# Implantación De Una Heurística Para Resolver El Problema De Coloramiento De Grafos Aplicado A La Planificación De Horarios De Una Institución Educativa

Katherine Flores Muñoz [1], M.Sc. Guillermo Baquerizo [2]
Instituto de Ciencias Matemáticas, Escuela Superior Politécnica del Litoral [1] [2]
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863.
Guayaquil-Ecuador
keflores@espol.edu.ec [1]
gbaqueri@espol.edu.ec [2]

## Resumen

*Un aspecto importante en el proceso educativo, es la generación de horarios y las asignaciones de las materias para los distintos profesores, el cual debe de ser realizado por personas en el menor tiempo posible, satisfaciendo un conjunto de restricciones. Los problemas de programación de horarios de clases, consisten en asignar las sesiones de clases, a períodos de tiempo (generalmente una semana), de tal manera que ningún profesor o asignatura tenga más de una sesión en el mismo período y que todas las sesiones de la asignatura estén presentes en el horario. Bajo estas premisas, se ha desarrollado este trabajo, cuyo objetivo principal será generar una solución que satisfaga las restricciones ocasionadas por los recursos involucrados (profesores, asignaturas, salones, etc.), desarrollando un modelo de asignación escolar que se ajuste a los requerimientos del plantel, para después aplicar el problema de coloramiento obteniendo una distribución de las horas evitando choques entre las materias impartidas por los docentes.*

***Palabras Claves:*** *Horarios, heurísticas, problema de coloramiento.*

## Abstract

*An important aspect in the educational process is the generation of schedules and the assignment of the subjects for each one of the different teachers, which should be made for people in a shortest time, satisfying a set of requests. The timetabling problem, is assign the class to periods of time (usually a week), such that any teacher or subject have more than one session in the same period and all sessions of class for each subject should complete the number of hours established by the high school. Under these premises, have made this project, whose main objective is give a solution that satisfies the request generated by each one of the resources involved (teachers, subjects, classrooms, etc.), developing a model of scholar assignment, conforming to the requirements of the high school, for after use the coloring problem getting a distribution of hours avoiding collisions between the subjects taught by teachers.*

***KeyWords:*** *Scheduling, heuristics, coloring problem.*

# 1. Introducción

Las instituciones educativas, se enfrentan cada térmico académico, al problema de programación de horarios, el cual consiste en fijar un conjunto de sesiones en un período establecido, las asignaturas que se dictan. Este artículo, propone resolver el problema de programación de horarios del ciclo básico de un colegio de la ciudad de Guayaquil, usando coloramiento de grafos.

# 2. El problema de planificación de horarios.

## 2.1 Introducción

La programación de horarios académicos, se encuentra dentro del problema de asignación de recursos, clasificado como un problema combinatorio, es decir su complejidad computacional crece de manera no polinomial conforme aumenta el número de variables de decisión y de restricciones. Dentro de estos problemas existe una rama específica, llamada *Class Scheduling*, cuya principal división es **[1]**:

**Programación de horarios de clases para colegios:** Considera un horario semanal para las sesiones de las asignaturas de una escuela o colegio. El problema consiste en asignar las sesiones en los espacios de tiempo, de tal manera que ningún profesor o sección tenga más de una sesión en el mismo momento y todas las clases de la asignatura estén presentes en el horario.

**Programación de horarios de exámenes:** Consiste en asignar el horario de exámenes, considerando la cantidad de salas y tiempo para realizar cada examen.

**Programación de horarios de clases para instituciones de educación superior:** Consiste en organizar un horario para un grupo de asignaturas, considerando un número de salas y bloques de tiempo. La principal diferencia entre un horario escolar y uno universitario es la forma en cómo los estudiantes toman las materias, además los profesores generalmente imparten más de una materia.

## 2.2 Descripción del problema

La institución en estudio, consta de 42 secciones tanto en nivel básico como diversificado, su jornada laboral es de lunes a viernes de 8 horas diarias. Cada materia tiene su respectiva carga horaria, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 1** Carga horaria semanal por asignaturas.

| | Número de Horas/Semana |
|---|---|
| **Matemáticas** | 6 |
| **Dibujo** | 2 |
| **Lenguaje** | 6 |
| **CC.NN** | 6 |
| **CC.SS** | 5 |
| **Inglés** | 5 |
| **Música** | 1 |
| **Ed. Física** | 2 |
| **Computación** | 2 |

Con relación a la carga horaria, los profesores deben cumplir un total de 30 horas/ semanales dictando clases, a su vez tienen asignadas las materias que deben de enseñar, presentándose el caso de que un mismo profesor enseñe a más de un curso, con el objetivo de cumplir su carga horaria, siendo muchas veces ésta de bajo dominio del profesor, a continuación se muestra el procedimiento para la asignación de materias:

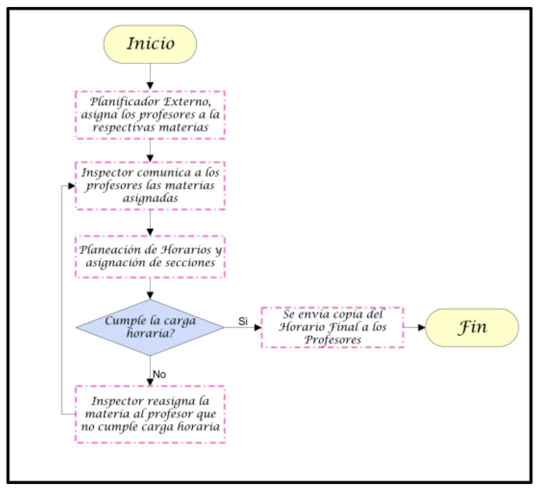


**Figura 1** Procedimiento de asignación de materias y secciones.

El problema radica cuando elaboran los horarios, pues aparte de ser construida de manera manual, toma días o semanas, además de tener una solución que no satisfaga los requerimientos del sistema.

## 2.3 Objetivos

### 2.3.1 Objetivos generales.

Generar una solución que satisfaga las restricciones ocasionadas por los recursos involucrados, aplicando el problema de coloramiento para la distribución de las horas evitando choques entre las materias impartidas por los docentes.

#### 2.3.2 Objetivos específicos.

- Desarrollar un modelo de asignación escolar que se ajuste a los requerimientos del plantel.
- Validar el modelo de asignación, comparando la solución obtenida con la situación actual.
- Implantar una heurística que proporcione la solución óptima a la asignación de horarios, eliminando el trabajo manual.

## 3. Marco teórico: el problema de coloración de grafos.

### 3.1 Definición matemática al problema de coloramiento

Sea G= (V, E) un grafo no dirigido, una coloración de G, ocurre cuando se colorea los vértices de G tal que una pareja de nodos unidos por una arista en G, tengan diferentes colores. **[5]**

#### 3.1.1 Número cromático.

El número mínimo de colores necesarios para una coloración propia de G es el número cromático de G y se escribe como X (G). **[2]**

#### 3.1.2 Conjunto independiente o estable.

Dado un grafo G= (V, E) se denomina un estable de G a un conjunto $\widehat{\mathrm{V}}$ (nodos) $\subset$ V tal que los elementos de $\widehat{\mathrm{V}}$ no son adyacentes **[5]**. A continuación se muestra un ejemplo:

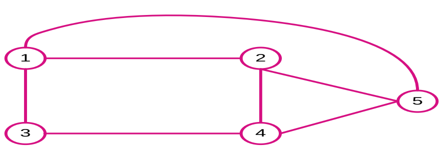


**Figura 2** Representación del grafo G, para el ejemplo citado.

Por definición los conjuntos estables son aquellos vértices que no son adyacentes, un ejemplo será:

$$\widehat{V_1} = \{5,3\};\ \widehat{V_2} = \{1,4\}; \widehat{V_3} = \{2\}$$

### 3.2 Aplicaciones al problema de coloramiento

- **Coloración de un mapa:** Consiste en asignar a cada región vecina un color diferente, siempre y cuando el grafo sea plano. **[2]**
- **Almacenamiento de productos peligrosos:** se tiene p productos químicos y se desea saber el mínimo número de depósitos a usar de forma que los productos que reaccionen entre sí estén en diferentes depósitos. **[7]**

### 3.3 Complejidad Computacional

El problema de colorear los vértices de un grafo, es uno de los más difíciles de resolver entre los problemas de optimización combinatoria, debido a que pertenece a la clase de problemas NP-Completo.

## 4. Formulación matemática del problema.

### 4.1 Situación actual

La programación de horarios de la institución educativa, es realizada de forma manual por el Departamento de Recursos Humanos, el tiempo de elaboración puede tomar tres meses, sin embargo no es una buena solución, debido a que los requerimientos de los profesores pueden cambiar. Actualmente la programación de horarios se realiza de la siguiente manera:

1. El Inspector General calcula el total de horas por materias/semana de acuerdo a la cantidad de paralelos:

$Total\ de\ Horas\ Sem.x\ Materia$:
$(\ No.Horas\ Materia\ Sem.) * Total\ Paralelos$ **(A)**

2. Se calcula el número de profesores necesarios para cada materia:

$No.Prof.Necesarios$ :
$$\left[\!\left[\left(\frac{Total\ Horas\ Sem.x\ Materia}{Carga\ Horaria\ x\ Profesor}\right)\right]\!\right] \qquad (\mathbf{B})$$

Donde el símbolo ⟦ ⟧ indica la aproximación del resultado obtenido a su entero mayor más cercano.

3. Se calculan las horas que faltan para completar el total de horas semanales por asignatura.

$No.Horas\ Completar\ por\ Materia$:
$$A - (B *\ Carga\ Horaria\ x\ Profesor)$$

4. Las horas faltantes, se las divide entre los profesores que no tienen asignadas materias, en el caso de no completar su carga horaria, se le dará otra asignatura que tenga relación con la asignada.

### 4.3 Desarrollo del modelo matemático

#### 4.3.1 Parámetros a considerar.

Antes de desarrollar el modelo matemático, deberá tenerse en cuenta:

- Todo profesor cumplirá 30 horas/semana de clase.
- Todo inspector puede dar mínimo 6 horas de clases.

Con estas condiciones, se denotará:

$$i\text{: } Número\ de\ Profesores$$
$$j\text{: } Número\ de\ Materias$$
$$k\text{: } Número\ de\ Inspectores$$

Para la programación de horarios, se usará el siguiente método de ponderación el cual permitirá valorar la afinidad de una materia por profesor **[3]**:

- Si el profesor ha impartido la materia o tiene nombramiento para esa materia, tomará el valor de 1.
- Si no ha impartido la materia pero tiene relación con la que ha impartido tendrá el valor de 50.
- Si tiene dominio de la materia, se le asignará el valor de 100.
- Si no tiene dominio de la materia o nunca la ha impartido, se le asignará el número 10000.

A esta matriz de la denotará como $\boldsymbol{A_{i,j}}$ la cuál representará el ***Grado De Dominio Del Profesor i Por La Materia j***. De manera similar, se tiene la matriz $\boldsymbol{B_{k,j}}$ que indicará el ***Grado De Dominio De Un Inspector k Hacia la Materia j***.

Cada materia tendrá su carga horaria semanal y por total de paralelos, a estos parámetros se los representará como $\boldsymbol{Horas\_Materia_j}$ y $\boldsymbol{Total\_Horas_j}$, a continuación se muestran los datos:

**Tabla 3:** Distribución de Horas Semanales y Total por paralelos

| | $Horas\_Materia_j$ | $Total\_Horas_j$ |
|---|---|---|
| *Matemáticas* | 6 | 252 |
| *Dibujo* | 2 | 84 |
| *Lenguaje* | 6 | 252 |
| *CCNN* | 6 | 252 |
| *CCSS* | 5 | 210 |
| *Ingles* | 5 | 210 |
| *Música* | 1 | 42 |
| *Ed. Física* | 2 | 84 |
| *Computación* | 2 | 84 |

#### 4.3.2 Variables de decisión.

Las variables que intervienen en el modelo matemático son:

$$X_{i,j}\text{: } No.\ cursos\ asignados\ al\ profesor\ i\ de\ la\ materia\ j$$
$$Insp_{k,j}\text{: } No.\ cursos\ asignados\ al\ inspector\ k\ de\ la\ materia\ j$$

Ambas variables tendrán el valor de 0 si no es asignado ningún curso, caso contrario tomarán cualquier valor entero positivo.

#### 4.3.3 1ra. Fase: Modelo de asignación de materias.

La formulación del modelo, es la siguiente:

$$Min\ z\text{: } \sum_{i,j} A_{i,j} * X_{i,j} + \sum_{k,j} B_{k,j} * Insp_{k,j} \qquad (\mathbf{1})$$

La ecuación 1 obligará a tomar los menores valores de las matrices $A_{i,j}$ y $B_{k,j}$ permitiendo asignar a los profesores las materias de mayor dominio.

$$\sum_{j} Horas\_Materia_j * X_{i,j} = Horas\_Profesor_i \ \forall i \ (\mathbf{2})$$

La ecuación 2 asegura que el profesor $i$ debe cumplir su carga horaria.

$$Horas\_Materia_j \left( \sum_{i} X_{i,j} + \sum_{k} Insp_{k,j} \right) \geq Total\_Horas_j \ \ \forall j \ (\mathbf{3})$$

La ecuación 3 permite que los cursos asignados de la materia $j$ , respeten la carga horaria total.

$$\sum_{i} X_{i,j} + \sum_{k} Insp_{k,j} = 42 \qquad \forall j \qquad (\mathbf{4})$$

La ecuación 4 permite que la cantidad de cursos asignados para profesores e inspectores cumpla el número total de paralelos.

$$\sum_{j} Horas\_Materias_j * Insp_{k,j} \leq 6 \quad \forall k \ \ (\mathbf{5})$$

La última expresión indica que todo inspector debe de dar como mínimo 6 horas de clases a la semana.

#### 4.3.4 2da. Fase: Heurística de coloración.

Realizada la asignación de las materias, se la representará como vértices de un grafo no dirigido, y los conflictos que impidan a cada profesor ser programados en el mismo tiempo, se lo representará mediante una arista que conecte esos nodos. Para ello, se utilizó una variante de la heurística de Brelaz **[4, 7]**, el algoritmo funciona de la siguiente manera:

a) Se construye una matriz de adyacencia, la cual tomará los valores de 1 si el Profesor i tiene más de una materia o paralelo.

b) Se ordenan los vértices de mayor a menor grado.

c) Asignar el primer color al nodo de mayor grado.

d) Se reordena la lista, eliminando el primer vértice utilizado.

e) Repetir paso C, verificando que no sea adyacente al anterior, si es verdad, se le asignará un nuevo color, caso contrario mantendrá el color anterior.

f) Si todos los vértices se han coloreado, termina la heurística caso contrario ejecutar paso e.

A continuación se muestra un ejemplo del algoritmo mencionado:

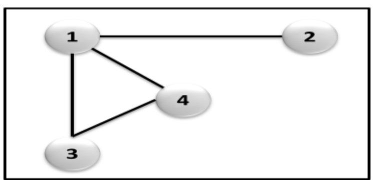


**Figura 3.** Representación del grafo, para el ejemplo citado.

Paso A y B.- Se realiza la matriz de adyacencia y se cuenta el grado de cada vértice.

**Tabla 2** Matriz de adyacencia para el grafo mencionado

| | $V_1$ | $V_2$ | $V_3$ | $V_4$ | Grado de adyacencia |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_1$ | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| $V_2$ | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| $V_3$ | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| $V_4$ | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |

Paso C.- Ordenar los nodos de mayor a menor grado.

$$Nodos\ Ordenados = \{V_1, V_3, V_4, V_2\}$$

Paso D.- Almacenar el primer vértice en el primer color.

$$colores = \{\{V_1\}\}$$

Paso E.- Se elimina el primer vértice de la lista de nodos ordenados y se la actualiza.

$$Nodos\ Ordenados = \{V_3, V_4, V_2\}$$

Paso F.- Se elige el primer nodo de la lista y se verifica si el nodo es adyacente al vértice anterior, para este ejemplo $V_1$ y $V_3$ son adyacentes, asignándole otro color.

$$colores = \{\{V_1\}, \{V_3\}\}$$

Se repite el ***paso E*** hasta que no exista vértices sin colorear, en este ejemplo la respuesta será:

$$colores = \{\{V_1\}, \{V_3\}, \{V_4, V_2\}\}$$

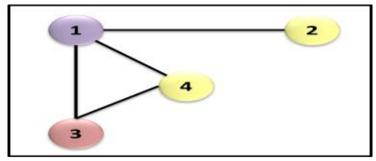


**Figura 4** Grafo coloreado

### 4.3.5 3ra. Fase: Procedimiento básico para la asignación de horarios.

El algoritmo de coloramiento, a pesar de dar una solución factible no considera limitantes de tiempo, para ello, se formulará un modelo matemático usando los resultados obtenidos en la heurística de coloración. A continuación se describen los parámetros utilizados:

$$P: Número\ de\ profesores\ asignados$$
$$S: Número\ de\ secciones$$
$$C: Número\ de\ colores\ a\ utilizar$$
$$D = Número\ de\ días\ hábiles\ para\ dar\ clases$$
$$H: Número\ de\ horas\ hábiles\ para\ dar\ clases$$

Se creará el conjunto *Profesor-Materia-Color*, la cual será denotado como $\mathbf{TRIADA_{P,S,C}}$ a su vez se le asignará el número de horas correspondientes para cada profesor, representándolo como $\mathbf{PROF\_HORAS_{P,S,C}}$.

Una vez definidos los parámetros, se definirá la variable de decisión:

$$X_{P,S,H,D} \begin{cases} 1 \text{ si el profesor P en la sección S del color C} \\ \quad \text{se lo asigna en el día D a la hora H.} \\ 0 \text{ sino} \end{cases}$$

Siendo el modelo matemático:

$$Min\ Z = \sum_{P,S,C,H,D} X_{P,S,C,H,D} \qquad (\mathbf{6})$$

La ecuación 6 representa la función objetivo, la cual permitirá determinar el número de horas totales de clases que se debe de recibir en el ciclo básico.

$$\sum_{H,D} X_{P,S,C,H,D} = Prof\_Horas_{P,S,C} \;\; \forall (P,S,C) \in \text{TRIADA}_{\text{P,S,C}} \;\; (\mathbf{7})$$

La ecuación 7 fuerza al modelo a cumplir la carga horaria reglamentaria.

$$\sum_{(S,C)\in TRIADA_{P,S,C}} X_{P,S,C,H,D} \leq 1 \quad \forall\,(P,H,D) \quad (\mathbf{8})$$

$$\sum_{(P,C)\in TRIADA_{P,S,C}} X_{P,S,C,H,D} \leq 1 \quad \forall\,(S,H,D) \quad (\mathbf{9})$$

La ecuación 8 y 9 obliga programar a los profesores y secciones que tienen diferentes colores en un solo período.

Una vez ejecutado, el modelo matemático en el Software *GAMS*, se importara los resultados a *Mathematica*, el cual permitirá hacer la asignación final de horarios. A continuación se describe el algoritmo general para la asignación de horarios:

**Inicio**
Para *p=1* hasta *p=No. Profesores habilitados para dar clases,*
*Construir horario de clases para cada profesor, compuesto por 5 filas y 7 columnas, y llenarlo de ceros.*
**Fin;**
**DIAS={**"Lunes" , "Martes", "Miércoles", "Jueves", "Viernes"**};**
**HORAS={**"H1","H2","H3","H4","H5","H6","H7"**};**
**Asignación_Final=***Profesores asignados en el día D en la Hora H. Ej.: {{P1,2,1,H1,Lunes},{P1,3,2,H2,Martes},..}*
**Profesores=***No. Profesores habilitados para dar clases. Ej.: {P1,P2,..}*

**Inicio**
**Para** *i=1* hasta *i= Longitud de Asignación_Final,*
**Para** *j=1* hasta *j=Longitud de Profesores,*
Si para el primer elemento de ***Asignación_Final*** en la posición i es igual a ***Profesores*** en la posición j, crear los siguientes parámetros:
▪tabla=ubicación donde se encuentra ***Profesores*** en la posición j (La cual varia de p=1 hasta p=No. Profesores habilitados para dar clases)
▪hora=lugar que ocupa en HORAS el cuarto elemento de ***Asignación_Final*** en la posición i;
▪día=Lugar que ocupa en DIAS el quinto elemento de ***Asignación_Final*** en la posición i;
▪*Asignar en la ubicación {hora, día} de tabla, a los dos primeros elementos de* ***Asignación_Final*** *en la posición i*
**Fin**
**Fin**

**Figura 5.** Algoritmo para la asignación de horarios

# 5. Resultados

## 5.1 Resultados en la fase 1

- Para el profesor $P_{16}$ en vez de asignarle 5 cursos en la cátedra *Lengua y Literatura*, se le dará 30 cursos de la materia de Música por tener un mayor dominio en esta materia.
- Para la materia de Dibujo la cual era impartida por los inspectores $I_{01}$, $I_{02}$, $I_{03}$, con la solución obtenida, dichos inspectores se le asignará el cargo de Inspección por poseer título de tecnólogo y por reglamentos internos se encuentran en la capacidad de dar clases.
- Al profesor $P_{21}$ no dará la materia de CC.NN, se le dará la materia de Lengua y Literatura.

## 5.2 Resultados para la fase 2

La figura 6 representa los profesores con sus respectivas secciones, a su vez muestra que profesores pueden ser asignados a la misma hora y día, a continuación se muestra la interpretación:

- Para el conjunto $\{P_{16}, 2\}$ (el cual indica la asignación de la sección 2 al profesor $P_{16}$ de un total de 53 profesores) y $\{P_{16}, 3\}$ por estar en diferentes colores (color 1 y 2), deben de ser programados a distintas horas, puesto de que se trata del mismo profesor.

- Para el conjunto $\{P_2,9\}$ y $\{P_{13},9\}$ a pesar de ser diferentes profesores, la heurística de coloramiento, está programada no solo para determinar los profesores a ser programados en diferentes horas, sino también las secciones.

| | |
|---|---|
| Color 1 | $\{P_{16},2\}$, $\{P_{49},37\}$, $\{P_{10},10\}$, $\{P_{11},25\}$, $\{P_{46},13\}$, $\{P_{47},28\}$, $\{P_{48},3\}$, $\{P_{50},42\}$, $\{P_{45},4\}$, $\{P_{4},16\}$, $\{P_{44},38\}$, $\{P_{30},5\}$, $\{P_{31},7\}$, $\{P_{32},14\}$, $\{P_{33},19\}$, $\{P_{34},26\}$, $\{P_{35},31\}$, $\{P_{36},39\}$, $\{P_{37},6\}$, $\{P_{38},8\}$, $\{P_{39},15\}$, $\{P_{40},20\}$, $\{P_{41},27\}$, $\{P_{42},32\}$, $\{P_{43},40\}$, $\{P_{1},1\}$, $\{P_{2},9\}$, $\{P_{3},11\}$, $\{P_{5},18\}$, $\{P_{6},23\}$, $\{P_{7},29\}$, $\{P_{8},33\}$, $\{P_{9},41\}$, $\{P_{14},12\}$, $\{P_{15},17\}$, $\{P_{17},21\}$, $\{P_{18},30\}$, $\{P_{19},34\}$, $\{P_{21},36\}$, $\{P_{25},22\}$, $\{P_{28},35\}$ |
| Color 2 | $\{P_{16},3\}$, $\{P_{49},38\}$, $\{P_{10},11\}$, $\{P_{11},26\}$, $\{P_{46},14\}$, $\{P_{47},29\}$, $\{P_{48},2\}$, $\{P_{50},28\}$, $\{P_{45},5\}$, $\{P_{4},17\}$, $\{P_{44},39\}$, $\{P_{30},4\}$, $\{P_{31},8\}$, $\{P_{32},13\}$, $\{P_{33},20\}$, $\{P_{34},25\}$, $\{P_{35},32\}$, $\{P_{36},37\}$, $\{P_{38},7\}$, $\{P_{39},16\}$, $\{P_{40},19\}$, $\{P_{41},30\}$, $\{P_{42},31\}$, $\{P_{43},41\}$, $\{P_{2},6\}$, $\{P_{3},12\}$, $\{P_{5},21\}$, $\{P_{6},24\}$, $\{P_{8},34\}$, $\{P_{9},40\}$, $\{P_{13},9\}$, $\{P_{14},15\}$, $\{P_{15},18\}$ |

**Figura 6.** Resultados obtenidos en la segunda fase para la primera y segunda iteración.

## 5.3 Resultados en la fase 3

En la figura 7 se muestra los resultados obtenidos aplicando el modelo matemático, por ejemplo para el profesor $P_1$, el modelo da resultados satisfactorios, cumpliendo la carga académica asignada para cada profesor, que en este caso es 30.

| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes |
|---|---|---|---|---|---|
| 13h20-14h00 | $\{P_1,1\}$ | $\{P_1,3\}$ | $\{P_1,4\}$ | $\{P_1,1\}$ | $\{P_1,2\}$ |
| 14h00-14h40 | $\{P_1,4\}$ | $\{P_1,5\}$ | 0 | $\{P_1,3\}$ | $\{P_1,3\}$ |
| 14h40-15h20 | $\{P_1,4\}$ | $\{P_1,3\}$ | $\{P_1,5\}$ | 0 | $\{P_1,5\}$ |
| 15h20-16h00 | $\{P_1,5\}$ | $\{P_1,4\}$ | $\{P_1,2\}$ | $\{P_1,3\}$ | $\{P_1,2\}$ |
| 16h00-16h20 | Recreo | | | | |
| 16h20-17h00 | $\{P_1,2\}$ | $\{P_1,2\}$ | $\{P_1,3\}$ | $\{P_1,5\}$ | 0 |
| 17h00-17h40 | $\{P_1,4\}$ | 0 | 0 | $\{P_1,1\}$ | $\{P_1,1\}$ |
| 17h40-18h20 | $\{P_1,1\}$ | $\{P_1,1\}$ | $\{P_1,5\}$ | $\{P_1,4\}$ | $\{P_1,2\}$ |

**Figura 7.** Distribución final obtenida en la primera iteración

## 6. Conclusiones

- El grado de las materias de poco dominio por los profesores se redujo significativamente a un 80%, validando la hipótesis inicial de este proyecto, cuyo objetivo principal era realizar un modelo matemático que satisfaga los requerimientos impuestos por la institución en estudio, además de asignar las materias más afines para cada docente, ayudando a mejorar el nivel de educación impartida por la institución.

- Con el desarrollo del modelo matemático, el tiempo de elaboración de horarios disminuyo significativamente, pues si en un inicio las personas encargadas de esta tarea, s demoraban tres meses en promedio, con la implantación de este modelo, el tiempo de ejecución de todo el programa fue menor a 10 minutos, cumpliendo con uno de los objetivos específicos el cuál fue reducir el tiempo de elaboración, así si se da el caso de realizar un cambio inesperado solo se modificará los datos de entrada, facilitando la toma de decisiones.

- El mínimo número de horas necesarias para poder cumplir la carga horaria total de todos los paralelos de la sección vespertina es de 1470 horas sin existir horas faltantes, al contrario de la situación actual donde el número de horas faltantes era de 120 las cuales eran distribuidas a los profesores, con la asignación de materias siendo muchas veces asignaturas no dominadas por el docente.

## 7. Agradecimientos

A mis padres por haberme apoyado de manera incondicional con sus consejos, valores y motivación, los cuáles me han permitido ser una persona de bien y a mi querido sobrino Andrés, quienes en los momentos más difíciles me dieron su amor y comprensión para poderlos superar.

Al M. Sc. Guillermo Baquerizo quien con su experiencia, ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos, los cuáles me han apoyado a mi crecimiento no solo a nivel profesional, sino también como persona mil palabras no bastarían para agradecerles por su inmenso apoyo, compresión y consejos.

## 8. Referencias

[1]Del Barco Gamarra, R. (2010). Formulación de un Modelo de Programación Matemática. Universidad De Chile, Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas, Santiago de Chile.

[2]Chartrand, G., & Zhang, P. (2009). Chromatic Graph Theory. New York: Kenneth H. Rosen.

[3]Ramírez Gómez, L. A., Cruz Reyes, L., & Alonso, F. (2002). El Problema de la Programación de Horarios con Coloreo de Grafos. Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Departamento de Sistemas y Computación.

[4]Caballero, M. J. (2008). Asignación de Horarios de Clases Universitarias Mediante Algoritmos Evolutivos. Mej, Barranquilla-Colombia.

[5] Borrego Ropero, R., & Recio Domínguez, D. (2006). Manual de Algorítmica. Proyecto fin de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Departamento de Matemáticas Aplicadas, Sevilla.

[6] CAEROLUS. (25 de Agosto de 2007). Recuperado el 20 de Julio de 2012, de http://www.caerolus.com/informatica/teorema-4-colores-aplicado-compiladores.html.

[7] Peñalver, G. H. (2003). Coloración. Presentación Power Point, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Matemática Aplicada, Madrid.