

## USO DE ALGORITMOS EVOLUTIVO PARA DAR SOLUCION AL PROBLEMA DE BALANCEO DE LINEAS TIPO II, APLICADO A CELULAS DE MANUFACTURA CUANDO SE PRESENTA AUSENTISMO DEL PERSONAL

Escobar Rosado Rosa Virginia<sup>1</sup>, Martínez Contreras Ulises<sup>2</sup>, Parada González Mirella<sup>3</sup>, Valles Chávez Adán<sup>4</sup>, Woocay Prieto Arturo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Maestría en ingeniería industrial, Instituto tecnológico de ciudad Juárez, de la coordinación de Ingeniería Industrial, [vir-089@hotmail.com](mailto:vir-089@hotmail.com), 65668116090, Av. Tecnológico 1340, Fuentes del valle, 32500 Ciudad Juarez Chihuahua.

<sup>2</sup>Doctor en ingeniería mecánica, Instituto tecnológico de Ciudad Juárez, [ulises.mc@itcj.edu.mx](mailto:ulises.mc@itcj.edu.mx), 6566882500 Av. Tecnológico 1340, Fuente del valle, 32500 Ciudad Juarez Chihuahua,

<sup>3</sup>Maestra en ingeniería industrial del instituto tecnológico de ciudad Juárez, [mparada@itcj.edu.mx](mailto:mparada@itcj.edu.mx), 6566882500 Av. Tecnológico 1340, Fuente del valle, 32500 Ciudad Juarez Chihuahua,

<sup>4</sup>Doctor en ingeniería industrial, Instituto tecnológico de ciudad Juárez [avalles@itcj.edu.mx](mailto:avalles@itcj.edu.mx), 6566882500 Av. Tecnológico 1340, Fuente del valle, 32500 Ciudad Juarez Chihuahua,

<sup>5</sup>Doctor en ingeniería y ciencias ambientales, Instituto tecnológico de Ciudad Juárez, [awoocay@itcj.edu.mx](mailto:awoocay@itcj.edu.mx), 6566882500 Av. Tecnológico 1340, Fuente del valle, 32500 Ciudad Juarez Chihuahua.

**Resumen** –. Atraves del uso de algoritmos evolutivos se resolverán problemas de balanceo para líneas de producción con problemas de ausentismo. Implementando la teoría de la complejidad donde dice que  $P=NP$ , donde el tiempo de respuesta es conocido, para este problema que se presenta se tendrá un NP-Hard donde el tiempo de respuesta es desconocido. Implementando algoritmos de codificación directa ayudara a mejorar en al menos un 15% la respuesta para un correcto balanceo cuando se presenta ausentismo.

Los algoritmos de codificación directa es una búsqueda integrada en donde cada codificación es una nueva generación de posibles soluciones, en este tipo de codificación se incluyen mayores factores como tiempo de ciclo, numero de operadores, cantidad de operaciones.

La ventaja de este algoritmo es que será rápido y fácil de usar, proporcionará la secuencia de operaciones óptimas para el porcentaje de ausentismo asignado.

**Palabras Clave:** Algoritmos evolutivos, P y NP Hard, tipos de balanceo, sistemas de selección, algoritmos genéticos.

**Abstract** -- In this article it is propose an evolutionary algorithm that will help solve balancing problems in production lines when there is absenteeism. Currently the companies have any value of absenteeism that contribute different factors, so the supervisor has the necessity to balance the line empirical, which indicates that the accommodation is made through their priorities, impacting productivity. There are 7 millennium problems, one of them is to verify that  $P=NP$ , line balancing problems are considered in complexity theory as NP- Hard, and this is divided into 2 types, type 1 and type 2, the algorithm that is proposed will provide a solution to the type II balancing problem. This algorithm improves efficiency is absentee condition by at least 15% compared to the method based on the supervisor's

experience. In addition, the solution given by the algorithm will be given in less or equal than computational time that published by other researchers. The advantage of this algorithm is that it Will be quick and easy to use, it will provide the optimal sequence of operations for the assigned absenteeism percentage.

**Key words** –. Evolutionary algorithms, P, NP-Hard, type of balancing, selection system, genetic algorithms.

### INTRODUCCIÓN

En las plantas de manufactura se tienen diversas formas de línea de producción, algunas de las conocidas son celdas en forma de U, en paralelo y en serie según sea requerida para el proceso. El acomodo del personal operativo idóneamente es acomodado según se diseñó a través de ingeniería industrial a través del número de operadores necesarios para el takt time asignado, sin embargo, existen diversos factores que afectan al balanceo en las líneas de producción lo que provoca una baja en la eficiencia del proceso. Algunos de los factores que afectan dicha eficiencia es el ausentismo, este factor hace que los supervisores de producción realicen balanceos de forma empírica en sus líneas de producción.

Existen 2 tipo de balanceos de líneas, denominados tipo 1 y tipo 2, para dar solución a este tipo de problemas propuestos en el artículo, que tienen un factor de influencia en este caso el ausentismo se hará uso del tipo 2 que pretende reducir los tiempos de ciclo dados en cada operación, así como optimizar el número de estaciones dadas en las líneas de ensamble en forma de U [1].

El uso de algoritmos genéticos mediante la codificación directa pretende dar solución a problemas de balanceo tipo 2 cuando se presenta ausentismo, así como analizar que parámetros se tendrían que optimizar del algoritmo propuesto para dar solución en al menos el mismo tiempo computacional que las soluciones publicadas por otros investigadores.

**DESARROLLO**

Los algoritmos genéticos trabajan con una codificación de parámetros (genotipo), y no con los parámetros en si, por esta razón en los algoritmos genéticos cada solución (individuo de la población) está representada por un vector denominado cromosoma, en el que cada uno de sus componentes (gen) representa un parámetro de la solución [2].

La codificación directa es una búsqueda de codificación integrada. Cada cromosoma representa una solución posible. La población inicial es generada aleatoriamente. El número de cromosomas son siempre constantes.

La codificación directa es más compleja puesto que ya intervienen cantidad de operadores, tiempos de ciclo de operación y tiempo de ciclo total, por lo que el estudio de cruce y mutación se vuelve un tanto complicado, se debe respetar las restricciones posibles que se tengan.

Decodificación; Representa una secuencia orientada que no evita la precedencia y por tanto se denomina secuencia factible [3].

Evaluación: Cada miembro de la población es evaluado para determinar si sobrevivirá a la siguiente generación. La probabilidad es calculada en dos parámetros obtenidos de cada cromosoma. El objetivo del primer parámetro es minimizar el número de estaciones de trabajo. El objetivo del segundo parámetro es minimizar la variación de la carga de trabajo de cada estación de trabajo (Índice de suavidad).

Criterios finales: Hay tres criterios usados para determinar cuándo pare el algoritmo genético. El primero es encontrar la solución teórica ideal, esta está dada por la estación de trabajo que es dividido por la suma del tiempo de las tareas. El segundo criterio especifica el total de número de iteraciones, el ultimo si el número de iteraciones no ha sido mejorado en al menos 1%.

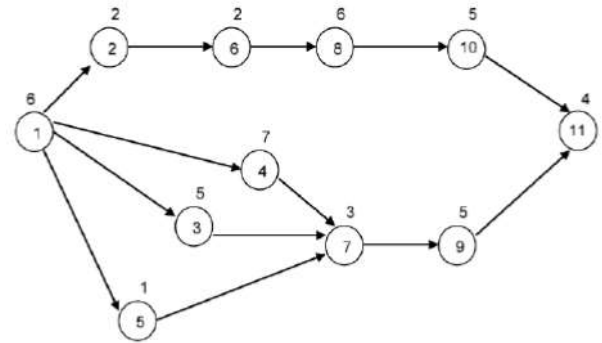
**Operación de cruce de codificación directa.**

El proceso de reproducción se realiza partiendo de una población de cromosomas ordenados según su valor de aptitud y suavidad [4].

Cada cromosoma representa una posible solución. Cada tarea es secuencialmente enlistada en orden de asignación a las estaciones de trabajo, proceso conocido como representación orientada a la secuencia. Cada gen del cromosoma contiene el número de tarea que es representado [5].

Una vez que se tiene el acomodo de las operaciones con los tiempos de ciclo determinados, se realiza el cruce de los cromosomas respetando la precedencia como se muestra en la figura 2.

El cromosoma de codificación directa se realiza en base al diagrama de precedencia.



**Figura 1.** Diagrama de precedencia

El cromosoma representa un diagrama isomórfico como se muestra en la figura 3 basado en la teoría de los grafos, donde el conjunto de tareas satisface las restricciones de precedencia [6].

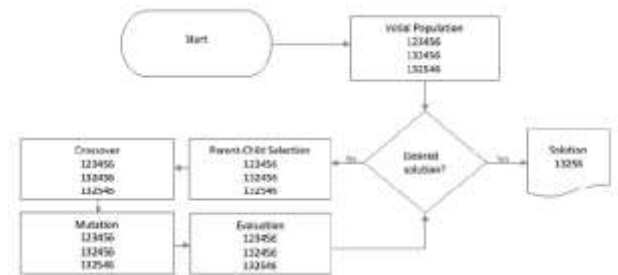


**Figura 2.** Diagrama Isomórfico

El diagrama isomórfico facilita entender la secuencia que llevaría el nuevo cromosoma.

Par la codificación directa la búsqueda del cromosoma ideal inicia con un cromosoma que genera una posible solución óptima basada al número de estaciones de trabajo, si no es encontrado una nueva generación de población es creada. Este proceso es generado hasta encontrar los criterios ideales.

En seguida se muestra la lógica de codificación directa para un cromosoma.



**Figura 3.** Lógica de algoritmo genético por codificación directa [7].

El proceso de cruce utilizado en esta investigación supone que se han seleccionado 2 cromosomas progenitores de igual longitud del diagrama de precedencia, se seleccionan 2 puntos de cruce separados con la línea roja como se muestra en la figura 4.

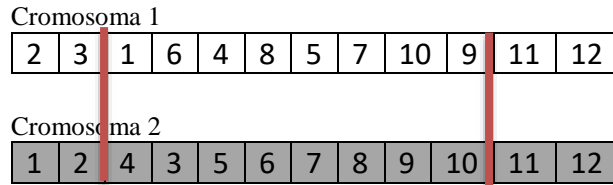


Figura 4. Operación de cruce cromosomas padres.

Los cromosomas hijos son similares a sus padres, conservan las partes iniciales y final del cromosoma y respetar la precedencia.

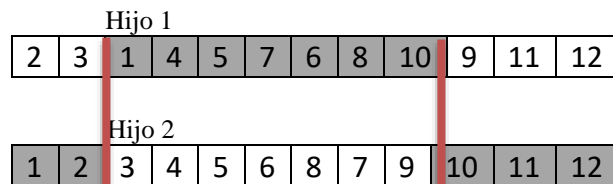


Figura 5. Hijos.

La mutación será aplicada en cada cromosoma que fue previamente seleccionado para mutar. El tipo de mutación llamado mutación mixta es usado comúnmente en este caso, se selecciona al azar la posición a partir del cual se modificarán los genes siempre y cuando se respete la precedencia [8].

Posición aleatoria.

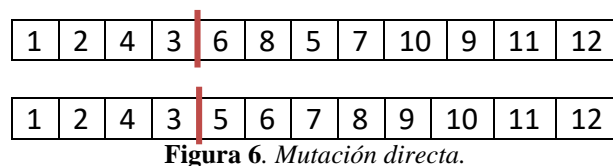


Figura 6. Mutación directa.

Basado en el procedimiento descrito posteriormente se adapta para resolver problemas tipo 2.

**PASOS PARA RESOLVER PROBLEMA TIPO 2:**

Basados en el diagrama de precedencia propuesto en Martínez, 2015 como se muestra en la figura 7 se realizan los siguientes pasos para una optimización de cromosomas.

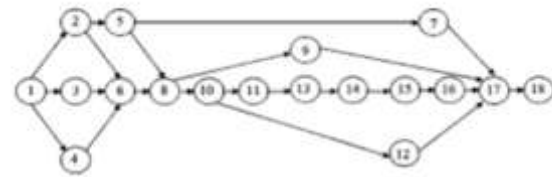


Figura 7. Diagrama de precedencia.

Paso 1. Se establece diagrama de precedencia registrando la cantidad de operaciones y operadores de acuerdo con el problema que se plantee.

En la tabla siguiente se mostrarán las operaciones asignadas para el problema, así como cantidad de operadores y tiempos de ciclo respectivo a cada operación.

Tabla 1. Tabla de análisis.

Tanks	Workers							T Mayor
	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	
1	31	31	31	26	26	31	31	31
2	84	84	80	53	51	71	80	84
3	115	115	146	73	66	113	110	146
4	115	115	141	84	78	110	110	141
5	80	80	84	74	65	75	80	84
6	119	114	141	88	86	119	119	141
7	84	84	80	61	75	75	80	84
8	93	81	124	90	87	94	93	124
9	26	27	53	44	30	35	35	53
10	31	44	inf	42	38	56	44	56
11	39	42	inf	42	39	55	44	55
12	15	14	inf	15	15	16	15	16
13	70	90	inf	80	59	88	80	90
14	81	101	inf	92	71	81	86	101
15	97	97	inf	88	60	97	63	98
16	106	106	118	82	84	98	85	118
17	inf	inf	183	inf	inf	124	inf	183
18	inf	inf	26	inf	inf	26	inf	26

Una vez asignado el número de operadores con tiempos de ciclo y tareas, se promedia el tiempo de ciclo mayor de cada operación por operador, este valor resultante será el límite para la optimización de los datos.

Para iniciar la decodificación inicial se establece cantidad de operaciones y operadores como se muestra en la siguiente figura:

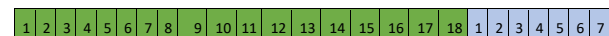


Figura 8. Codificación inicial.

Paso 2. Teniendo identificada las operaciones y cantidad de operadores se procede a realizar la codificación directa, inicialmente se asigna un operador aleatoriamente, así como las operaciones a realizar respetando la precedencia de las operaciones. Cada operación seleccionada le corresponde cierto tiempo de ciclo según el operador seleccionado, este tiempo se va restando al TC promedio obtenido, como se muestra la siguiente tabla:

**Tabla 2. Decodificación de cromosoma para problema tipo2.**

Station	v	Will fit S	Assigned	Time left	Time Used
1 H3	1,18	1,18	1	209	
	2,18	2,18	18	183	
	2,17	2,17	2	103	
	5,17	5,17	5	19	221
2 H1	3,17	3,17	3	125	
	6,17	6,17	6	6	234
3 H2	4,17	4,17	4	125	
	8,17	8,17	8	44	
					196
4 H6	7,17	7,17	7	165	
	9,17	9,17	17	41	199
	9,16	9,16	9	6	
5 H4	10,16	10,16	16	158	
	10,15	10,15	10	116	
	11,15	11,15	15	18	
					222
6 H7	11,13	11,13	11	196	
	12,13	12,13	13	116	
	12,14	12,14	12	101	
	14	14	14	21	
					219

Considerando aleatoriamente los operadores y las operaciones siguiendo el diagrama de precedencia se obtiene una nueva decodificación de los valores. En el ejemplo específico iniciando con el operador tres y balanceando que realice la operación 1,18,2,5 obtenemos un tiempo de ciclo de 221, acomodando todos los valores se tiene un tiempo óptimo de 219 segundos.

Una vez obtenido los valores se selecciona los cromosomas para realizar operaciones de crossover, mutación, preservados y se agregan los nuevos individuos.

Para este problema en específico se realizaron 20 iteraciones como se muestra enseguida:

**Tabla 3. Diferentes iteraciones combinando operaciones con distintos operadores.**

# de Cromosoma	Codificación con ajuste en los trabajadores
1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
2	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
3	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
4	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
5	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
6	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
7	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
8	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
9	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
11	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
12	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
13	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
14	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
15	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
17	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
18	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
19	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
20	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

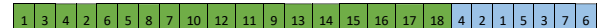
Se generaron nuevas generaciones de cromosomas que se desglosan en hijos, mutados y preservados ampliando la variedad de posibles soluciones para mejorar el problema de balanceo de línea tipo 2.

Para la operación de cruce se combinan tanto la operación de cruce directa como la indirecta. En la parte de las operaciones (verde) se aplica operación cruce de directa, mientras que en la parte de los trabajadores (azul) se aplica operación de cruce indirecta.

**Cromosoma 1**



**Cromosoma 2**



Una vez que se tiene el acomodo de las operaciones con los tiempos de ciclo determinados, se puede realizar el cruzamiento de manera similar al cruce de forma indirecta con la diferencia que para este caso es necesario siempre respetar la precedencia en el acomodo, como se muestra enseguida:



**Figura 9. Operación de cruce de cromosomas padres.**

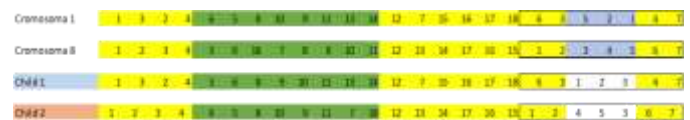
Para la codificación de los operadores aplica una codificación directa donde se seleccionan 2 operadores al inicio y final de la secuencia y los demás operadores se mueven en la parte central.

La mutación será aplicada en cada cromosoma que fue previamente seleccionado para mutar. El tipo de mutación llamado mutación mixta es usado comúnmente en este caso se selecciona al azar la posición a partir de la cual se modificarán los genes siempre y cuando se repete la precedencia del diagrama.



**Figura 10. Cruce de operaciones.**

En el problema son seleccionado 4 cromosomas con menor tiempo en la decodificación y se mutan.





**Figura 11.** Cromosomas mutados seleccionados de la decodificación.

Después de haber generado las 20 nuevas generaciones de cromosomas, basados en el hecho de tiempo realizado por persona en las nuevas generaciones se reduce el total del tiempo obtenido -1, buscando optimizar aún más las nuevas generaciones encontradas.

Con lo que se obtienen los siguientes datos:

**Tabla 4.** Codificación cromosoma óptimo.

Station	v	Will fit S	Assigned	Time left	Time Used
1H4	1,18	1	1	214	152
	2,18	2	2	161	
	3,18	3	3	88	
2H5	4,18	4	4	167	159
	6,18	6	6	81	
3H3	5,18	5,18	18	214	190
	5,17	5,17	5	130	
	7,17	7	7	50	
4H2	8,17	8	8	159	167
	10,17	10	10	115	
	11,17	11	11	73	
5H1	9,17	9	9	214	177
	13,17	13	13	144	
	14,17	14	14	63	
6H7	15,17	15	15	177	148
	16,17	16	16	92	
7H6	12,17	12,17	17	116	140
	12	12	12	100	



**Figura 12.** Cromosoma óptimo encontrado.

La estrategia que se utilizó para generar nuevos cromosomas está relacionada a la estrategia de la vecindad en donde si un elemento no entra en la estación o sobre pasa el tiempo permisible se muda a la siguiente operación y así se van acomodando entre estaciones.

Hasta el momento con estas generaciones se queda demostrado que existe la opción de resolver un balanceo de línea tipo ura2 en un tiempo corto de respuesta manualmente, por ende, con un sistema lógico, la cantidad de iteraciones puede aumentar dándonos el cromosoma más factible y con un tiempo de respuesta

corto. La búsqueda que se da entre los cromosomas es una búsqueda de vecindario, ya que se pretende ir acomodando las operaciones con los vecinos u operaciones secundarias, de tal manera que se va generando un balance entre operaciones.

### DISCUSION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

Actualmente existe un conocimiento limitado en cuanto a la aplicación de algoritmos genéticos, así como términos de metaheurística y heurística lo que no permite el desarrollo completo a la aplicación de estos métodos, sin embargo, con los cambios tecnológicos que se presentan es mas sencillo observar mediante la aplicación como es que se implementan estos términos.

La codificación indirecta y directa de algoritmos genéticos son métodos que permiten desarrollar e implementar balanceos de líneas de una manera sistemática, al método actual donde solo se realizan ajustes o acomodos de línea de manera empírica.

Como recomendación a los resultados obtenidos el tiempo de respuesta que se obtuvo fue largo debido a que se desarrollo de manera manual, teniendo un software el tiempo se optimizaría al menos un 80% del sistema manual. Sin embargo, el objetivo original de obtener una solución a un problema tipo 2 se logró.

### CONCLUSIONES

Actualmente existe un conocimiento limitado en cuanto a la aplicación de algoritmos genéticos, así como términos de metaheurística y heurística lo que no permite el desarrollo completo a la aplicación de estos métodos, sin embargo, con los cambios tecnológicos que se presentan es mas sencillo observar mediante aplicaciones como es que se implementan estos términos.

La codificación indirecta y directas de algoritmos genéticos son métodos que permiten desarrollar e implementar balanceos de líneas de una manera más sistemática, al método actual donde solo se realizan ajustes o acomodos de líneas de manera empírica.

Se estima que el algoritmo aplicado mejore hasta en un 15% la eficiencia en condiciones de ausentismo en comparación al método basado a la experiencia de un supervisor de producción.

Este algoritmo podría ser implementado en algun sistema lógico donde se dé tenga una respuesta de un balanceo óptimo en un menor tiempo.

### BIBLIOGRAFÍA

[1] Ajenblit, D., & Wainwright, R. (1998). Applying genetic algorithms to the U-shaped assembly line balancing problem. IEEE International Conference on Evolutionary Computation, 96-101.

[2] Goldberg, E. D. (1989). "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning". Addison Wesley, USA

[3] Martinez, U., & Duff, W. (2004). HEURISTIC APPROACHES TO SOLVE THE U-SHAPED LINE BALANCING PROBLEM AUGMENTED BY. Proceedings Systems and Information Engineering Design Symposium.

[4] Martinez, C. U. (2015). METAHEURISTIC APPROACH TO SOLVING U-SHAPED ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEMS USING A RULE-BASE CODED GENETIC ALGORITHM. In partial fulfillment of the requirements For the Degree of Doctor of Philosophy.

[5] Miralles, C., Garcia Sabater, J., Andres, C., & Cardos, M. (2007). Advantages of assembly lines in Sheltered Work Centres for Disabled. A case study. Int. J. Production Economics, 187-197.

[6] Mutlu, O. O. (2012). An iterative genetic algorithm for the assembly line worker assignment and balancing problem of type-II. Journal Italy

[7] Jackson R., J. (1956). "A computing procedure for a line balancing problem", Management Sci. V2, n3, 261-272.

[8] Driscoll, J. a. (2000). Definition and evolution of assembly line solutions. University of Surrey, England.

### CONTRIBUCIÓN DE ROLES

ROL DE CONTRIBUCION	AUTOR
Supervisión	Ulises Martinez Contreras
Validación	Adán Valles Chávez
Validación	Mirella Parada Gonzalez
Validación	Arturo Woocay Prieto
Escritura-Preparación del borrador original	Rosa Virginia Escobar Rosado