesto según la función de evaluación, sino que con el propósito de que exista diversidad y no haya repetición de soluciones en dos iteraciones diferentes, se construye un conjunto con los mejores candidatos y de entre ellos se toma uno al azar.

Generalmente las soluciones obtenidas mediante la primera fase, de construcción, no suelen ser óptimos locales, por lo cual, ya que no se puede garantizar la optimalidad local, se aplica un método de búsqueda local para mejorar la solución obtenida.

Una de las características más relevantes de GRASP es su sencillez y facilidad a la hora de su implementación. Éstas son generalmente robustas en el sentido de que es difícil encontrar ejemplos donde el método funcione mal.

Las aplicaciones de GRASP son relativamente recientes, la primera de ellas que aparece en la literatura data de 1991. Sin embargo, a pesar de su juventud ha comenzado a ganar adeptos convirtiéndose en un competidor serio con las metaheurísticas anteriores a ella. Se han resuelto un buen número de problemas en distintos campos con resultados de gran importancia.

A continuación ilustraremos el pseudo-código del algoritmo GRASP así como el correspondiente a las fase de construcción.

ALGORITMO GRASP

Paso1: Leer una entrada

Paso2: Para $k = 1, \dots$, Iteración máxima hacer

Solución ← Algoritmo de construcción (semilla)

Solución ← Algoritmo de búsqueda local (solución);

Actualizar solución (solución, Mejor solución); Fin;

Paso 3: Salida, Mejor solución

Fórmula 8. algoritmo Grasp, autor: (Reina & García, 2004)

ALGORITMO DE CONSTRUCCIÓN (SEMILLA)

Paso1: Solución $\bar{\theta}$

Paso2: Evaluar el incremento de los costes de los elementos candidatos

Paso3: Mientras solución no se alcance hacer

Construir una lista de candidatos restringida

Seleccionamos un elemento S aleatoriamente de la lista LCR;

Solución $u(s)$:

Se reevalúa el coste incremental; Fin;

Paso4: Retorna solución

Fórmula 9.algoritmo de construcción (semilla), autor: (Reina & García, 2004)

La lista LCR está formada por los mejores elementos

Ahora bien, las soluciones obtenidas por el método de construcción no son necesariamente óptimas, siempre con respecto a un entorno. La fase de búsqueda local

generalmente mejora la solución construida. El algoritmo de búsqueda local trabaja de una forma iterativa realizando sucesivos reemplazamientos de la solución obtenida por una mejor solución procedente del entorno de dicha solución. El algoritmo finaliza cuando no se mejora la solución en el entorno de la misma.

A continuación se presenta el pseudo-código del algoritmo de búsqueda local partiendo de la solución construida por la fase anterior utilizando in entorno N de la misma:

ALGORITMO DE BÚSQUEDA LOCAL

Paso 1: Mientras solución no es un óptimo local, hacer

Paso 2: Encontrar $s \in N(\text{solucion})$ con $f(s) < f(\text{solucion})$

Paso 3: Conjunto solución s ;

Paso 4: Fin;

Paso 5: Retorna solución

Fórmula 10. Algoritmo de búsqueda local, autor: (Reina & García, 2004)

- **Nombre:** UNA SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE SELECCIÓN DE CURSOS BASADO EN HEURÍSTICAS PARA EL CASO DE LA FISCT
 - **Autor:** Marco A. Coral , Yuliana Jáuregui , David Mauricio

Este trabajo propone una solución al problema de selección de cursos (BACP: Balanced Academic Curriculum Problem), para los alumnos de la Facultad de Ingeniería de Sistemas, Cómputo y Telecomunicaciones de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega (FISCT-UIGV), contemplado dentro del proceso de matrícula de la institución. La solución busca elegir un paquete de cursos que satisfaga determinadas restricciones, priorizándolos de acuerdo a la frecuencia en que son requisitos con lo cual se determina el orden de importancia para cada iteración. Las heurísticas y meta-heurísticas ayudan a resolver problemas clasificados como complejos, ruteo, selección, búsqueda, asignación,

secuenciación, etc. Por ello se propone utilizar el criterio Goloso-Miope para obtener una solución óptima al caso de selección de cursos, este criterio permite además el desarrollo de algoritmos Grasp para optimizar la solución obtenida. Palabras clave: BACP, selección de cursos, Heurísticas y meta-heurísticas, criterio Goloso-Miope, algoritmos Grasp (Coral, Jáuregui, & Mauricio, n.d.).

3. Diseño y desarrollo metodológico

3.1 Diseño Metodológico

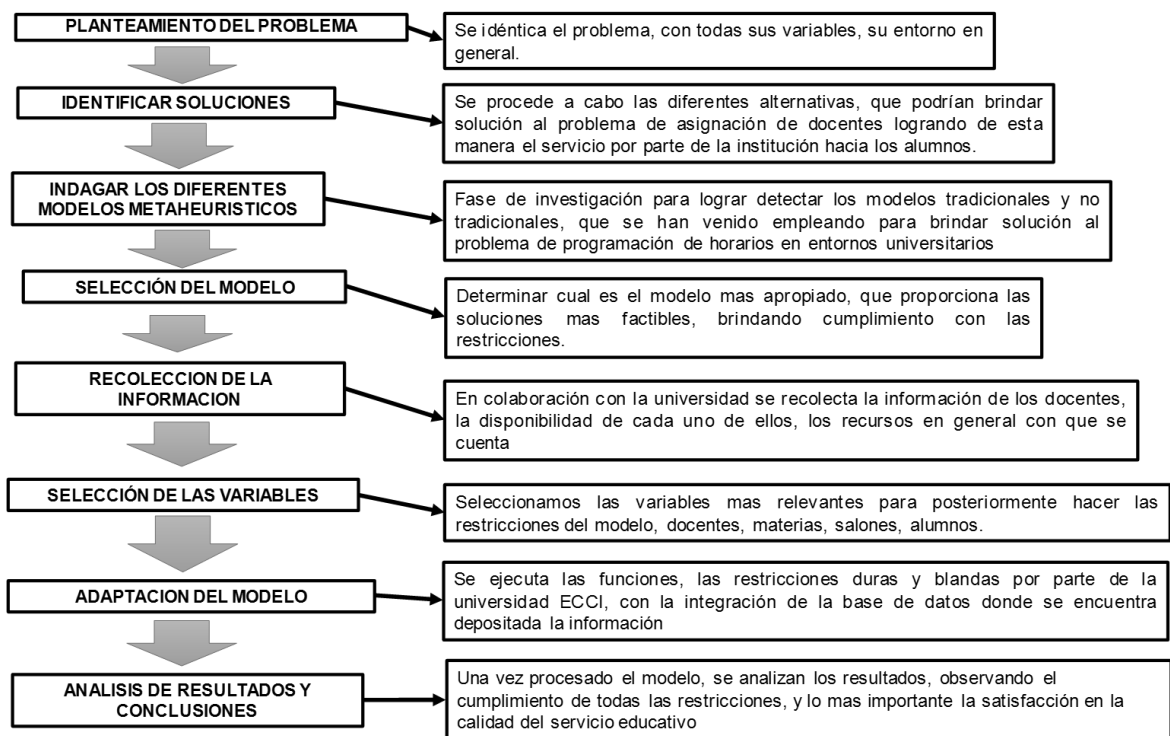


Ilustración 2 diseño metodológico

3.2 Metodología Propuesta

La metodología empleada en este proyecto siempre estuvo encaminada a la solución de los problemas más relevantes en la búsqueda de modelos de asignación en el área de investigación de operaciones con el único fin de explorar y encontrar cuál de estos modelos resulta ser el mejor para aplicar en la asignación de docentes a materias impartidas en la universidad ECCI.

- -Planteamiento del problema: Se identifica el problema con todas sus variables y su entorno en general.
- -Identificar soluciones: Las diferentes alternativas que brindan solución a este caso específico, la asignación de docentes a materias, logrando una satisfacción aceptable del servicio prestado por parte de la institución educativa hacia los alumnos.
- -Indagar sobre los modelos metaheurísticos: Investigación sobre los modelos metaheurísticos tradicionales y no tradicionales que se han venido empleando, para solucionar problemas no lineales, de los cuales han influenciado en la solución de programación de horarios universitarios.
- -Selección del método: Bajo restricciones de datos y tiempo (tabú search) o (grasp), el procesamiento de la información, seleccionando el modelo que mejor se adapte a nuestras restricciones.
- -Recolección de la información: Se procede a recolectar la información, en colaboración de la universidad, la cantidad de docentes con que cuenta facultad de ingeniería industrial, la disponibilidad de los docentes.
- -Selección de variables: Las variables que más importancia tienen, como docentes, alumnos capacidad de salones, horarios de clase, aulas especializadas para construir las restricciones duras y las blandas, que son la base del modelo de selección.
- -Adaptación del modelo: Construye las restricciones duras y blandas a partir de las variables.
- -Análisis de resultados: Una vez procesada la información y la ejecución del modelo se determina el cumplimiento de las restricciones blandas y duras, dando cumplimiento a la calidad del servicio educativo.
- -Análisis de sensibilidad: Se inicia una secuencia de cambios para mejorar aún más el modelo, estableciendo como se ve afectado o beneficiado el rendimiento en cuanto a estos cambios que se generen.

3.2.1. Variables

- Profesores: “La universidad disponía hasta el 2013 de un total de 85 docentes de cátedra solo para la facultad de ingeniería industrial, los docentes de tiempo completo hasta ese año era de 20 para la facultad. Los docentes que son contratados por parte de la universidad, deben de cumplir ciertos requisitos, dependiendo de los requerimientos de la universidad, o las materias que se estén demandando, en donde exista déficit de docentes en dichas áreas del conocimiento” (Luz & Soler, n.d.). Se deben cumplir ciertas capacidades a nivel del conocimiento, al igual que el nivel de educación mínimo que debe poseer, en este caso es una especialización. La carga laboral es la siguiente, docente de cátedra tendrá como carga máxima un total de 20 horas semanales, un docente de planta estará dispuesto a cumplir una carga laboral máxima de 40 horas semanales, con un máximo de 3 materias diferentes, durante todo el semestre.
- Asignaturas: Las asignaturas con las que se cuenta para el ciclo profesional 32 materias presenciales, y 1 sola asignatura virtual. Las materias que requieren sala computacional por lo menos 1 sesión al día, 8 materias en total, son las siguientes; Métodos numéricos, Planeación de la producción, Investigación de operaciones I, Control de la producción, Presupuestos, Investigación de operaciones II, Modelaje y simulación. Algunas materias requieren
- Alumnos: El número de alumnos depende de la capacidad del aula, en promedio es de 35 alumnos, se deben cumplir ciertos requisitos por parte de los alumnos para poder ver ciertas asignaturas, el número de créditos permitido por alumno en el ciclo profesional es de 20 durante el semestre.
- Salones: La universidad dispone de aulas especializadas, para labores lúdicas de materias académicas, al igual que salones computacionales, en donde se dictan las asignaturas que requieren el cumplimiento de ciertos requisitos, para que los estudiantes adquieran las competencias.
- Horarios: Los horarios de clase dentro de la institución universitaria, son de lunes a viernes, en 2 jornadas mañana y noche, en la mañana de 8am-12pm, un total de 4 horas, 2 bloques de 2 horas, en la noche desde las 6pm-10pm. Adicionalmente, los sábados se permite dictar clases en horas de la mañana,

cuando existe materias que requieren cumplimiento de horarios. Desde las 8am hasta las 10pm.

3.3 Segmentación del problema

Este tipo de problemas se caracterizan por ser heterogéneos, suelen ser muy similares pero por las variables anteriormente mencionadas en los modelos suelen generar conflictos entre sí, a continuación daremos una idea de esta problemática comparando el problema de asignación en instituciones educativas como lo son colegios versus universidades.

CARACTERÍSTICAS	COLEGIOS	UNIVERSIDADES
Programación	Pocas elecciones, mallas bien estructuradas.	Muchas elecciones, mallas débilmente estructuradas.
Disponibilidad docentes	Ajustado	Flexible
Salones	Pocos salones de tamaños similares y centralizados	Muchos salones con variedad de tamaños y descentralizados
Carga estudiantes	Saturadas al ser jornadas únicas	Muy holgado, se presentan varias jornadas (mañana y noche)

Tabla 1. Cuadro comparativo entre colegios vs universidades para modelos de asignación.

Como se puede apreciar la programación en las universidades ofrece un gran número de elecciones para asignar docentes a materias, de manera que si no se segmenta el proyecto la programación se puede tornar tan tediosa que no mejoraría la forma en la que actualmente se asignan los docentes en la Universidad ECCI, la cual se realiza manualmente, es por ello que este proyecto se va a enfocar en los semestres de la carrera profesional, tomando desde sexto semestre hasta decimo.

3.4 Selección del Modelo

A continuación se muestra una tabla donde se exponen los diferentes modelos que se encontraron en relación a la asignación de docentes y asignaturas con sus principales características y resultados tras la aplicación de estos.

MODELO	NOMBRE DE ARTICULO	CARACTERISTICAS	RESULTADOS
GRASP	Una solución al problema de selección de cursos basado en heurística para el caso de la fisct (facultad de ingeniería, sistemas, computo y telecomunicaciones)	Encuentra soluciones aproximadas a la optima enfocándose en óptimos locales mas no globales, se usa para estudios similares donde se necesiten otras soluciones que satisfagan restricciones adicionales.	Soluciones ideales a paquetes de cursos independientes no generales.
RECOCIDO SIMULADO	Permite obtener múltiples soluciones y afianzarse con facilidad para generando modelos híbridos para multi-objetivo	Modelo que genera soluciones globales dentro de espacios robustos y requiere de muchas decisiones brindando soluciones de calidad	Genera movimientos que deforman la solución actual para hacer el control de las variables buscando una transformación para obtener mejores

			soluciones
TABU SEARCH	Problema de asignación óptima de salones resuelto con Búsqueda Tabú	Encontrar soluciones factibles, minimizando la función objetivo. Memoria adaptiva y exploración sensible, medidas de intensificación, diversificación, oscilación estratégica	Se busca minimizar el número de restricciones duras y mejorar los movimientos realizados, reduciendo el costo computacional
ALGORITMO GENETICO	Programación de Horarios Escolares basados en Ritmos Cognitivos usando un Algoritmo Genético de Clasificación No-dominada, NSGA-II	Programación horarios escolares, enfocado principalmente a las clases. Se crea una población inicial (grupo), aplicación del cruce pmx, creando la selección de los horarios óptimos, fase final se lleva a cabo mutaciones, o mejoramiento de los horarios para obtener resultados globales.	Algoritmo mejora rendimiento académico y la obtención de las características pedagógicas
ENJAMBRE POR PARTICULAS	Solving University Course Timetabling	Seleccionan los enjambres, asignando valores a las mismas	Brinda cumplimiento con los óptimos

	Problems Using Constriction Particle Swarm Optimization with Local Search	y las distancias a las cuales se encuentran de los óptimos globales, y locales.	locales.
--	--	--	----------

Tabla 2. Comparación de artículos hallados con uso de modelos de asignación de docentes a materias.

Tras analizar los diferentes modelos que se hallaron relacionados con métodos de asignación se optó por seleccionar para este proyecto el método "Tabú Search", pues este método nos permite hallar una solución que satisfaga las necesidades de la asignación de docentes, a partir de un pequeño grupo de selección este método busca uno de los óptimos locales y los compara con el que ya tiene asignado comparando cual se adapta mejor a los requisitos del problema hasta encontrar los óptimos globales siempre y cuando cumpla con las restricciones a las que se encuentra sujeto.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Tras la investigación y estudio de los diferentes modelos que se presentan en los métodos para asignación de docentes, asignaturas, horarios y salones se puede destacar claramente el Algoritmo Genético que mejora el rendimiento académico basado en las características pedagógicas. El modelo Enjambre de partículas y modelo GRASP son muy similares ya que solo buscan una posición dentro de los óptimos locales que cumpla con los requisitos exigidos (solución factible) mas no buscan una solución en los óptimos globales.

Se considera que el método a emplear en esta asignación de docentes a asignaturas es el de "Tabú Search" debido a que este permite asignar el mejor candidato dentro de las posibles opciones a elegir, si se llega a encontrar un candidato que sea mejor con respecto a las restricciones automáticamente será asignado a este lugar, Con la Búsqueda Tabú la asignación de docentes a materias facilitara y optimizara el proceso que se viene realizando dentro de la institución.

4.2 Recomendaciones

El siguiente trabajo realizado se trabajara sobre la aplicación del modelo planteado, teniendo en cuenta el número de docentes, salones, en conjunto con las restricciones de horarios de los docentes, al igual que de salones especializados. Desde este punto de vista haciendo un comparativo con el modelo grasp aplicándolo no se van a obtener mejores resultados que del modelo tabú search.

Bibliografía

- Annealing, S. (2004). Recocido Simulado, 1–4.
- Chen, R.-M., & Shih, H.-F. (2013). Solving University Course Timetabling Problems Using Constriction Particle Swarm Optimization with Local Search. *Algorithms*, 6, 227–244. <http://doi.org/10.3390/a6020227>
- Coral, M., Jáuregui, Y., & Mauricio, D. (n.d.). UNA SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE SELECCIÓN DE CURSOS BASADO EN HEURÍSTICAS PARA EL CASO DE LA FISCT.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 39–43. <http://doi.org/10.1109/MHS.1995.494215>
- Flores, P., Brau, E., Monteverde, J. a, Salazar, N. F., Cadena, E., & Lizárraga, C. a. (2005). Experimentos con Algoritmos Genéticos para resolver un problema real de, 42–46.
- Fong, C. W., Asmuni, H., Lam, W. S., McCollum, B., & McMullan, P. (2014). A novel hybrid swarm based approach for curriculum based course timetabling problem. In *Evolutionary Computation (CEC), 2014 IEEE Congress on* (pp. 544–550). IEEE.
- Fredy, J., Baquero, F., Mirledy, E., Ocampo, T., Alfonso, R., & Rendón, G. (2008). con Búsqueda Tabú.
- Glover, F. (1989). Tabu search-part I. *ORSA Journal on Computing*, 1(3), 190–206.
- Goldberg, D. E. (1989). Genetic Algorithms in Search , Optimization , and Machine Learning, 372. <http://doi.org/10.1007/s10589-009-9261-6>
- Granada, M., Ocampo, E. M. T., & Baquero, J. F. F. (2006). Programación óptima de horarios de clase usando un algoritmo memético. *Scientia et Technica*, 1(30).
- Hillier, & Frederick S., G. J. L. (2010). *Introducción a la Investigación de operaciones* (novena).
- Hinojosa, A., Espinosa, K., & Correa, R. (2012). EL MÉTODO DE ENJAMBRE DE PARTÍCULAS Y EL CRITERIO DE MÍNIMA ENTROPÍA EN EL DISEÑO ÓPTIMO DE UN DISIPADOR DE CALOR. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11(20), 203–214. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242012000100017&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Kanoh, H., & Chen, S. (2013). Particle Swarm Optimization with Transition Probability for Timetabling Problems. In *Adaptive and Natural Computing Algorithms* (pp. 256–265). Springer.
- Luz, L., & Soler, L. De. (n.d.). Directivas Institucionales Decanaturas Comité Editorial Directivas Institucionales Decanaturas Comité Editorial.
- Mejía, J., & Paternina, C. (2010). Asignación de horarios de clases universitarias mediante algoritmos evolutivos. *Revista Educación En Ingeniería*, 9, 140–149.
- Mendez Muñoz, D. V. (2007). Técnicas de Inteligencia Artificial Emergente Aplicadas al Servicio de Replicación de Datos de Arquitecturas Grid.
- Quintero, M. A. (2009). Métodos heurísticos para la planificación y el manejo forestal.
- Reina, G. V., & García, E. M. (2004). *Sistemas evolutivos y selección de indicadores*. Universidad de Sevilla. Retrieved from <http://books.google.com.co/books?id=Js4LaCfNMoUC>
- Sait, S. M., & Youssef, H. (1999). *Iterative computer algorithms with applications in engineering: solving combinatorial optimization problems*. IEEE Computer Society Press.
- San Martín, C. O., & Guzmán, G. M. R. (2013). Algoritmo de tipo búsqueda tabú para un problema de programación de horarios universitarios vespertinos. *INGE CUC*, 9(2), 58–65.
- Suárez, V. F., Guerrero, Á., & Castrillón, O. D. (2013). Programación de Horarios Escolares basados en Ritmos Cognitivos usando un Algoritmo Genético de Clasificación No-dominada, NSGA-II. *Información Tecnológica*, 24(1), 103–114. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100012>
- Sumpter, D. J. T. (2006). The principles of collective animal behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 361(1465), 5–22. <http://doi.org/10.1098/rstb.2005.1733>
- Taha, H. A. (2010). *Investigación de operaciones*.