



Title: Estudio de factibilidad para la aplicación de Algoritmos de Estimación de Distribución al Problema de Secuenciación de Vehículos

Authors: VELÁZQUEZ-JUÁREZ, Juan Carlos, PUGA-SOBERANES, Héctor José y PADIERNA-GARCÍA, Luis Carlos

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCONIMI Control Number: 2020-32
BCONIMI Classification (2020): 120320-0032

Pages: 45
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Contenido

1. Introducción
2. Descripción del problema
3. Algoritmos de Estimación de Distribución
 - a) BUMDA
 - b) MEDAL
 - c) Adaptación de MEDAL con Enfoque Escalonado y Tolerancia
4. Diseño de Experimentos
5. Resultados y Análisis
6. Conclusiones y Trabajo a Futuro
7. Referencias

Introducción

El proceso de manufactura de automóviles suele llevarse a cabo en tres talleres: el taller de carrocería donde se prepara el esqueleto de los vehículos, el taller de pintura que es el encargado de pintar los autos según los pedidos recibidos y la línea de ensamble donde se instalan todos los componentes que debe tener cada modelo de automóvil.



Figura 1. Diferentes talleres en una planta productora de automóviles.

Fuente: (Alain Nguyen)

Introducción

En 2005 se llevó a cabo el ROADEF Challenge organizado por la Asociación Francesa de Investigación de Operaciones y Análisis de Decisión cuyo tema principal fue una variante del problema de secuenciación de vehículos (CSP por sus siglas en inglés) presentado por la empresa manufacturera Renault.



RENAULT
Passion for life



Descripción del Problema

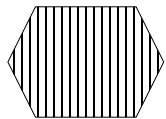
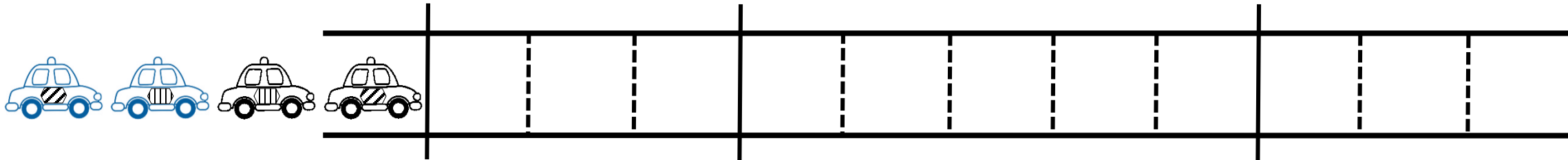
Sobrecargas: 0

Cambios de color: 1

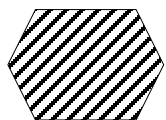
**Inicio de la
línea de
ensamble**

**Estación 1
Asientos de piel**

**Estación 2
Sistema GPS**



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

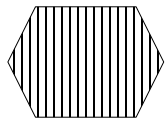
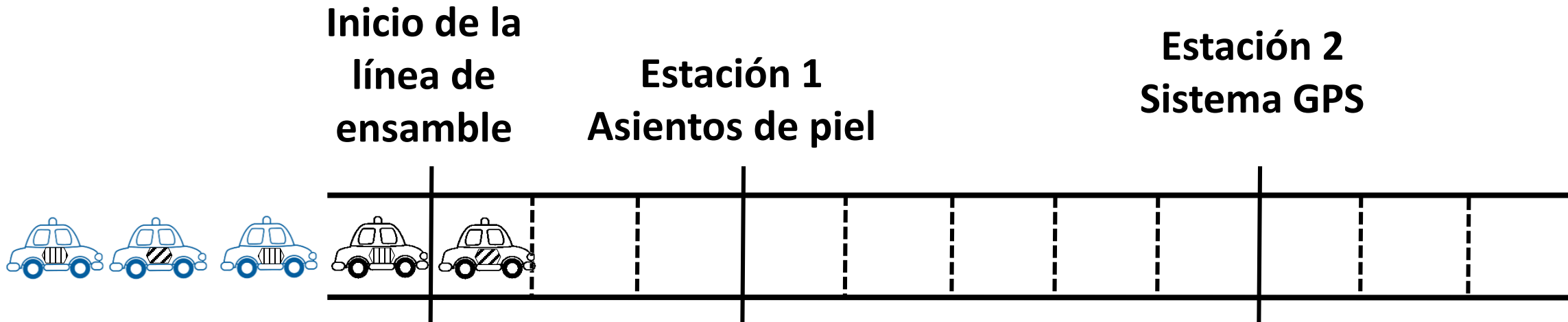
**Restricción de
capacidad:
1/3**

**Restricción de
capacidad:
3/5**

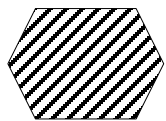
Descripción del Problema

Sobrecargas: 0

Cambios de color: 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

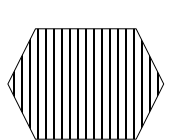
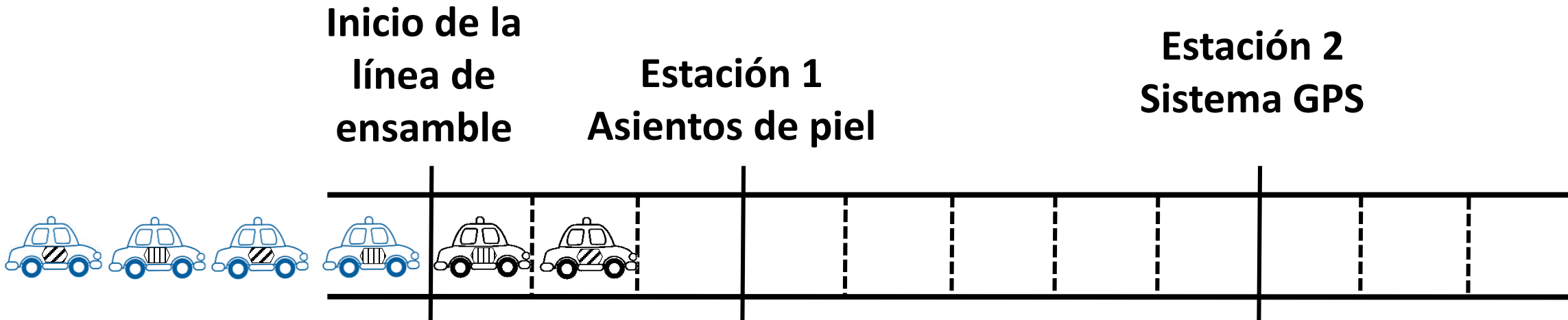
**Restricción de capacidad:
1/3**

**Restricción de capacidad:
3/5**

Descripción del Problema

Sobrecargas: 0

Cambios de color: 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

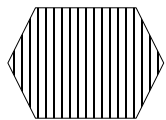
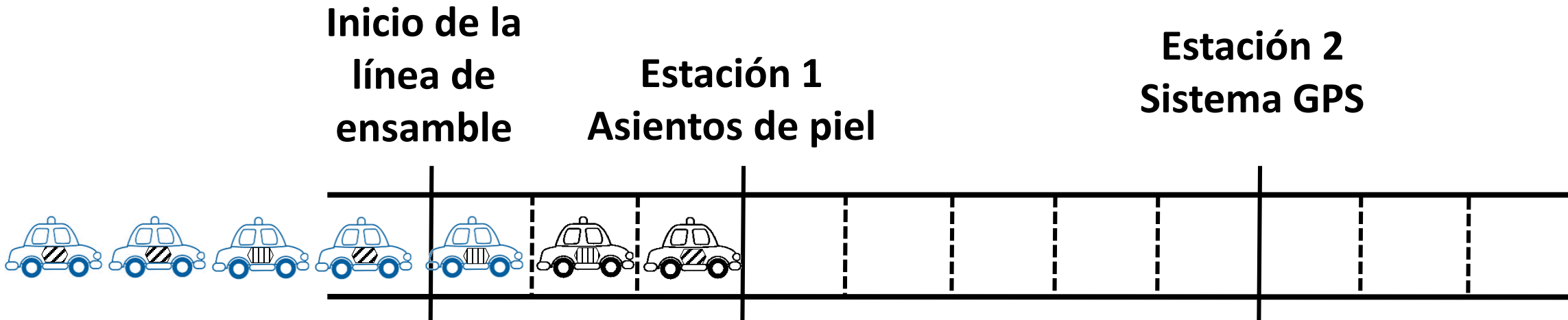
Restricción de capacidad:
1/3

Restricción de capacidad:
3/5

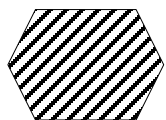
Descripción del Problema

Sobrecargas: 1

Cambios de color: 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

Restricción de capacidad:
1/3

Restricción de capacidad:
3/5

Descripción del Problema

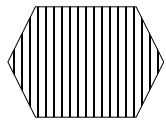
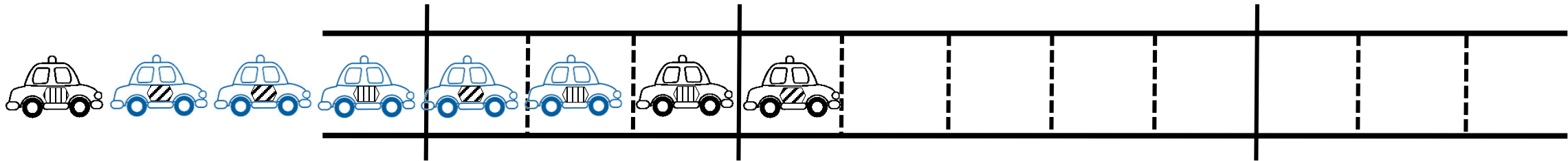
Sobrecargas: 2

Cambios de color: 2

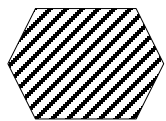
Inicio de la
línea de
ensamble

Estación 1
Asientos de piel

Estación 2
Sistema GPS



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

Restricción de
capacidad:
 $1/3$

Restricción de
capacidad:
 $3/5$

Descripción del Problema

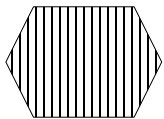
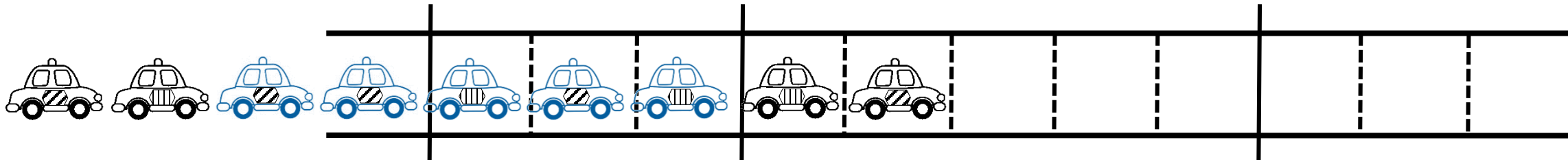
Sobrecargas: 3

Cambios de color: 2

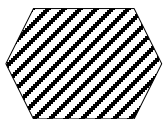
Inicio de la línea de ensamble

Estación 1
Asientos de piel

Estación 2
Sistema GPS



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

Restricción de capacidad:
1/3

Restricción de capacidad:
3/5

Descripción del Problema

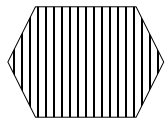
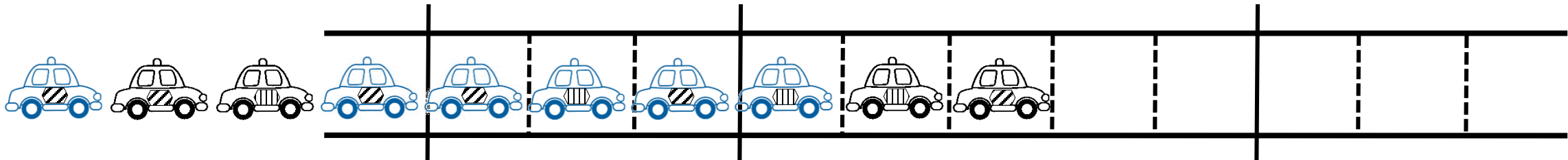
Sobrecargas: 3

Cambios de color: 3

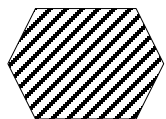
Inicio de la línea de ensamble

**Estación 1
Asientos de piel**

**Estación 2
Sistema GPS**



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

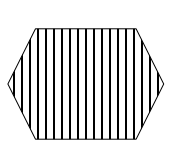
**Restricción de capacidad:
1/3**

**Restricción de capacidad:
3/5**

Descripción del Problema

Sobrecargas: 3

Cambios de color: 4



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

Restricción de capacidad:
1/3

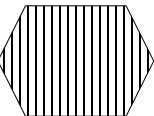
Restricción de capacidad:
3/5


Descripción del Problema

Sobrecargas: 3

Cambios de color: 4



 Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1

 Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

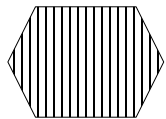
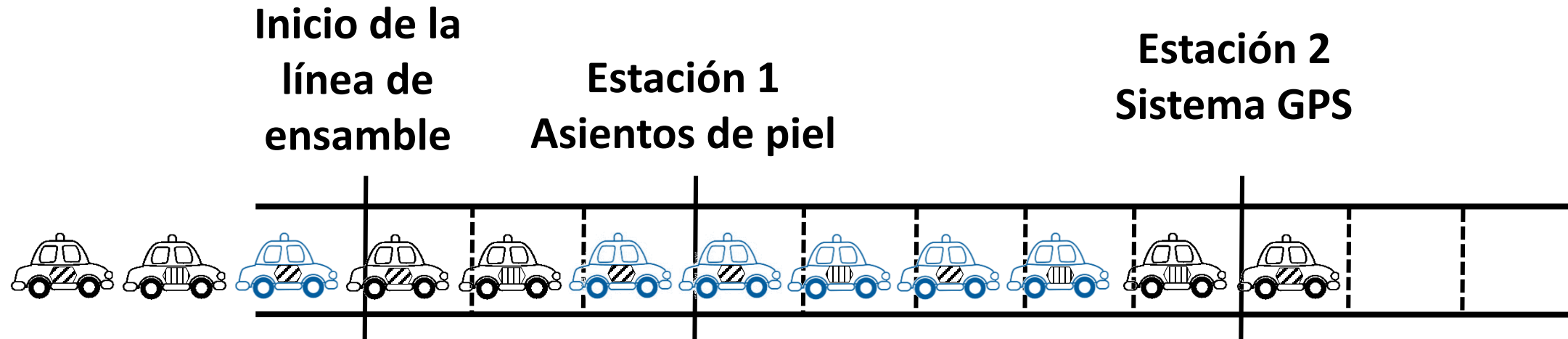
Restricción de capacidad:
1/3

Restricción de capacidad:
3/5

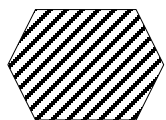
Descripción del Problema

Sobrecargas: 3

Cambios de color: 4



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

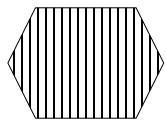
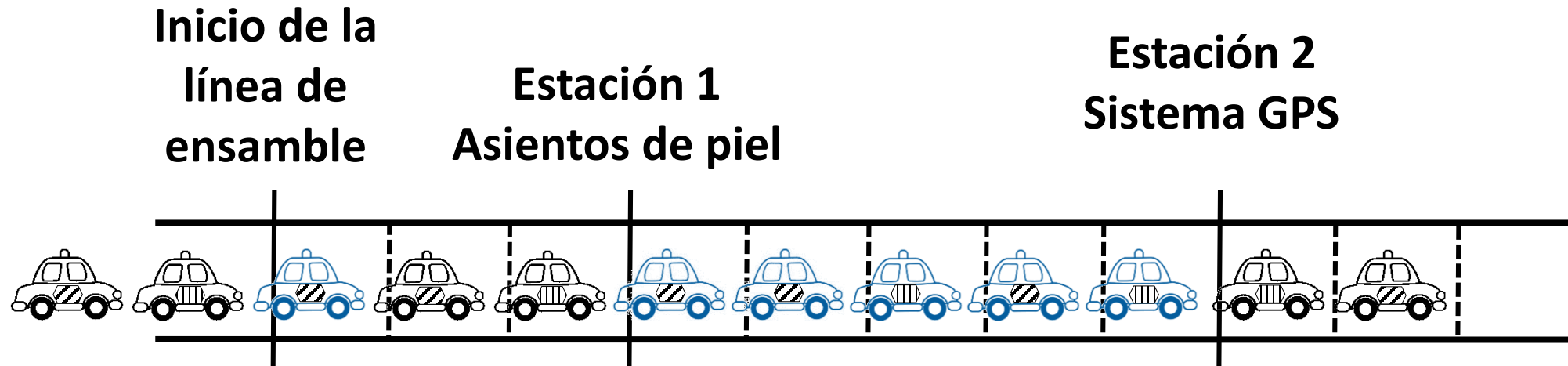
Restricción de capacidad:
1/3

Restricción de capacidad:
3/5

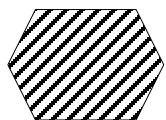
Descripción del Problema

Sobrecargas: 3

Cambios de color: 4



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

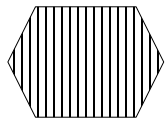
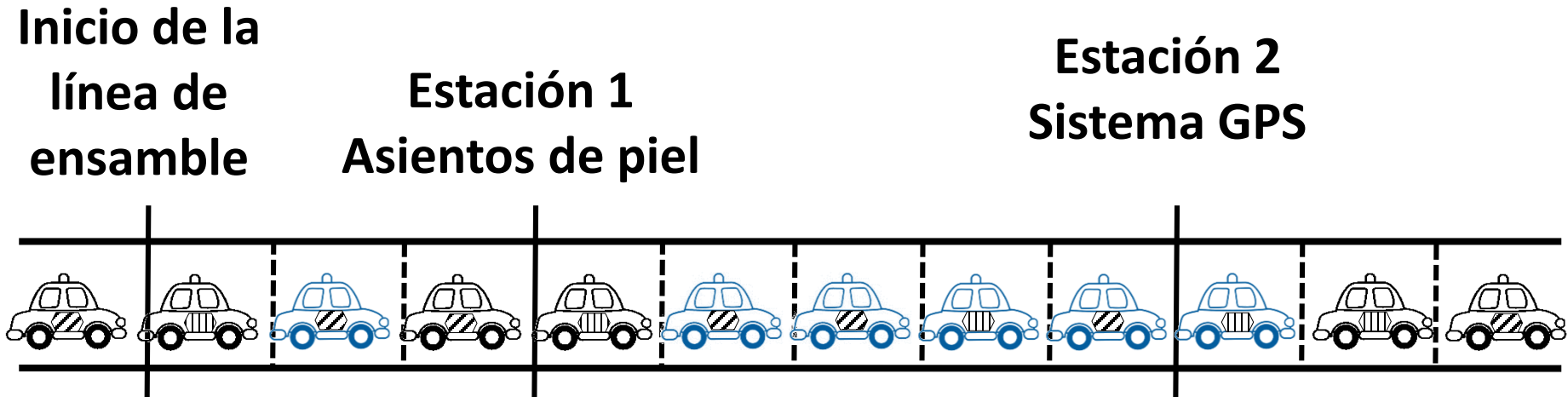
Restricción de capacidad:
1/3

Restricción de capacidad:
3/5

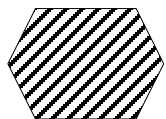
Descripción del Problema

Sobrecargas: 3

Cambios de color: 4



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 1



Indica que el auto requiere el componente que se instala en la estación 2

**Restricción de capacidad:
1/3**

**Restricción de capacidad:
3/5**

Descripción del Problema

El CSP propuesto por RENAULT se plantea como un problema de optimización multiobjetivo. Donde se dividen las estaciones de trabajo en estaciones de alta y baja prioridad. Añadiendo el objetivo de cambios de color.

Objetivo	Nomenclatura
Sobrecargas en estaciones de alta prioridad	FH
Sobrecargas en estaciones de baja prioridad	FL
Cambios de color	FC

Descripción del Problema

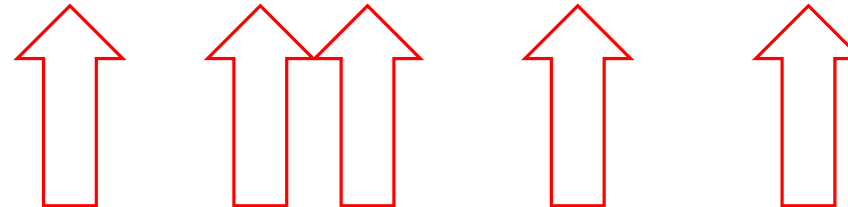
Secuencia original

	Día anterior			Día Actual										Violaciones
SeqRank	530	531	532	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
(a) Asientos de piel	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	5
color	2	2	2	1	1	3	2	2	3	3	1	1	1	5

$$p/q = 1/3$$

#colores = 3

paintBatchLimit = 5



Descripción del Problema

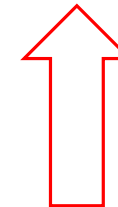
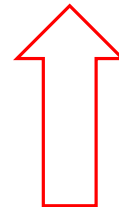
Minimizando los cambios de color

	Día anterior			Día Actual										Violaciones
SeqRank	530	531	532	4	5	1	2	8	9	10	3	6	7	
(b) Asientos de piel	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	8
color	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3	2

$$p/q = 1/3$$

#colores = 3

paintBatchLimit = 5



Descripción del Problema

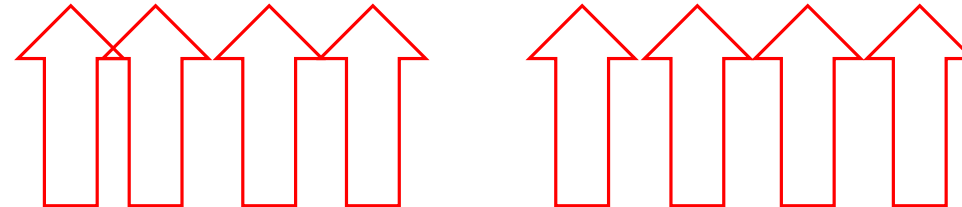
Minimizando las sobrecargas

	Día anterior			Día Actual										Violaciones
SeqRank	530	531	532	2	3	1	6	7	4	8	5	9	10	
(c) Asientos de piel	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	4
color	2	2	2	1	3	1	3	3	2	1	2	1	1	8

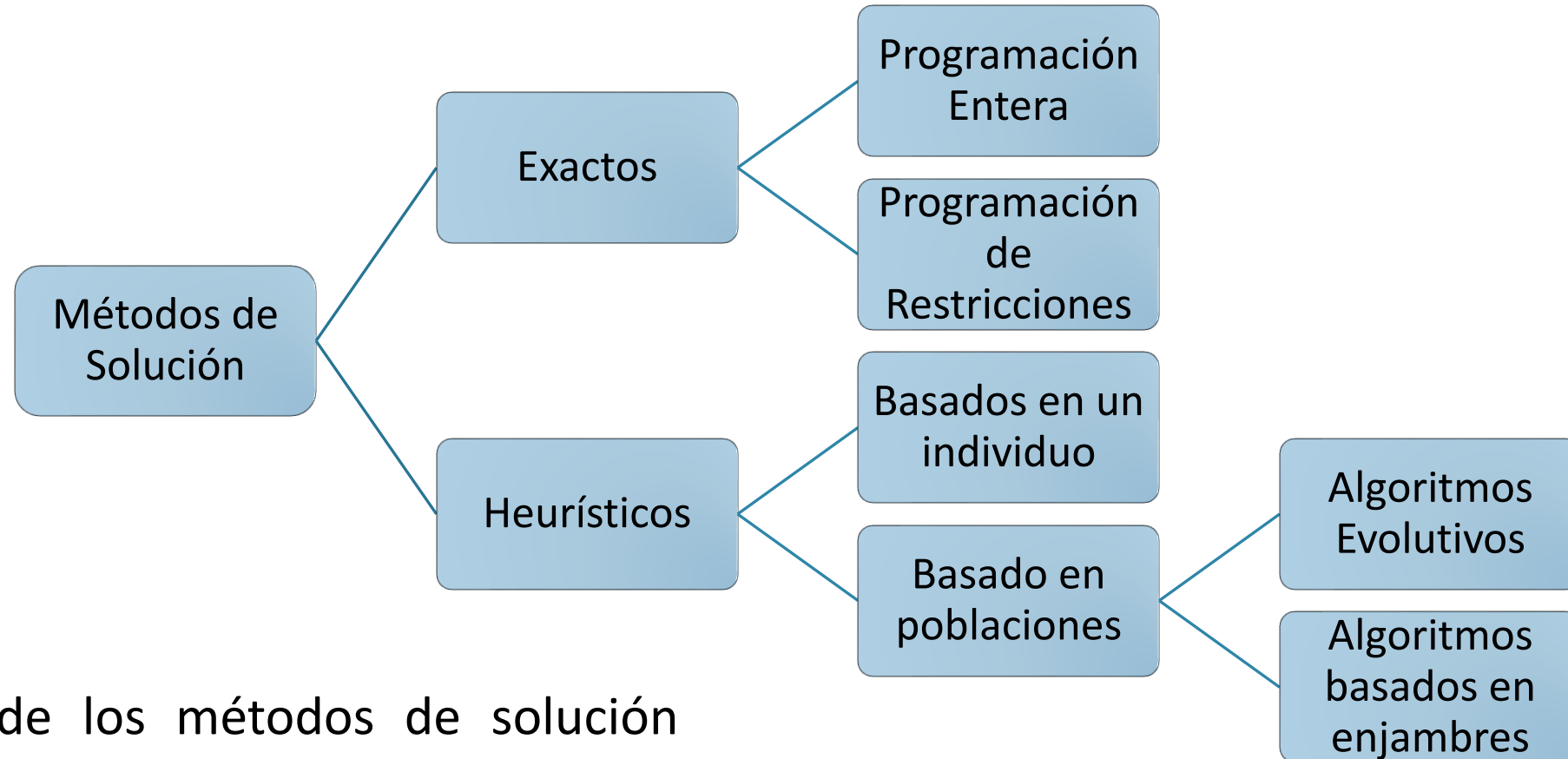
$$p/q = 1/3$$

#colores = 3

paintBatchLimit = 5

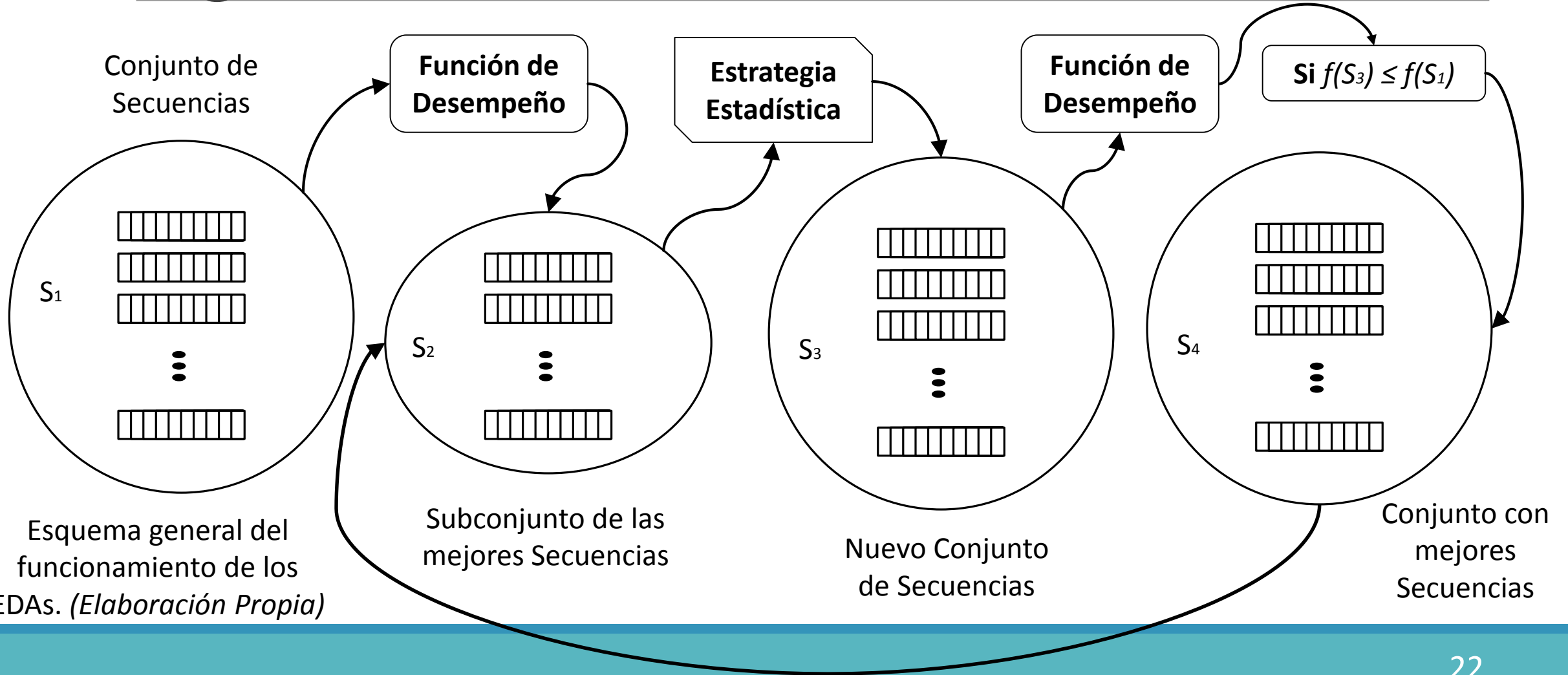


Métodos utilizados para resolver el CSP



Clasificación de los métodos de solución utilizados para el CSP. *(Elaboración propia)*

Algoritmos de Estimación de Distribución



Esquema general del funcionamiento de los EDAs. (Elaboración Propia)

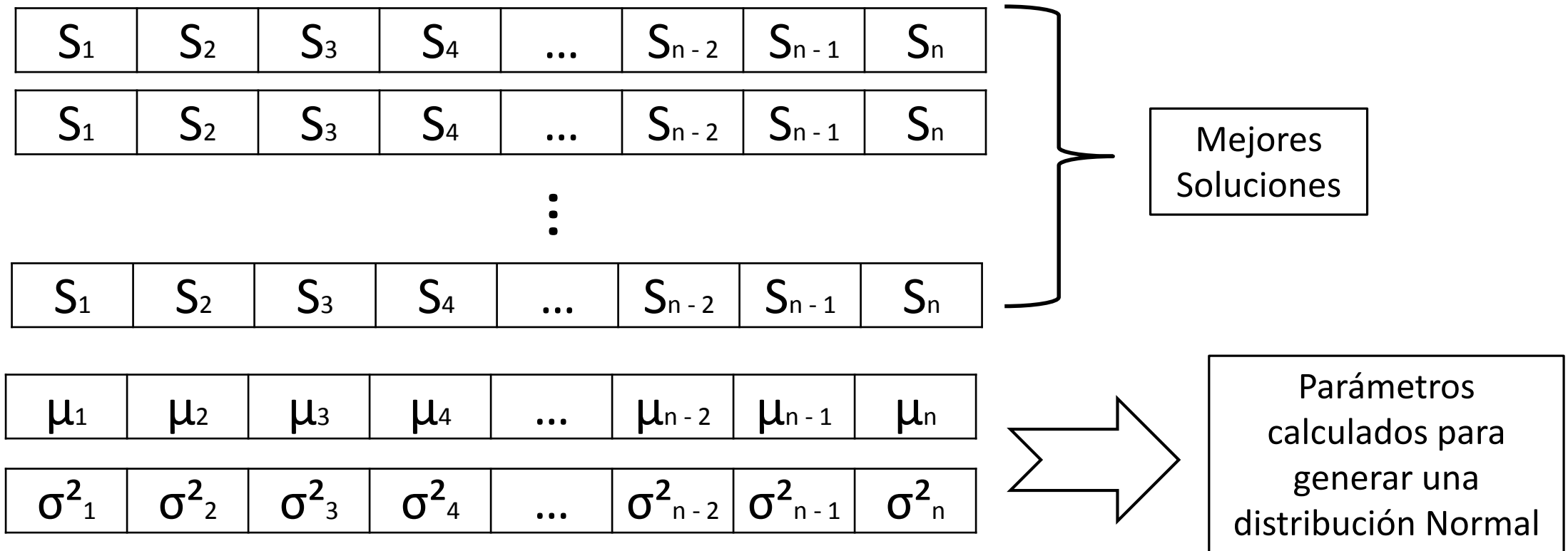
Algoritmos de Estimación de Distribución

Los EDAs han sido aplicados a varios problemas de optimización tales como el problema del agente viajero (TSP), flow shop scheduling problem (FSSP), el problema de asignación cuadrática (QAP) y el problema de ordenamiento lineal (LOP), entre otros.

BUMDA

BUMDA (Boltzmann Univariate Marginal Distribution Algorithm) es un algoritmo de estimación de distribución que utiliza un modelo normal gaussiano para aproximarse a la distribución de Boltzmann.

BUMDA



Forma de calcular la estrategia estadística en BUMDA. *(Elaboración propia).*

BUMDA

En este trabajo se propone una versión discreta de BUMDA denominada BUMDA_D. Esta versión utiliza un par de cromosomas.

SeqRank	1	2	3	4	...	n - 2	n - 1	n
Clase	3	2	5	1	...	3	3	1
Color	3	3	4	1	...	2	2	1

Representación de los individuos en BUMDA_D. (Elaboración propia).

MEDAL

MEDAL (Multinomial Estimation of Distribution Algorithm) es un algoritmo de estimación de distribución basado en la distribución multinomial aplicable a problemas de optimización discretos (Duarte-Carrera, et. al., 2018).

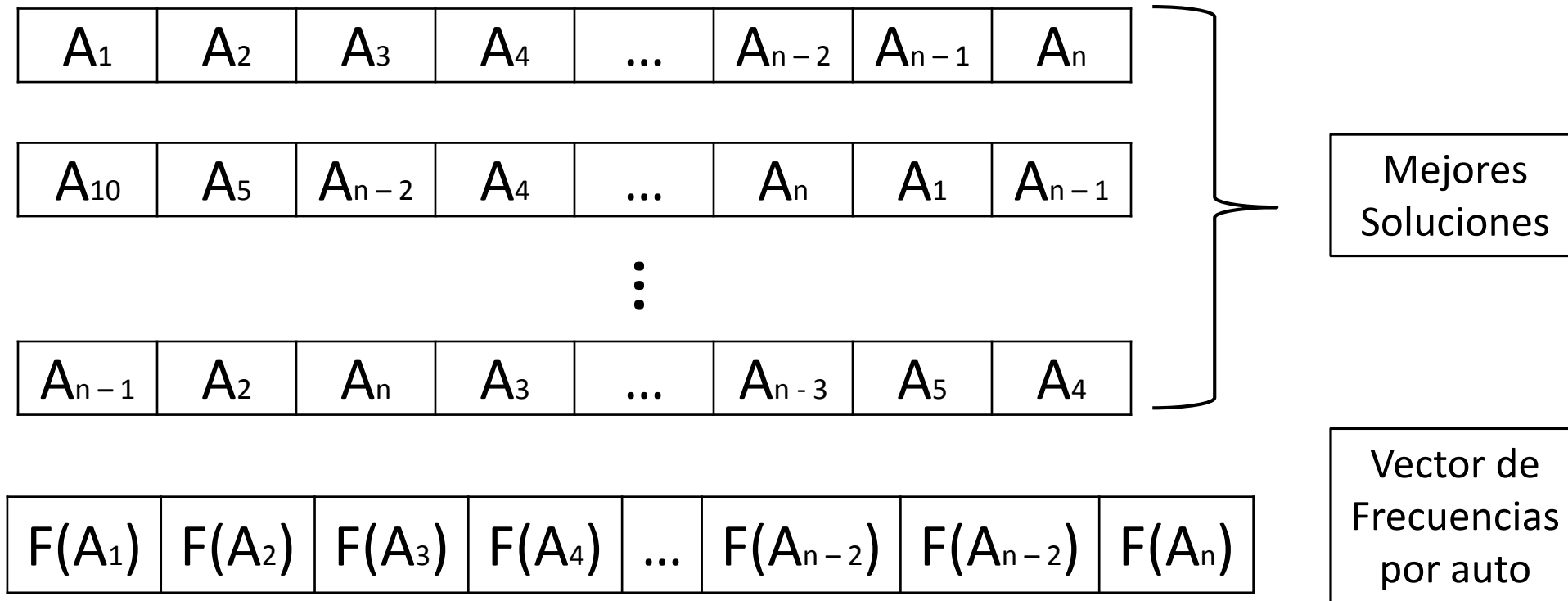
MEDAL

MEDAL puede clasificarse como un algoritmo orientado a permutaciones, por lo tanto, se utiliza una estructura más simple que en BUMDA.

SeqRank	1	2	3	4	...	n - 2	n - 1	n
---------	---	---	---	---	-----	-------	-------	---

Estructura de un individuo en MEDAL. (*Elaboración propia*).

MEDAL

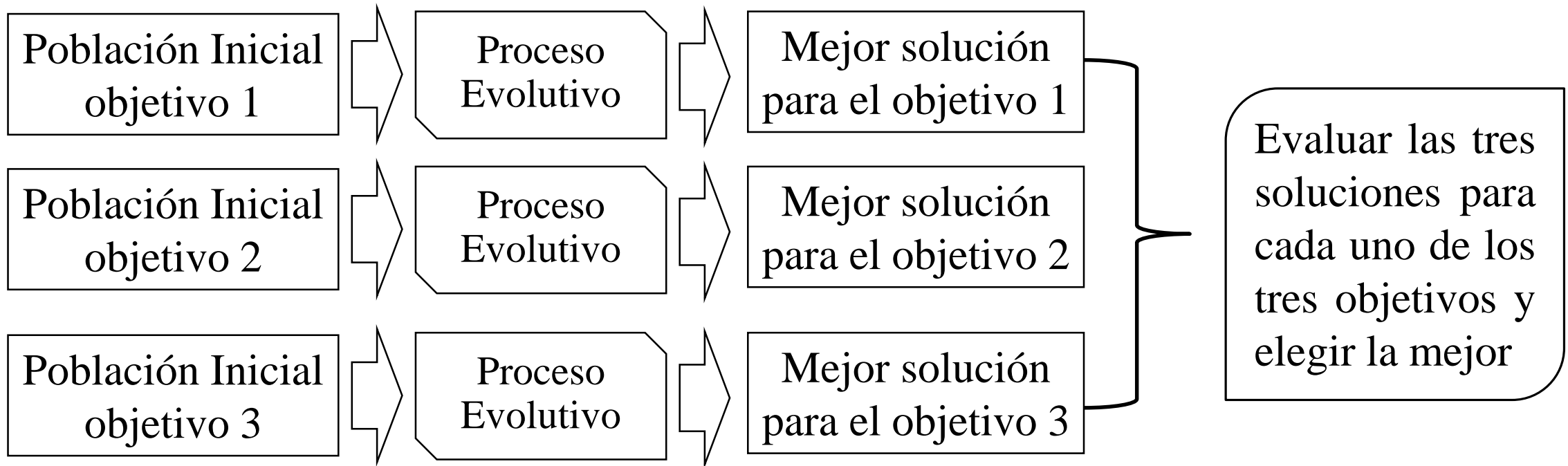


Forma de calcular la estrategia estadística en MEDAL . (*Elaboración propia*).

Características de BUMDA y MEDAL

BUMDA	MEDAL
<ul style="list-style-type: none">- La estructura de sus individuos tiene 2 vectores (clase y color).- Utiliza la información de las soluciones para calcular μ y σ^2 para cada posición en la secuencia.- Con los parámetros calculados, se genera una distribución Normal.- A partir de las distribuciones generadas, realiza un muestreo aleatorio para crear nuevas secuencias.	<ul style="list-style-type: none">- Sus individuos están compuestos por un solo vector (SeqRank).- Genera una matriz de frecuencias con la información de las mejores soluciones.- Calcula una distribución Multinomial a través del conteo de las frecuencias de los autos.- Mediante un método de selección por ruleta, se elige el orden de los autos en las nuevas secuencias dando mayor probabilidad a aquellos autos con mayor frecuencia.

Enfoque de Ejecución Simple

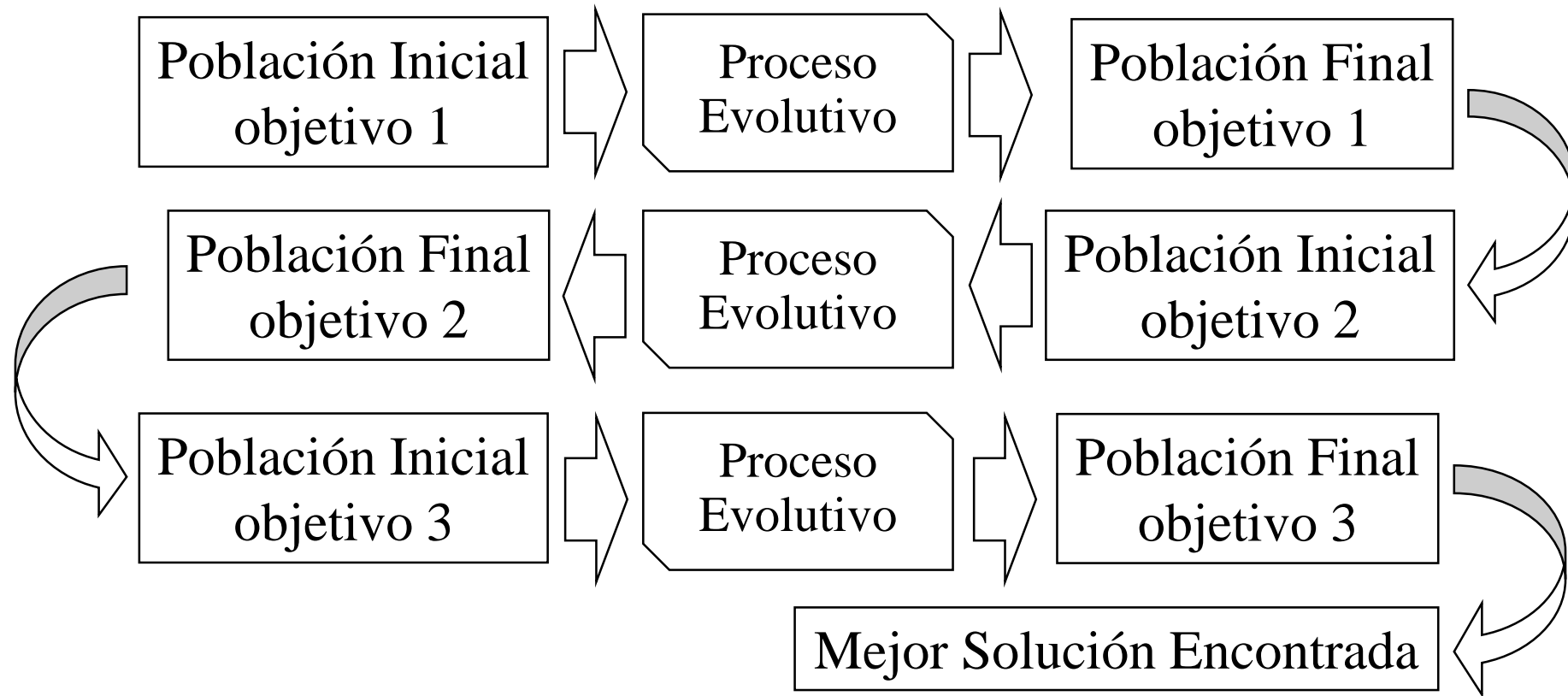


Proceso utilizado por la primera versión de MEDAL. *(Elaboración propia)*

Enfoque Escalonado con Descarte

El Enfoque Escalonado con Descarte (Sánchez Márquez et al., 2019) consiste en evaluar los objetivos de manera individual respetando su jerarquía. Además, este enfoque está orientado a evitar un decremento en los fitness ya calculados cuando se evalúa el siguiente. Este es el método utilizado por ambos algoritmos.

Enfoque Escalonado con Descarte



Proceso del Enfoque Escalonado con Descarte. *(Elaboración propia).*

Tolerancia

Individuo	Violaciones		
	FH	FC	FL
gen_i	10	20	*
gen_{i+1}	11	15	*

Pérdida: 1 Ganancia: 5

Individuo	Violaciones		
	FH	FC	FL
gen_i	11	15	5
gen_{i+1}	15	15	2

Pérdida: 4 Ganancia: 3

* Aún no se evalúa

Ejemplo del funcionamiento del Enfoque Escalonado con Descarte y Tolerancia. *(Elaboración propia)*

Diseño de Experimentos

Grupo	Prioridad de los objetivos	Nombres de las instancias
<i>Fáciles</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estaciones de alta prioridad (FH) 2. Cambios de color (FC) 3. Estaciones de baja prioridad (FL) 	<p>HEPL1, HEPL2, HEPL3, HEPL4, HELP</p>
<i>Color</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambios de color (FC) 2. Estaciones de alta prioridad (FH) 3. Estaciones de baja prioridad (FL) 	<p>PHEL1, PHEL2, PHEL3, PHE</p>
<i>Difíciles</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estaciones de alta prioridad (FH) 2. Cambios de color (FC) 3. Estaciones de baja prioridad (FL) 	<p>HDLP1, HDLP2, HDLP3, HDPL1, HDPL2, HDPL3, HDP</p>

Clasificación de las instancias de prueba utilizadas en este trabajo.
(Elaboración propia)

Resultados y Análisis

Se realizaron 10 ejecuciones por algoritmo en cada una de las 16 instancias. La tabla muestra las veces que los algoritmos obtuvieron mejores resultados por objetivo.

	<i>FH</i>	<i>FL</i>	<i>FC</i>
<i>MEDAL V1</i>	1	1	0
<i>MEDAL ST</i>	8	9	4
<i>MEDAL CT</i>	9	2	9
<i>BUMDA</i>	0	2	4

Resultados y Análisis

Se realizó el Test de Friedman con un valor de significancia de 0.05. Los valores p obtenidos por esta prueba son: para FH $p = 0.000$ para FC $p = 0.001$ y para FL $p = 0.000$.

	<i>FH</i>	<i>FC</i>	<i>FL</i>
<i>MEDAL</i>	3.63	3.00	2.89
<i>MEDAL ST</i>	1.56	2.03	1.71
<i>MEDAL CT</i>	1.50	1.72	1.89
<i>BUMDA</i>	3.31	3.25	3.50

Rangos asignados por el Test de Friedman para los algoritmos implementados.

Resultados y Análisis

Se realizó la comparación de los resultados de los mejores algoritmos (MEDAL CT y MEDAL ST) con los resultados de Renault. Se realizó además, el Test de Friedman para estos resultados. El valor de significancia es de 0.05. Los valores p son: para FH $p = 0.001$ para FC y para FL $p = 0.000$.

	<i>FH</i>	<i>FC</i>	<i>FL</i>
<i>RENAULT</i>	1.25	1.00	1.14
<i>MEDAL ST</i>	2.41	2.66	2.29
<i>MEDAL CT</i>	2.34	2.34	2.57

Rangos asignados por el Test de Friedman para los mejores algoritmos y Renault.

Resultados y Análisis

Cabe señalar que en algunas instancias, estos dos algoritmos lograron superar y/o competir con el estado del arte.

<i>Instancia</i>	<i>Renault FH</i>	<i>MEDAL ST FH</i>	<i>MEDAL CT FH</i>
<i>PHEL1</i>	197	81.5	97.5
<i>PHEL3</i>	462	350	350

<i>Instancia</i>	<i>Renault FL</i>	<i>MEDAL ST FL</i>	<i>MEDAL CT FL</i>
<i>PHEL3</i>	883	826	821

Conclusiones

- ❑ En este trabajo se propusieron, adaptaron y aplicaron dos EDAs (BUMDA y MEDAL) al CSP.
- ❑ Se implementaron tres metodologías de ejecución de los algoritmos (Enfoque Simple, Enfoque Escalonado con Descarte y Enfoque Escalonado con Descarte y Tolerancia).

Conclusiones

- ❑ El análisis de los resultados obtenidos determinó que MEDAL CT tiene el mejor desempeño en los objetivos FH y FC. Mientras MEDAL ST obtiene los mejores resultados en el objetivo FL.
- ❑ Estos dos algoritmos fueron comparados con los resultados de Renault. El test de Friedman determina que en los tres objetivos, Renault tiene el mejor desempeño.
- ❑ A pesar de ello, se observa que en algunas instancias se obtienen mejores resultados que el estado del arte.

Conclusiones

Aunque los resultados aún no permiten concluir que con las adaptaciones hechas al algoritmo MEDAL, éste es factible para ser aplicado al CSP. La investigación permitió observar que se pueden mejorar los resultados evitando el conflicto contradictorio de los objetivos de cambios de color y sobrecargas de trabajo.

Se espera que se cumpla la factibilidad del algoritmo abordando los objetivos de manera independiente optimizando primero el objetivo FC para generar clases de color que posteriormente sean optimizadas por los otros objetivos.

Referencias

- [1] Christine Solnon, Van Dat Cung, Alain Nguyen, Christian Artigues, “The car sequencing problem: Overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROADEF’2005 challenge problem,” *European Journal of Operational Research*, vol. 191, pp. 912–927, 2008.
- [2] S. I. Valdez, A. Hernández, and S. Botello, “A Boltzmann based estimation of distribution algorithm,” *Information Sciences*, vol. 236, pp. 126–137, 2013, doi: 10.1016/j.ins.2013.02.040.
- [3] Daniel Duarte-Carrera, Alfonso Rojas-Domínguez, and Luis Carlos Padierna, “Phase Unwrapping for 3D Object Reconstruction by means of Population-based Metaheuristics,” *Research in Computing Science*, vol. 147, no. 11, pp. 21–30, 2018.
- [4] Z. Al Chami, H. Manier, and M.-A. Manier, “A lexicographic approach for the bi-objective selective pickup and delivery problem with time windows and paired demands,” *Ann Oper Res*, vol. 273, 1-2, pp. 237–255, 2019, doi: 10.1007/s10479-017-2500-9.
- [5] J. D. Palacio and O. L. Larrea, “A lexicographic approach to the robust resource-constrained project scheduling problem,” *Intl. Trans. in Op. Res.*, vol. 24, 1-2, pp. 143–157, 2017, doi: 10.1111/itor.12301.

Referencias

- [6] Parrello, B. D., Kabat, W. C., & Wos, L., “Job-shop scheduling using automated reasoning: A case study of the car-sequencing problem,” *Journal of Automated reasoning*, vol. 2, pp. 1–42, 1986.
- [7] Ian P. Gent, “Two Results on Car-sequencing Problems,” Reporte, University of Strathclyde, 1998.
- [8] T. Kis, “On the complexity of the car sequencing problem,” *Operations Research Letters*, vol. 32, no. 4, pp. 331–335, 2004, doi: 10.1016/j.orl.2003.09.003.
- [9] B. Estellon and F. Gardi, “Car sequencing is NP-hard: a short proof,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 64, no. 10, pp. 1503–1504, 2013, doi: 10.1057/jors.2011.165.
- [10] M. Fliedner and N. Boysen, “Solving the car sequencing problem via Branch & Bound,” *European Journal of Operational Research*, vol. 191, no. 3, pp. 1023–1042, 2008, doi: 10.1016/j.ejor.2007.04.045.
- [11] E. Jahren and R. A. Achá, “A column generation approach and new bounds for the car sequencing problem,” *Ann Oper Res*, vol. 264, 1-2, pp. 193–211, 2018, doi: 10.1007/s10479-017-2663-4.

Referencias

- [12] Elvi Malintzin Sánchez Márquez, Héctor José Puga Soberanes, Luis Ernesto Mancilla Espinoza, Juan Martín Carpio Valadez, Manuel Ornelas Rodríguez, and Javier Iván Manzanares Cuadro, “Algoritmo de evolución diferencial con reparador cromosómico aplicado a un problema de secuenciación de vehículos,” *Research in Computing Science*, vol. 148, no. 8, pp. 279–292, 2019.
- [13] M. Hauschild and M. Pelikan, “An introduction and survey of estimation of distribution algorithms,” *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 1, no. 3, pp. 111–128, 2011, doi: 10.1016/j.swevo.2011.08.003.
- [14] P. Larrañaga and J. A. Lozano, Eds., *Estimation of Distribution Algorithms: A New Tool for Evolutionary Computation*. Boston, MA: Springer US; Imprint; Springer, 2002.
- [15] J. SUN, Q. ZHANG, J. I.N. LI, and X. I.N. YAO, “A HYBRID ESTIMATION OF DISTRIBUTION ALGORITHM FOR CDMA CELLULAR SYSTEM DESIGN,” *Int. J. Comp. Intel. Appl.*, vol. 07, no. 02, pp. 187–200, 2008, doi: 10.1142/S1469026808002235.

Referencias

- [16] J. Bacardit, M. Stout, J. D. Hirst, K. Sastry, X. Llorà, and N. Krasnogor, “Automated alphabet reduction method with evolutionary algorithms for protein structure prediction,” in *GECCO 2007: Genetic and Evolutionary Computation Conference*, July 7-11, 2007 University College London, London, UK, London, England, 2007, p. 346.
- [17] R. Armañanzas et al., “Peakbin selection in mass spectrometry data using a consensus approach with estimation of distribution algorithms,” *IEEE/ACM transactions on computational biology and bioinformatics*, vol. 8, no. 3, pp. 760–774, 2011, doi: 10.1109/TCBB.2010.18.
- [18] J. Ceberio, E. Irurozki, A. Mendiburu, and J. A. Lozano, “A review on estimation of distribution algorithms in permutation-based combinatorial optimization problems,” *Prog Artif Intell*, vol. 1, no. 1, pp. 103–117, 2012, doi: 10.1007/s13748-011-0005-3.
- [19] Alain Nguyen, *Challenge ROADEF’ 2005 Car Sequencing Problem*



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCONIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)