

Selección Sexual Discriminatoria en un Algoritmo Evolutivo con una Matriz de Preferencias para la mejora de calidad de los Horarios de Trabajo

Víctor Arroyo
 Ciencia de la Computación
 Universidad Católica San Pablo
 Arequipa, Perú
 Email: victor.arroyo@ucsp.edu.pe

Yván J. Túpac Valdivia
 Ciencia de la Computación
 Universidad Católica San Pablo
 Arequipa, Perú
 Email: ytupac@ucsp.pe

Resumen—Este trabajo propone e implementa un modelo de Algoritmo Evolutivo para resolver uno de los problemas más importantes en un ambiente empresarial, el cual es la generación de un horario de trabajo para los empleados que les permita mejorar la productividad y eficiencia. Para solucionar este problema se propone un operador genético de selección al que se denominará Selección Sexual Discriminatoria tomando como base el operador de Selección Sexual. A este operador de selección propuesto se le modificará basándose en la discriminación de clases que existe en la sociedad, es decir los mejores se reproducen con los mejores y los peores con los peores, además se propone operadores genéticos para este algoritmo evolutivo y un esquema de ponderación de las probabilidades de mutación para cada clase en la población. Luego de esto nos enfocaremos en solucionar el problema de calidad del horario en cuanto a la satisfacción, salud y productividad de los empleados con el horario definido. Para mejorar la calidad del horario se propone el uso de una Matriz de Preferencias que influirá tanto en la generación de individuos como en el cálculo de aptitud. Con esta técnica se resuelve el problema principal que es la generación de horarios de empleados. Este modelo propuesto ayudará a que los horarios generados aumenten su calidad conforme cada periodo de tiempo y mejore sustancialmente la eficiencia tanto de la empresa como de los empleados.

Keywords-Algoritmo evolutivo; operadores de selección; selección sexual; matriz de preferencias; horarios

I. INTRODUCCIÓN

La asignación de un horario de trabajo a los empleados en una institución es un tema abarcado en varios trabajos de investigación utilizando diferentes formas de nombrarlo. Los términos más utilizados son: *workforce scheduling*, *manpower scheduling*, *staff scheduling*, *employee timetabling*, *crew scheduling* [1]. La asignación de un horario de trabajo a los empleados consiste en adjudicar a los empleados turnos de trabajo en un periodo previamente definido. En la Figura 1 se muestra un ejemplo de un horario básico utilizado generalmente por diversas empresas e instituciones, en este ejemplo el periodo es de 7 días.

Existen básicamente dos tipos de horarios de trabajo: a) los horarios estáticos, los cuales no varían en los diferentes periodos de tiempo y b) los horarios dinámicos que sí varían

HORARIO DE EMPLEADOS							
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
EMPLEADO 1	am/pm	am		pm	am	am	pm
EMPLEADO 2		am/pm	am/pm		pm	pm	am
EMPLEADO 3	am	pm	am	am/pm	am	am	
EMPLEADO 4	pm		pm	am	pm	am/pm	pm

Figura 1. Ejemplo típico y básico de un horario de empleados

cada periodo de tiempo.

A continuación en las Figuras 2 y 3 se muestran dos ejemplos básicos de horarios dinámicos y estáticos cuyo periodo es de 7 días.

PERIODO 1 = PERIODO 2

HORARIO DE EMPLEADOS							
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
EMPLEADO 1	am/pm	am		pm	am	am	pm
EMPLEADO 2		am/pm	am/pm		pm	pm	am
EMPLEADO 3	am	pm	am	am/pm	am	am	
EMPLEADO 4	pm		pm	am	pm	am/pm	pm

Figura 2. Ejemplo básico de un Horario Estático en 2 períodos de tiempo

PERIODO 1

HORARIO DE EMPLEADOS							
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
EMPLEADO 1	am/pm	am		pm	am	am	pm
EMPLEADO 2		am/pm	am/pm		pm	pm	am
EMPLEADO 3	am	pm	am	am/pm	am	am	
EMPLEADO 4	pm		pm	am	pm	am/pm	pm

PERIODO 2

HORARIO DE EMPLEADOS							
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
EMPLEADO 1	am/pm	pm		pm	pm	pm	am
EMPLEADO 2	am		pm	am	am	am/pm	pm
EMPLEADO 3		am/pm	am/pm		am	am	am
EMPLEADO 4	pm	am	am	am/pm	pm	pm	

Figura 3. Ejemplo básico de un Horario Dinámico en 2 períodos de tiempo donde los casilleros sombreados indican la variación entre periodo 1 y periodo 2

En esta investigación se considerará el horario dinámico ya que se pretende mejorar la productividad de los empleados y, al mismo tiempo, tener un mejor impacto de satisfacción y

salud de los empleados.

Se propone utilizar un Algoritmo Evolutivo(AE) para la búsqueda de la configuración más productiva, y se propone, un nuevo operador evolutivo de selección denominado Selección Sexual Discriminatoria (SSD), que está basado en el operador de *Selección Sexual* [2]. En este nuevo operador de selección, los individuos de la población se discriminarán por clases y estos se reproducirán con individuos de su propia clase, cabe resaltar que se generará distintas probabilidades de mutación para las distintas clases de individuos en la población a generarse. Adicionalmente se definirán los operadores evolutivos de cruzamiento y mutación, basándose en el trabajo de [3], a utilizar en este AE y se incluirá una Matriz de Preferencias (MPs) cuyos valores variarán cada periodo previamente definido dependiendo de la productividad de los empleados. Esta MPs ayudará a evaluar la calidad de los horarios de trabajo de los empleados. En la Figura 4 se muestra un horario con su respectiva MPs.

HORARIO DE EMPLEADOS													
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO						
EMPLEADO 1	am/pm	am		pm	am	am	pm						
EMPLEADO 2		am/pm	am/pm		pm	pm	am						
EMPLEADO 3	am	pm	am	am/pm	am		am						
EMPLEADO 4	pm		pm	am	pm	am/pm	pm						

MATRIZ DE PREFERENCIAS														
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO							
AM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	
EMPLEADO 1	0.40	0.33	0.01	0.00	0.40	0.80	0.34	0.00	0.40	0.50	0.40	0.00	0.30	0.25
EMPLEADO 2	0.00	0.33	0.50	0.60	0.50	0.00	0.46	0.90	0.00	0.50	0.00	0.80	0.25	0.25
EMPLEADO 3	0.20	0.00	0.49	0.30	0.05	0.10	0.10	0.01	0.30	0.00	0.00	0.10	0.50	0.25
EMPLEADO 4	0.40	0.33	0.00	0.10	0.05	0.10	0.10	0.09	0.30	0.00	0.60	0.10	0.05	0.25
TOTAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 4. Ejemplo básico de un horario básico con su respectiva Matriz de Preferencias

En este ejemplo existen dos turnos, por lo cual cada empleado tendrá una probabilidad asignada por cada turno en cada día. Dichas probabilidades se verán afectadas por la productividad de los empleados en dichos turnos. Esta asignación de probabilidades ayudará a una mejor asignación de turnos a los empleados. La MPs es una matriz de orden (número de empleados x (número de días x número de turnos)).

I-A. Trabajos Relacionados

Existen varios trabajos relacionados a generación de horarios de trabajo para empleados y el uso de AEP para solucionar este problema:

En el trabajo de investigación de [3] propone utilizar un algoritmo genético con la técnica Tabu Search para solucionar el problema de generación de horarios universitarios. En esta investigación se proponen operadores de cruzamiento y mutación además de una representación del individuo a utilizar. Los operadores genéticos propuestos ayudan a explorar y explotar soluciones sin violar las restricciones para garantizar un resultado deseado. Se le aumenta la técnica Tabu Search la que consiste en definir una lista de vecindarios que modifican la mejor solución conforme pasan las generaciones, esto garantiza la mejora de calidad en la población.

En el trabajo de investigación de [1] se propone un algoritmo genético para solucionar un horario rotatorio de empleados, en donde propone un operador de cruzamiento aleatorio, la aptitud a calcular se da por una fórmula utilizando variables tales como cumplimiento de restricciones, días libres, días trabajando, períodos de tiempo y secuencias de turnos. Si bien propone un algoritmo genético que cumple con solucionar el problema de reparto de recursos, el costo computacional es alto todavía y solo se centra en restricciones más no en la calidad del horario generado.

En el trabajo de investigación de [6] se propone dar solución al problema de los laboratorios centrales con los debidos trabajadores cualificados que requieren de un proceso para generar un horario lleno y que todas las habilidades de cada trabajador se ejerzan periódicamente para mantener la competencia del laboratorio. En este trabajo se utiliza un algoritmo genético, donde se proponen un operador de cruzamiento en dos puntos y un operador de mutación en dos puntos. Si bien esta investigación no está terminada y los resultados no son cualitativos, la idea de buscar maximizar la aptitud en base a las características fuertes de los empleados es innovadora para obtener un horario de mejor calidad.

En el trabajo de investigación de [7] se propone utilizar un sistema inmune artificial con un modelo de selección clonal, principalmente se enfoca en resolver el problema de generar horarios mono-objetivo. En este trabajo de investigación si bien propone un sistema inmune artificial solo se enfoca en el problema de generar un horario no de la calidad de horario. El costo computacional de este sistema inmune artificial es bajo igual que las operaciones que realiza.

La propuesta se basa en la Selección Sexual [2]. Los operadores genéticos se basan en los operadores utilizados en estas investigaciones.

II. OPERADOR DE SELECCIÓN SEXUAL

El esquema de Selección Sexual [2] se inspira en el concepto de selección sexual propuesto por Darwin que sugiere que la elección de pareja opera a través de la elección femenina. Esta implementación consta de 5 etapas principalmente:

1. Separar la generación actual en machos y hembras.
2. Seleccionar la hembra no emparejada.
3. Seleccionar un macho a emparejar.
4. Emparejar la hembra y macho para producir descendencia.
5. Vuelva al paso 2 hasta que todas las hembras hayan copulado.

Este diseño asegura que todas las hembras llegan a reproducir independientemente de su aptitud y su objetivo es facilitar la exploración del espacio de búsqueda. Por el otro lado, el sesgo hacia los machos explota el conocimiento de que la estructura del cromosoma del individuo es mejor. En las Figuras 5, 6 y 7 se detalla en forma gráfica la selección sexual.

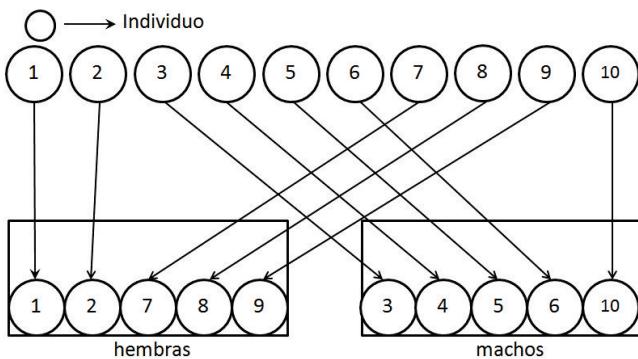


Figura 5. Separación de la población en hembras y machos

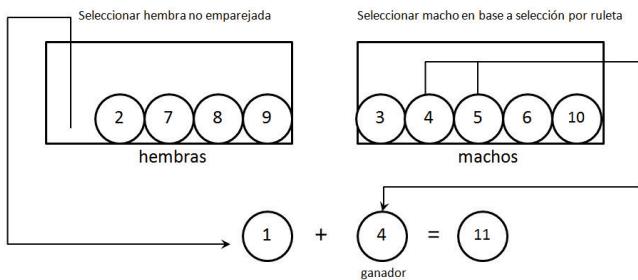


Figura 6. Selección de hembra no emparejada y selección de un macho

III. PROPUESTA

En este capítulo se detalla la propuesta para generar un horario de empleados cumpliendo las restricciones y mejorando la calidad de estos. Para lo siguiente, se detalla las diferentes partes de la propuesta, las cuales son las siguientes:

1. Definición del Individuo.
2. Operador de Selección Sexual Discriminatoria.
3. Operador de Cruzamiento.
4. Operador de Mutación.
5. Definición de Restricciones.
6. Matriz de Preferencias.
7. Función de Evaluación.

III-A. Definición de Individuo

La definición del individuo del algoritmo genético se basa en el individuo utilizado para resolver el *Problem A: curriculum-based course timetabling* [3].

El individuo es representado por una matriz (véase Figura 8). El individuo es una matriz $d \times e$, donde d es el número de días y e es el número de empleados disponibles. Los valores de esta matriz son los períodos en que está compuesto un día de trabajo, en el individuo se está considerando dos períodos: *am* y *pm*.

En el algoritmo genético se generará una población de x individuos, donde cada individuo representa una posible solución al problema propuesto.

III-B. Selección Sexual Descriminatoria

Este operador genético de selección está basado en el operador de selección sexual [2]. La SSD se compone princi-

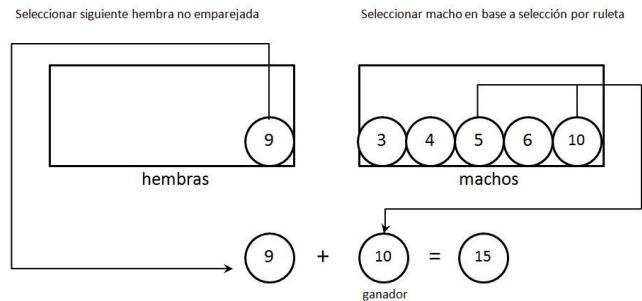


Figura 7. Proceso es repetido hasta que todas las hembras hayan sido apareadas

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
E1	am	pm	pm		pm	am/pm	am
E2		am/pm	am/pm	pm	pm		am
E3	pm		am	pm	am/pm	am	pm
E4	am/pm	am	pm	am	am	pm	pm
E5	pm	pm		am/pm	am	pm	pm

Figura 8. Esquema básico del Individuo

palmente en los siguientes pasos:

1. Separar población en clases de acuerdo a su aptitud.
2. Definir probabilidad de mutación para cada clase.
3. En cada clase diferenciar las hembras y los machos.
4. Seleccionar una hembra no emparejada.
5. Seleccionar un macho de la misma clase para emparejar.
6. Emparejar la hembra y macho para producir descendencia.
7. Vuelva al paso 2 hasta que todas las hembras hayan copulado.

A continuación se mostrará un ejemplo gráfico de la SSD (véase Figura 9, 10 y 11).

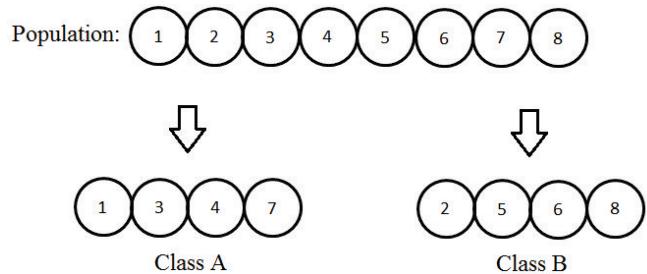


Figura 9. Separación de la población en dos clases

Debido a que se necesita que la población tenga un número par de individuos igual que a sus clases que la componen, se define que el número de individuos en la población debe ser múltiplo de 4.

Este operador de selección permitirá dividir la población en clases de acuerdo a su aptitud, lo que permitiría emparejar a los mejores con los mejores y peores con los peores, cada clase tiene su propia probabilidad de mutar, que es más baja en las mejores clases y se incrementa conforme se clasifican los demás individuos.

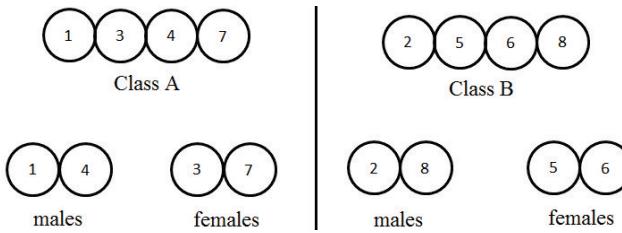


Figura 10. Diferenciación de machos y hembras en cada clase

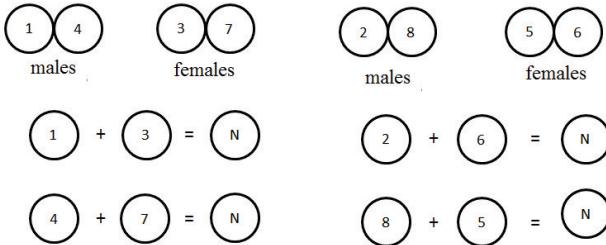


Figura 11. Emparejamiento y producción de descendencia

Las probabilidades óptimas de cruzamiento y mutación según [8] son de 0.65 y 0.008 respectivamente. No se modificará la probabilidad de cruzamiento debido a que necesitamos explotar las soluciones con una probabilidad óptima.

III-C. Operador de Cruzamiento

El operador de cruzamiento propuesto consiste en elegir aleatoriamente dos columnas distintas de nuestros individuos a cruzar e intercambiarlas entre ellas como se muestran en las Figuras 12 y 13.

INDIVIDUO 1		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
E1	am	pm	pm		pm	am/pm	am	
E2		am/pm	am/pm	pm	pm		am	
E3	pm		am	pm	am/pm	am	pm	
E4	am/pm	am	pm	am		pm	pm	
E5	pm	pm		am/pm	am	pm	pm	

INDIVIDUO 2		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
E1	pm	pm	am	pm	am/pm	am	pm	
E2	pm	pm		am/pm	am	pm	pm	
E3		am/pm	am/pm	pm	pm		am	
E4	am	pm	pm		pm	am/pm	am	
E5	am/pm	am	pm	am		pm	pm	

Figura 12. Selección de dos columnas aleatoriamente

En este ejemplo se ha seleccionado aleatoriamente la columna 2 y la columna 5.

Cabe destacar que el operador de cruzamiento podría generar un individuo que sea incorrecto lo que podría ocasionar inconsistencias en el algoritmo, para solucionar este problema se utilizará una función de comprobación de individuos, la cual evaluará el descendiente y en caso el individuo sea incorrecto se tomará al padre del individuo, caso contrario el descendiente será elegido.

DESCENDIENTE 1

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
E1	am		pm		am/pm	am/pm	am
E2		pm		am/pm	pm		am
E3	pm	am/pm	am	pm	pm	am	pm
E4	am/pm	pm	pm	am	pm	pm	pm
E5	pm	am		am/pm		pm	pm

DESCENDIENTE 2

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
E1	pm	pm	am	pm	pm	am	pm
E2	pm	am/pm		am/pm	pm	pm	pm
E3			am/pm	pm	am/pm	am	pm
E4	am	am	pm	am		am/pm	am
E5	am/pm	pm	pm	am	am	pm	pm

Figura 13. Intercambio de columnas elegidas

III-D. Operador de Mutación

El operador de mutación propuesto consiste en seleccionar la mitad menos significativa del individuo y aplicar la mutación de los turnos como se muestran en las Figuras 14 y 15.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
E1	am	pm				am/pm	am
E2		am/pm	am/pm		pm		am
E3			am	pm	am/pm	am	pm
E4	am/pm	am	pm	am		pm	
E5	pm			am/pm	am		pm

Figura 14. Selección mitad menos significativa

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
E1	am	pm				am/pm	pm
E2		am/pm	am/pm		am		pm
E3			am	pm	am/pm	pm	am
E4	am/pm	am	pm	am		am	
E5	pm			am/pm	pm		am

Figura 15. Mutación de turnos

Se procede a mutar los turnos de la columna elegida, es decir si el elemento es *am* se procede a cambiarlo por *pm* y viceversa, se podrá mutar un individuo solo si la MP tiene un valor diferente a 0 en esa posición. Si el elemento es *am/pm* no se muta debido a que se podría alterar negativamente la calidad del individuo.

III-D.1. Esquema de Ponderación de las Probabilidades de Mutación: Las probabilidades de mutación en la población varían dependiendo a que clase pertenecen los individuos. La clase más alta posee una probabilidad de mutación inicial mientras que las demás clases van aumentando su probabilidad en incrementos constantes de tal forma que la última clase tiene una probabilidad de mutación de 1. Este aumento de probabilidad se calcula utilizando la Ecuación 1.

$$k = \frac{1 - PMI}{(n - 1)} \quad (1)$$

donde:

n es el número de clases.

PMI es la probabilidad inicial de mutación.

k es el incremento de probabilidad.

En el Cuadro I se muestra un ejemplo de la variación de las probabilidad de mutación.

Cuadro I

EJEMPLO DEL CÁLCULO DE LAS PROBABILIDADES DE MUTACIÓN POR CLASE DONDE $n : 16$ Y $PMI : 0,1$

Clase	Probabilidad
1	0.10
2	0.16
3	0.22
4	0.28
5	0.34
6	0.40
7	0.46
8	0.52
9	0.58
10	0.64
11	0.70
12	0.76
13	0.82
14	0.88
15	0.94
16	1.00

III-E. Definición de Restricciones

Las restricciones definidas en nuestra investigación son las siguientes:

- Número de días libres de cada empleado.
- Número de días con un solo turno por empleado.
- Número de días con doble turno por empleado.
- Número de días seguidos con doble turno por empleado.

Las restricciones se definen de acuerdo al individuo definido, por consiguiente el cálculo del valor de las restricciones en el individuo se realiza de la siguiente manera:

- Número de días libres de cada empleado: # díaslibres * 0.2
- Número de días con un solo turno por empleado: # díasasunturno * 0.2
- Número de días con doble turno por empleado: # díasdobleturno * 0.2
- Número de días seguidos con doble turno por empleado: # díasseguidosdobleturno * -0.2
- Número de turnos por empleado en la semana: (# turnosdeseadoxsemana - # turnossemana) * -0.1

Las restricciones definidas son *soft*, es decir, sirven para calcular el fitness del individuo más no para descartar un individuo. El valor de las restricciones se suman obteniendo un valor utilizado para el cálculo de aptitud del propio individuo.

III-F. Matriz de Preferencias

Para la generación de la población de los AE generalmente se realiza mediante aleatoriedad sin seguir un patrón de probabilidades. Debido a esta falta de especificación es que se

MATRIZ DE PREFERENCIAS														
LUNES		MARTES		MIERCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO		
AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	
EMPLEADO 1	0.40	0.33	0.01	0.00	0.40	0.80	0.34	0.00	0.40	0.50	0.40	0.00	0.30	0.25
EMPLEADO 2	0.00	0.33	0.50	0.60	0.50	0.00	0.46	0.90	0.00	0.50	0.00	0.80	0.25	0.25
EMPLEADO 3	0.20	0.00	0.49	0.30	0.05	0.10	0.10	0.01	0.30	0.00	0.00	0.10	0.50	0.25
EMPLEADO 4	0.40	0.33	0.00	0.10	0.05	0.10	0.10	0.09	0.30	0.00	0.60	0.10	0.05	0.25
TOTAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 16. Ejemplo básico de una Matriz de Preferencias

propone una MP (Véase Figura 16) en el algoritmo evolutivo para la generación de la población inicial.

En la matriz definida por cada día se agrega la cantidad de turnos por día, en este caso cada día tiene dos turnos. Una de las particularidades de esta matriz es que los valores de cada columna deben de sumar 1. Si un elemento de la columna varía, la diferencia del valor actual con el anterior se reparte entre los demás elementos de la columna, ya sea para agregar o disminuir el valor de los demás elementos. Si un empleado no puede trabajar en un turno especificado el valor para esa posición en la MP sería de 0. Un empleado puede tener un máximo de 4 turnos con valor 0, es decir, que no pueda trabajar.

Esta matriz ayudará a generar una población inicial con mayor aptitud, por ende con una mejor calidad de individuos, lo que nos permitiría un costo mucho menor en comparación a otras técnicas. Cabe resaltar que se basa en el modelo probabilístico al utilizar esta MP, por lo cual los individuos no serán parecidos ni se estará forzando una generación estandar de individuos.

Los valores de esta matriz varían de acuerdo a valores de eficiencia, penalidades por parte del empleado, etc. Lo que haría que esta matriz tenga elementos dinámicos, lo que permitiría una mayor aleatoriedad de los individuos a generarse en la población inicial.

Al modificar un elemento de la MP los valores de la columna son afectados, de esta forma se recalcula la MP para seguir cumpliendo la condición de que los elementos de una columna deben sumar 1. Para evitar el hecho de que un elemento pueda ser elegido varias veces, se normalizará cada columna de la MP.

III-G. Función de Evaluación

El cálculo de fitness del individuo se hará en base a la Ecuación 2 utilizando valores de la MP y las restricciones *soft* definidas.

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n M(i, j) * I(i, j) \quad (2)$$

donde:

$f(x)$ es la función de evaluación.

M es la Matriz de Probabilidades.

I es el individuo.

i, j son las posiciones en la MP y el individuo.

Como previamente se ha definido, la MP tiene una probabilidad por cada turno posible de cada empleado. Entonces

para calcular el fitness en función a la MP se multiplicará cada posición de la MP con la posición del Individuo, es decir si en el Individuo la posición de turno está seleccionada, el valor a multiplicar sería 1, caso contrario 0. En las Figuras 17 y 18 se muestra un ejemplo básico de cálculo de fitness con la MP.

HORARIO DE EMPLEADOS							
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	Domingo
EMPLEADO 1	am/pm	am		pm	am	am	pm
EMPLEADO 2		am/pm	am/pm		pm	pm	am
EMPLEADO 3	am	pm	am	am/pm	am		am
EMPLEADO 4	pm		pm	am	pm	am/pm	pm

HORARIO DE EMPLEADOS													
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	Domingo	AM	PM	AM	PM	AM	PM
EMPLEADO 1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
EMPLEADO 2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
EMPLEADO 3	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1
EMPLEADO 4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0

MATRIZ DE PREFERENCIAS													
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	AM	PM	AM	PM	AM	PM
EMPLEADO 1	0.40	0.33	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00	0.00	0.25
EMPLEADO 2	0.00	0.00	0.50	0.60	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.80	0.25	0.00
EMPLEADO 3	0.20	0.00	0.00	0.30	0.05	0.00	0.10	0.01	0.30	0.00	0.00	0.50	0.00
EMPLEADO 4	0.40	0.33	0.00	0.10	0.05	0.10	0.10	0.09	0.30	0.00	0.60	0.10	0.05

Figura 17. Ejemplo básico de un Horario y su respectiva Matriz de Preferencias

0.40	0.33	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00	0.00	0.25	
0.00	0.00	0.50	0.60	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.80	0.25	0.00	
0.20	0.00	0.00	0.30	0.05	0.00	0.10	0.01	0.30	0.00	0.00	0.50	0.00	
0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00	0.60	0.10	0.00	0.25	

Figura 18. Valores obtenidos después de multiplicar posición por posición

Con los valores obtenidos después de la operación de evaluación del fitness se procede a sumar estos valores con lo que se obtendría el valor del fitness de 7.88. Cabe destacar que el cálculo de las restricciones afectará la aptitud del individuo de tal forma pueda diferenciarse al mejor individuo en caso existan dos o más mejores soluciones en la población.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

IV-A. Caso de Estudio

Para la obtención de resultados se va a tomar un caso de la vida real, los horarios de salvavidas de Wilderness Resort, localizado en Wisconsin Dells, USA, cuyo horario de salvavidas es generado manualmente por 2 personas encargadas que toman en un tiempo de 4 días calendarios. Este horario tiene un promedio de 50 salvavidas divididos en 2 turnos. Siendo el trabajo de salvavidas muy crítico debido a que un pequeño descuido puede ocasionar la muerte de alguna persona, los salvavidas deben encontrarse en su mejor capacidad de respuesta lo cual puede ser afectada por varios motivos como:

- Trabajo adicional en altas horas de la noche.
- Conflictos personales.
- Variación del ritmo circadiano.
- Días seguidos de trabajo.

Para lo cual es importante encontrar un horario que pueda mejorar la productividad y eficiencia de los salvavidas. Para resolver este problema tomaremos en cuenta los parámetros detallados en el Cuadro II.

Cuadro II
PARÁMETROS

Parámetro	Valor
Tamaño de población	448
Probabilidad de cruzamiento	0.7
Probabilidad inicial de mutación	0.1
Tamaño de clase	4

IV-B. Resultados

Como un objetivo específico es proponer un nuevo operador de selección llamada Selección Sexual Discriminatoria (SSD), es interesante verificar el desempeño de este operador de selección en el Algoritmo Evolutivo, a continuación en la Figura 19 se muestra la comparación de la evolución para varios operadores de selección comúnmente usados en la mayoría de trabajos de investigación.

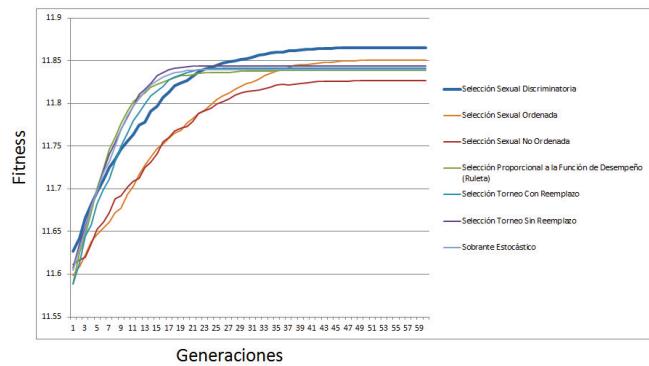


Figura 19. Comparación entre Operadores de Selección

Analizando la Figura 19 para los distintos operadores de selección se observa que el operador de selección propuesto tiende a maximizar mejor la población en comparación a los demás operadores de selección, aunque no presente la misma rapidez de convergencia mostrando una característica exploratoria. En la Figura 20 se observan los resultados al modificar el tamaño de las clases en nuestro algoritmo. Se observa que mientras el tamaño de la clase sea mayor, menor será su eficiencia al momento de maximizar la solución de nuestro problema.

En la Figura 21 se muestra la evaluación de las distintas probabilidades de cruzamiento y mutación para los operadores evolutivos propuestos.

Las probabilidades óptimas de cruzamiento y mutación según [8] son de 0.65 y 0.008, en la Figura 21 se observa que las probabilidades 0.7 y 0.1 son más óptimas para el algoritmo. Debido a que nuestro algoritmo separa en clases a la población de individuos, se realizaron pruebas con diferentes cantidades de población para hallar la mejor y utilizarla como parámetro del algoritmo (Véase Figura 22).

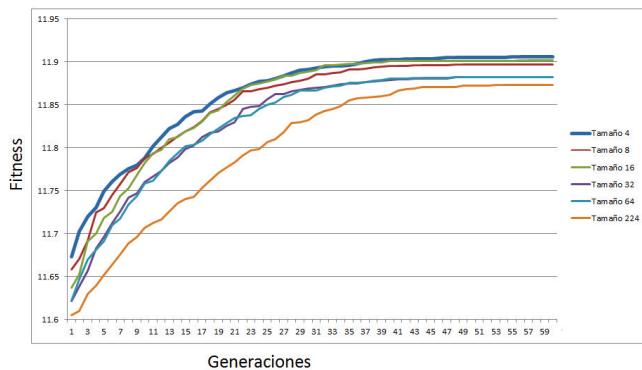


Figura 20. Comparación entre diferentes tamaños de clase

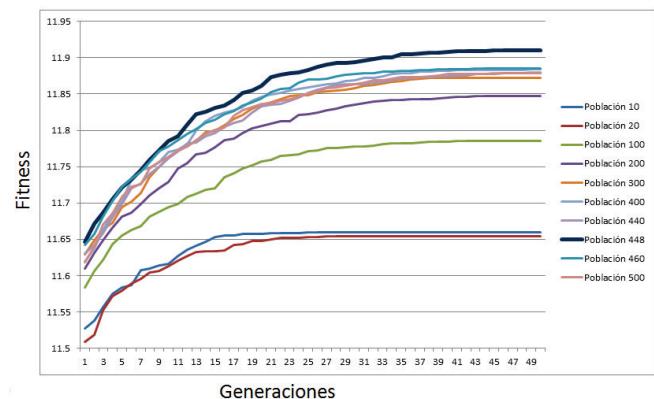


Figura 22. Comparación entre diferente número de Individuos en una Población

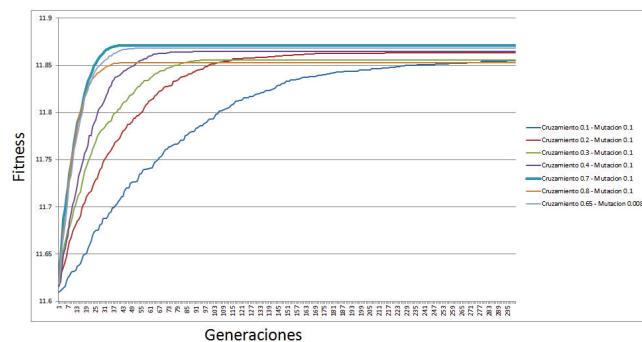


Figura 21. Comparación entre Probabilidades de Cruzamiento y Mutación

Se observa que conforme el número de individuos aumenta, tiende a encontrar una mejor solución a nuestro problema hasta que llega al máximo de 448, después de este número de individuos el máximo tiende a disminuir. Como parte de ese objetivo específico también se propone un operador de cruce y mutación adecuado para nuestro operador de selección propuesto. En la Figura 23 se observa la evaluación de los distintos operadores de cruce y mutación para encontrar el más apropiado para la propuesta.

El objetivo general de esta investigación es el de resolver mediante el uso de un Algoritmo Evolutivo (AE) la asignación de un horario de trabajo de empleados de tal manera que se optimice su productividad y satisfacción. A continuación en la Figura 24 se muestra la evolución de la calidad de los distintos horarios generados conforme las generaciones son creadas.

Además en las Figuras 25 y 26 se muestra una comparación entre el horario creado manualmente y el horario generado por el algoritmo propuesto.

Si bien no se puede comparar justamente la generación de estos dos horarios debido a que la Matriz de Preferencias (MPs) se genera para el segundo horario, se puede observar que el horario generado por el algoritmo propuesto tiende a no juntar turnos corridos para los empleados, lo cual mejora la calidad del horario ayudando a incrementar la productividad de los salvavidas.

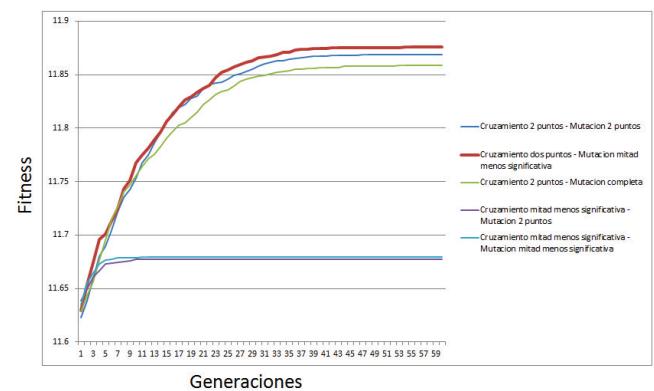


Figura 23. Comparación entre Operadores de Cruzamiento y Mutación

V. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Analizando los resultados obtenidos comprobamos que el operador de Selección propuesto en este trabajo de investigación tiene a maximizar mejor la solución, por consiguiente ayuda a encontrar una mejor solución al problema atacado. Al analizar los resultados se observa que este operador de Selección propuesto no converge más rápido que los demás operadores por lo que muestra una característica exploratoria. El esquema de ponderación propuesto para la mutación en este algoritmo ayuda a que se explore nuevas soluciones a costa de los individuos menos aptos.

V-A. Limitaciones

Las probabilidades y operadores de cruce y mutación utilizados en este trabajo no siempre serán los más óptimos, esto varía depende del problema a atacar. Por lo que no se podría proponer qué probabilidades son las más óptimas en general ni qué operadores genéticos son los más óptimos.

V-B. Trabajos futuros

En base a la propuesta del AE un trabajo futuro es la implementación de este algoritmo en un contexto masivamente paralelo (GPU).

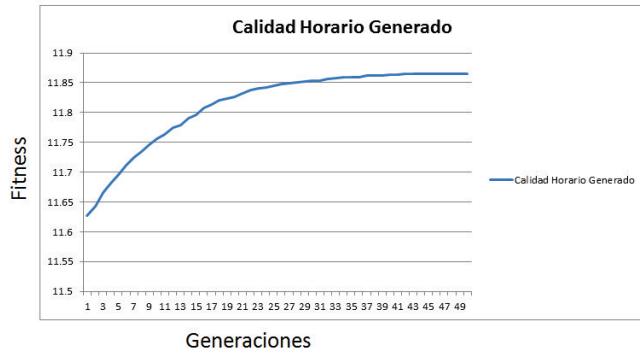


Figura 24. Optimización de la Calidad de un Horario

Lifeguard Schedule: June 30-July 6							
	SUN 30	MON 1	TUE 2	WED 3	THUR 4	FRI 5	SAT 6
WHGR Percentage	Peak						
GCL Percentage	Peak						
Office Hours	x	8:30a-10:30a	8:30a-9:30a	2p-3p	x	8:30a-10:30a	8:30a-9:30a
Wild Water/Dome Hours	9a-9p						
Moonlite Hours	11a-9p (HC @9)						
Wild West Hours	9a-7p						
New Frontier Hours	9a-7p						
Lake Wilderness Hours	10a-7p						
Lost World Hours	10a-8p						
Cubby's Cove (In) Hours	9a-10p						
Cubby's Cove (Out) Hours	10a-9p						
Benjamin/Sarah SW	10:45-3:30	9:35-8:30	9:45-9:30	3:15-9:30	2:15-7:30	9:45-7:30	
Bernal/Galeano/Ethna Ilenn W2		3:15-9:30	9:35-8:30	3:15-10:30	3:15-9:30	2:15-7:30	
Blagoev/Kiril							

Figura 25. Horario generado manualmente

REFERENCIAS

- [1] M. Morz and M. Nysret, "Genetic algorithm for rotating workforce scheduling problem," *Computational Cybernetics, 2004. ICCC 2004. Second IEEE International Conference (ICCC 2004)*, pp. 121–126, 2004.
- [2] A. Lim, K. S. Goh, and B. Rodrigues, "Sexual selection for genetic algorithms," *Artificial Intelligence Review (2003)*, pp. 123–152, 2003.
- [3] S. Abdullah and H. Turabieh, "On the use of multi neighbourhood structures within a tabu-based memetic approach to university timetabling problems," *Information Sciences (ELSEVIER 2012)*, pp. 146–168, 2012.
- [4] M. Grobner and P. Wilke, "Optimizing employee schedule by a hibrid genetic algorithm," *Applications of Evolutionary Computing. Lecture Notes in Computer Science (2001)*, pp. 463–472, 2001.
- [5] D. Montana, M. Brinn, S. Moore, and G. Bidwell, "Genetic algorithms for complex, real-time scheduling," *Systems, Man, and Cybernetics. IEEE International Conference on (1998)*, pp. 2213–2218, 1998.
- [6] J. C. Boyd and J. Savory, "Genetic algorithm for scheduling of laboratory personnel," *Clinical Chemistry (CC 2001)*, pp. 118–123, 2001.
- [7] D. C. Rivera, "Un sistema immune artificial para resolver el problema del job shop scheduling," Ph.D. dissertation, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Marzo 2004.
- [8] M. Srinivas and L. M. Patnaik, "Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics (1994)*, 1994.

Lifeguard Schedule: June 30-July 6							
	SUN 30	MON 1	TUE 2	WED 3	THUR 4	FRI 5	SAT 6
WHGR Percentage	Peak						
GCL Percentage	Peak						
Office Hours	x	8:30a-10:30a	8:30a-9:30a	2p-3p	x	8:30a-10:30a	8:30a-9:30a
Wild Water/Dome Hours	9a-9p						
Klondike Hours	11a-9p (HC @9)						
Wild West Hours	10a-7p						
New Frontier Hours	9a-7p						
Lake Wilderness Hours	10a-7p						
Lost World Hours	10a-8p						
Cubby's Cove (In) Hours	9a-10p						
Cubby's Cove (Out) Hours	10a-9p						
Benjamin/Sarah SW	10:45-3:30	9:35-8:30	9:45-9:30	3:15-9:30	2:15-7:30	9:45-7:30	
Bernal/Galeano/Ethna Ilenn W2		3:15-9:30	9:35-8:30	3:15-10:30	3:15-9:30	2:15-7:30	
Blagoev/Kiril							

Figura 26. Horario generado por el algoritmo propuesto