

33

Fecha de presentación: diciembre, 2022

Fecha de aceptación: febrero, 2023

Fecha de publicación: abril, 2023

ASIGNACIÓN ERGONÓMICA

DE RUTAS A LECTORES-COBRADORES EN LA EMPRESA ELÉCTRICA DE CIENFUEGOS

ERGONOMIC ASSIGNMENT OF ROUTES TO READERS-COLLECTORS IN THE ELECTRICAL COMPANY OF CIENFUEGOS

David Antonio Fonet Cabrera¹

E-mail: dfonet@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4006-5047>

Ridelio Miranda Pérez¹

E-mail: rmiranda@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5344-9950>

Elia Natividad Cabrera Alvarez¹

E-mail: elita@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7661-5894>

Marle Pérez De Armas¹

E-mail: marletp@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7162-2304>

¹Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez" Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Fonet Cabrera, D. A., Miranda Pérez, R., Cabrera Alvarez, E. N., & Pérez De Armas, M. (2023). Asignación ergonómica de rutas a lectores-cobradores en la empresa eléctrica de Cienfuegos. *Universidad y Sociedad*, 15(S1), 334-340.

RESUMEN

En el marco del Proyecto Empresarial "Innovación organizacional en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos" se realiza el presente trabajo, que responde a la necesidad expresa de dicha empresa de repartir equitativamente la carga física de trabajo de los lectores-cobradores de su Sucursal Centro. En dicha investigación intervienen estudiantes del Grupo Científico Estudiantil y profesores que participan en dicho proyecto. Es objetivo del presente trabajo, reasignar las rutas de la sucursal entre sus lectores-cobradores siguiendo un enfoque ergonómico, de manera tal que todos recorran aproximadamente la misma distancia total. Esta situación se modela como un problema de asignación cuadrática (QAP), cuya resolución se aborda mediante la formalización de un algoritmo metaheurístico para la asignación balanceada de rutas a lectores-cobradores. La reorganización de rutas propuesta a raíz del algoritmo logra una distribución más equilibrada en el aspecto ergonómico, manteniendo la media de 253 cuadras por lector-cobrador, a la vez que se reduce la desviación estándar original de 40 cuadras a solo 4 cuadras, una reducción por un factor de 10 que evidencia la existencia de un mejor balance en la carga física de trabajo de los lectores-cobradores.

Palabras clave: Metaheurística, problema de asignación cuadrática, problema de asignación lineal, rutas de lectura, carga física de trabajo

ABSTRACT

This work is performed in context of the Business Project "Organizational Innovation in the Cienfuegos Electric Company", which responds to the express need of said company to equally distribute the physical workload of the readers-collectors of its Central Branch. Students from the Student Scientific Group and professors who participate in said project participate in this research. The objective of this work is to reassign the routes of the branch among its readers-collectors following an ergonomic approach, in such a way that everyone travels approximately the same total distance. This situation is modeled as a quadratic assignment problem (QAP), whose resolution is addressed by formalizing a metaheuristic algorithm for the balanced assignment of routes to readers-collectors. The reorganization of routes proposed as a result of the algorithm achieves a more balanced distribution in the ergonomic aspect, maintaining the average of 253 blocks per reader-collector, while reducing the original standard deviation of 40 blocks to only 4 blocks, a reduction by a factor of 10, which shows the existence of a better balance in the physical workload of the readers-collectors.

Keywords: Metaheuristics, quadratic assignment problem, linear assignment problem, reading routes, physical workload

INTRODUCCIÓN

La realización de este estudio se enmarca en el Proyecto Empresarial nombrado "*Innovación organizacional en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos*", donde participan estudiantes y profesores de la Universidad de Cienfuegos, evidenciando así el necesario vínculo Universidad-Empresa en el territorio. Una de las líneas de investigación de este proyecto es el análisis y mejora a la organización del trabajo del proceso clave de Comercialización de la Energía Eléctrica, con énfasis en el puesto de trabajo Lector-Cobrador, el cual representa la interface entre la empresa y sus clientes, además de constituir el cuello de botella del proceso. Siguiendo esta línea, se han llevado a cabo estudios previos de investigación de operaciones en la Sucursal Centro de la Ciudad de Cienfuegos, obteniéndose resultados notables, entre los cuales se pueden citar el logro del balance de clientes de la mayoría de las rutas de los lectores-cobradores alrededor de la norma de trabajo establecida de 250 clientes/ruta (Fornet et al., 2021), y el desarrollo de una alternativa a dicho balance que permite la flexibilización del recorrido de las rutas (Fornet et al., 2022).

Las investigaciones mencionadas sientan las bases técnicas para una correcta división del trabajo, al equilibrar la cantidad de clientes a manejar por cada lector-cobrador. Los resultados obtenidos también le confieren cierta uniformidad a los tiempos de trabajo de las rutas, lo que deriva en un mayor control y aprovechamiento de la jornada laboral por parte de los lectores-cobradores. Una vez tratados los aspectos técnico-organizativos del puesto, corresponde abordar sus aspectos ergonómicos, materializados en la carga física de trabajo que conlleva tanto el recorrido de la ruta por el lector-cobrador, como el traslado de ida y vuelta entre la ruta y la sucursal. En este sentido se observa que existe una marcada desproporción en las distancias totales que tienen que recorrer los lectores-cobradores para trabajar en sus rutas.

Para solucionar la situación anterior, se realiza mediante este trabajo la reasignación de las rutas a los lectores-cobradores siguiendo un enfoque ergonómico, de modo que todos los lectores-cobradores recorran aproximadamente la misma distancia total, buscando así un balance en la carga física de trabajo.

DESARROLLO

El proceso de Comercialización de la Energía Eléctrica tiene como finalidad principal la lectura, facturación y cobro de la energía consumida por los clientes (viviendas y centros de trabajo) como parte del servicio eléctrico brindado por la empresa. Al ser la electricidad un bien

intangibles y de comercialización continua, solamente se puede conocer la energía consumida por un cliente mediante la lectura de un metro-contador eléctrico (también llamado medidor eléctrico) colocado en la instalación cliente. En la literatura consultada (Vacas, 2007; Tuesta, 2011; Acevedo, 2011; Reyes, 2017), este subproceso se denomina toma de lectura o simplemente lectura, siendo este último término el empleado en la presente investigación. Una vez conocida la energía consumida por el cliente, se procede a su facturación mediante la asignación de una tarifa por cada kilowatt-hora (kWh), la cual varía en dependencia de escalas de consumo predeterminadas. A este subproceso se le llama facturación. Posteriormente la empresa emite una factura con el importe de la energía consumida que le es entregada al cliente como notificación del pago de la electricidad, de esta forma se pone en marcha el cobro del servicio eléctrico correspondiente a ese mes, que es ingresado a la empresa por diversas vías. Este último subproceso se nombra reparto de recibo o cobro, siendo este último el vocablo utilizado en la presente investigación.

El proceso de Comercialización de la Energía Eléctrica se despliega en las sucursales de la empresa (también llamadas unidades de negocio), las cuales trabajan en distintas zonas de la ciudad y los municipios. La presente investigación se lleva a cabo en la Sucursal Centro de la Ciudad de Cienfuegos.

El puesto de trabajo del lector-cobrador es la base funcional de este proceso, pues es el encargado de realizar la lectura del metro-contador, llevar el consumo registrado a la Sucursal para su facturación, efectuar la entrega de la factura al cliente, y en algunos casos, el posterior cobro del importe de la energía consumida, ya que el cliente puede elegir pagar a través del lector-cobrador o emplear vías de pago alternativas como las plataformas de pago en línea (Transfermóvil, Enzona, etc.). En la literatura consultada (Vacas Avilés, 2007; Tuesta Pérez, 2011; Acevedo Salinas, 2011; Reyes Ávila, 2017), se han encontrado otras denominaciones para este puesto de trabajo, como lectorador, técnico de lectura, lector de medidor, o simplemente lector.

Para la atención a los clientes residenciales, los lectores-cobradores se organizan por rutas establecidas que contienen cierto número de clientes, las cuales se trabajan a razón de una ruta por día, ya sea para la lectura de metro-contadores o para la entrega de la factura y el cobro inmediato a los clientes que lo soliciten, por lo que cada ruta se recorre dos veces al mes, una en funciones de lectura y otra en funciones de aviso y cobro. En dependencia de la zona que recorran, las rutas se clasifican en urbanas, rurales o de zona montañosa. En la presente

investigación solamente se trabaja con rutas urbanas. En este sentido, se define una ruta urbana como una porción de calle o avenida (o la combinación de ambas) que contiene cierto número de clientes, pudiendo abarcar una o ambas aceras de las calles y/o avenidas que recorran (Fornet et al., 2021).

Cada lector-cobrador tiene a su cargo un conjunto de rutas denominado torre. Dentro de cada torre las rutas se organizan en una secuencia, ocupando una posición de la misma. Esta secuencia determina los cronogramas de lectura y cobro, pues las posiciones equivalen al orden en que se trabajan las rutas. En el momento en que se realiza la investigación, la Sucursal Centro cuenta con 62 rutas organizadas en 8 torres de 8 posiciones, por lo que existen 6 torres con 8 rutas y 2 torres con 7 rutas.

METODOLOGÍA

La situación objeto de estudio se aborda mediante la formulación y resolución de dos clases de modelo de asignación de forma consecutiva. Primeramente, se procede a la reasignación ergonómica de las rutas a las torres, situación que se modela como un problema de asignación cuadrática (QAP), ampliamente estudiado en la literatura internacional (Silva et al., 2020). Una revisión extensiva sobre la formulación y aplicaciones de QAP puede encontrarse en Abdel et al. (2018). En este caso, de la formulación matemática resulta un modelo con variables booleanas, función objetivo cuadrática y restricciones lineales. Por la naturaleza cuadrática del problema, los métodos exactos de solución que mejor desempeño reportan son aquellos basados en un esquema de ramificación y acotación, conocido como *Branch & Bound* (Miranda et al., 2018). Por su alta complejidad computacional, el QAP clasifica como NP-completo (Vavasis, 1995), es por ello que usualmente los métodos exactos no pueden encontrar la solución óptima en un tiempo razonable. Un procedimiento apropiado para resolver esta dificultad es el uso de algoritmos metaheurísticos (Benlic & Hao, 2015; Harris et al., 2015). Para el problema que se presenta en este trabajo, se propone una metaheurística propia, designada como Metaheurística de Asignación Balanceada (MAB), la cual está basada en los principios fundamentales de la Investigación de Operaciones, abordados en obras como Hillier & Lieberman (2010) y Taha (2012). El procedimiento propuesto permite obtener una buena solución con muy poco esfuerzo computacional para el modelo de asignación basado en programación cuadrática booleana. La formalización de esta metaheurística se describe como parte de los resultados que se muestran en los epígrafes de resultados.

Posteriormente a la asignación de rutas a torres por la MAB, se formula un modelo de asignación lineal para cada nueva torre, el cual ubica las rutas en sus posiciones atenuando los cambios en la consecución de los días de trabajo de las rutas. Los modelos de asignación formulados como parte de este estudio se resuelven mediante la aplicación del algoritmo húngaro (Hillier & Lieberman, 2010; Taha, 2012), para lo cual se empleó el paquete de programas POM-QM para Windows.

RESULTADOS

I- Cálculo de distancias

Se define la distancia total de una ruta (DTR) como la distancia que debe recorrer el lector-cobrador para trabajar esa ruta durante su jornada laboral. Esta se determina sumando la distancia de recorrido de la ruta con la distancia de traslado entre la ruta y la sucursal. Se define la distancia total de una torre (DTT) como la sumatoria de las distancias totales de las rutas que la integran, representando así la distancia que recorre un lector-cobrador durante un ciclo de lectura o cobro. En la Tabla 1 se muestran las distancias totales de rutas y torres, expresadas en cuadras¹. La media de las DTT es aproximadamente 253 cuadras/torre, con una desviación estándar de 40 cuadras/torre. Las distancias de cero equivalen a las posiciones vacías en las torres 4 y 8.

Tabla 1: Distancia total de las torres.

	Posiciones								DTT
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Torre 1	29	38	38	38	15	27	17	21	223
Torre 2	46	40	42	52	48	19	34	34	315
Torre 3	35	37	31	39	60	33	17	21	273
Torre 4	28	24	34	21	28	28	25	0	188
Torre 5	35	33	25	40	25	24	20	47	249
Torre 6	27	26	35	20	73	63	20	19	283
Torre 7	47	29	20	50	21	34	40	29	270
Torre 8	38	29	17	33	31	44	32	0	224

Fuente: Elaboración propia.

II- Metaheurística de Asignación Balanceada de rutas a torres

El modelo de asignación cuadrática para este estudio se formula a continuación:

¹ Tramo de calle o avenida comprendido entre una esquina y la siguiente, tomando en cuenta solamente una de las dos aceras

Índices y conjuntos:

$i \in I = (1, 2, \dots, m)$ Conjunto de rutas

$j \in J = (1, 2, \dots, n)$ Conjunto de torres

Variable de decisión:

$$\text{Función objetivo: } X_{ij} \begin{cases} 1 & \text{si se asigna la ruta } i \text{ a la torre } j \\ 0 & \text{si no se asigna la ruta } i \text{ a la torre } j \end{cases}$$

$$\min Z = \left[\frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m \text{DTR}_i * X_{ij} \right)^2 \right] - (\overline{\text{DTT}})^2$$

Restricciones:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 8 \quad \forall j \in J \quad \text{Se deben asignar 8 rutas a cada torre}$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad \text{Cada ruta se asigna solo a una torre}$$

$$X_{ij} \in (0; 1)$$

Tomado como base el modelo anterior, se procede a formalizar la Metaheurística de Asignación Balanceada (MAB) propuesta para la solución del problema de reorganización de las torres buscando que todas las torres tengan aproximadamente la misma distancia total (DTT).

El procedimiento propuesto consiste de tres pasos:

Paso-1: Ordenamiento. Ordenar las rutas de forma ascendente en base sus distancias totales (DTR).

Paso-2: Agrupamiento. Conformar m grupos de n rutas cada uno, tomando en el Grupo 1 las primeras n -rutas, en el Grupo 2, las siguiente n -rutas, hasta concluir ubicando las últimas n -rutas en el Grupo m . El número de grupos (m) debe concordar con el número de posiciones por torre, mientras que el número de rutas por grupo (n) ha de coincidir con el número de torres.

Paso-3: Asignación de rutas a las torres. Asignar las rutas del Grupo 1 a todas las torres, comenzando por la ruta de mayor DTR y terminando por la ruta menor. Luego, asignar las rutas del Grupo 2 a todas las torres, esta vez comenzando por la ruta de menor DTR y terminando por la ruta mayor. Continuar hasta que se hayan asignado las rutas del Grupo m a todas las torres. Para los grupos impares, asignar las rutas de mayor a menor. Para los grupos pares, asignar las rutas de menor a mayor.

III- Reconstrucción ergonómica de las torres

Para obtener el nuevo reordenamiento de las rutas por torres con un mejor balance de sus distancias totales (DTT), se procede a aplicar la MAB.

Aplicación del Paso-1: Se ordenan todas las rutas atendiendo a su distancia total (DTR), originando la siguiente sucesión: Fix1 (0), Fix2 (0), O1 (15), R1 (17), F3 (60), P3 (63), F2 (73).

Aplicación del Paso-2: Se conforman 8 grupos de 8 rutas respetando el orden establecido anteriormente (Ver tabla 2).

Tabla 2: Grupos de rutas.

1		2		3		4		5		6		7		8	
Ruta	DT														
Fix1	0	M3	20	F1	24	H3	28	J2	31	T1	34	B1	38	A1	47
Fix2	0	E2	20	C2	24	P2	28	PA	32	N2	35	D2	39	G2	47
O1	15	Q1	20	N1	25	J3	28	B3	33	A3	35	QA	40	P9	48
R1	17	S1	20	C1	25	Q3	29	K3	33	A9	35	N3	40	M2	50
H2	17	O4	21	E1	25	A2	29	G3	33	B2	37	D3	40	P4	52
H1	17	I2	21	M1	26	JA	29	E3	34	C3	38	O3	42	F3	60
S4	19	J1	21	G1	27	K1	29	N9	34	D1	38	I1	44	P3	63
R2	19	I3	21	L3	27	L1	31	Q2	34	K2	38	L4	46	F2	73

Fuente: Elaboración propia.

Aplicación del Paso-3: Se asignan las rutas de cada grupo a las torres. Así, por ejemplo, las rutas del Grupo 1 (Fix1, Fix2, O1, R1, H2, H1, S4, R2), por ser impar, son asignadas a las torres en orden descendente: Fix1 a Torre 8, Fix2 a Torre 7, O1 a Torre 6, R1 a Torre 5, H2 a Torre 4, H1 a Torre 3, S4 a Torre 2 y R2 a Torre 1, tal y como se puede apreciar en la primera columna de las Tablas 4 y 5. Por su parte, las rutas del Grupo 2 (M3, E2, Q1, S1, O4, I2, J1, I3), al ser un grupo par, se asignan en orden ascendente: M3 a Torre 1, E2 a Torre 2, Q1 a Torre 3, S1 a Torre 4, O4 a Torre 5, N1 a Torre 6, J1 a Torre 7 e I3 a Torre 8, tal y como se puede ver en la segunda columna de dichas tablas. Aplicando este procedimiento sobre los restantes grupos se logra la reorganización de las 8 torres. En la Tabla 4 se muestran las distancias totales de las rutas que componen cada torre, así como la nueva distancia total de cada torre (DTT). Las rutas de menor distancia aparecen en tonos rojos, las medianas en tonos amarillos y las mayores en tonos verdes.

Tabla 4: Distancia total de las nuevas torres.

	Rutas asignadas								DTT
Torre 1	19	20	27	28	34	34	46	47	255
Torre 2	19	20	27	28	34	35	44	47	254
Torre 3	17	20	26	28	34	35	42	48	250
Torre 4	17	20	25	29	33	35	40	50	249
Torre 5	17	21	25	29	33	37	40	52	254
Torre 6	15	21	25	29	33	38	40	60	261
Torre 7	0	21	24	29	32	38	39	63	246
Torre 8	0	21	24	31	31	38	38	73	256

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se puede apreciar la existencia de uniformidad en la distribución de las distancias totales de las rutas que conforman cada torre, observándose un patrón definido de colores que va desde el rojo hasta el verde. Para esta nueva distribución de rutas, la media de las DTT se mantiene a 253 cuerdas/torre, pero su desviación estándar es ahora de sólo 4 cuerdas/torre, lo que representa una reducción por un factor de 10 respecto a la desviación de las DTT de la distribución original. De esta forma se logra un mejor balance de las DTT, lo que equivale a una repartición equitativa de la carga física de trabajo entre los lectores-cobradores.

IV- Asignación de rutas a posiciones

Una vez que las rutas han sido asignadas a las torres por la MAB, corresponde su asignación a las posiciones dentro de cada nueva torre. En dicha asignación se busca reducir la diferencia (ΔP) entre la posición original de una ruta y la posición potencial que esa ruta puede ocupar en la nueva torre. Este ajuste se realiza para minimizar los cambios derivados de la reorganización de las torres, facilitar la adaptación de los lectores-cobradores al nuevo esquema, y evitar

que su aplicación se vea comprometida por sesgos cognitivos inherentes al factor humano, como la resistencia al cambio, el pensamiento grupal, el acomodamiento, etc.

Para llevar a cabo lo planteado anteriormente, se formula y resuelve un modelo de asignación lineal por cada torre, tal como se muestra a continuación:

Índices y conjuntos:

$r \in R = (1, 2, \dots, p)$ Conjunto de rutas de una torre

$k \in K = (1, 2, \dots, l)$ Conjunto de posiciones de una torre

Variable de decisión:

Función objetivo:

$$\min Z = \sum_{r=1}^p \sum_{k=1}^l \Delta P_{rk} * X_{rk}$$

$$X_{rk} \begin{cases} 1 & \text{si se asigna la ruta } r \text{ a la posición } k \\ 0 & \text{si no se asigna la ruta } r \text{ a la posición } k \end{cases}$$

Restricciones:

$$\sum_{r=1}^p X_{rk} = 1 \quad \forall k \in K \quad \text{A cada posición solo se le asigna una ruta}$$

$$\sum_{k=1}^l X_{rk} = 1 \quad \forall r \in R \quad \text{Cada ruta se asigna solo a una posición}$$

$$X_{rk} \in (0; 1)$$

A medida que la posición potencial de una ruta se separa de su posición original, su ΔP gana enteros. Por ejemplo, originalmente la ruta R2 ocupaba la posición 6 de la Torre 2, siendo asignada a la Torre 1 tras la aplicación de la MAB. En esta nueva torre, si R2 se colocara en su posición original (posición 6), su ΔP sería de cero; si se adelantara o atrasara una posición (en las posiciones 5 o 7), su ΔP sería de 1; si se ubicara dos posiciones por delante o por detrás (en las posiciones 4 u 8), su ΔP sería de 2, y así sucesivamente.

Para resolver estos modelos se aplica el algoritmo húngaro, obteniéndose como solución óptima las asignaciones que sirven como base para la reestructuración de las torres. En la Tabla 5 se muestran las ΔP de las rutas colocadas en sus nuevas torres. Esta tabla es el resultado de la modificación de la Tabla 7, donde cada ruta fue sustituida por la ΔP de su nueva posición. En dicha tabla, estos valores aparecen en tonos de azul, los cuales se oscurecen a medida que la ΔP se incrementa.

Tabla 5: Diferencias posicionales de las rutas.

	Posiciones							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Torre 1	0	1	2	0	0	0	0	0
Torre 2	2	4	0	2	1	0	1	0
Torre 3	0	0	0	3	0	3	0	1
Torre 4	0	2	1	3	2	0	0	0
Torre 5	0	0	0	0	2	4	4	4
Torre 6	4	0	0	0	0	1	0	0
Torre 7	1	0	1	0	1	1	1	0
Torre 8	0	0	0	1	0	0	2	0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se puede constatar que 37 de 64 rutas conservaron su posición tras la reestructuración de las torres, lo que representa el 57,81%. Visualmente esto se evidencia con el predominio del color azul celeste. De las rutas que cambiaron su posición, se observa que la máxima diferencia es de 4 (coloreada en azul marino). De esta forma se logra que más de la mitad de las rutas permanezcan en su posición, manteniéndose en un rango de diferencia razonable (entre 1 y 4 posiciones) aquellas rutas que sí variaron su posición. Este resultado provoca un efecto atenuante en los cambios técnico-organizativos derivados de la reconstrucción de las torres, lo cual contribuye directamente a la satisfacción de los lectores-cobradores con las modificaciones ergonómicas propuestas para este puesto de trabajo.

CONCLUSIONES

Se determinaron las distancias totales de las rutas y torres de la Sucursal Centro de la Empresa Eléctrica de Cienfuegos.

Se formalizó la Metaheurística de Asignación Balanceada de rutas a torres (MAB).

Utilizando la MAB se redistribuyeron las rutas entre las torres siguiendo un enfoque ergonómico.

Una vez reorganizadas las torres, para cada una se formuló un modelo de asignación lineal de rutas a posiciones.

Mediante la resolución de los modelos de asignación, se colocaron las rutas de cada torre en posiciones lo más cercanas posible a su posiciones originales.

La comparación de la desviación estándar de las torres originales (40 cuadras/torre) y las torres construidas mediante la MAB (4 cuadras/torre), demuestra que estas últimas poseen un mejor balance de su carga física.

El 57,81% de las rutas se mantuvo en la misma posición tras la reestructuración de las torres.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Basset, M., Manogaran, G., El-Shahat, D., & Mirjalili, S. (2018). Integrating the whale algorithm with tabu search for quadratic assignment problem: a new approach for locating hospital departments. *Applied soft computing*, 73, 530–546.
- Acevedo Salinas, J. F. (2011). Optimización georeferenciada de rutas de lectura de medidores. (Tesis de grado Magíster en Ingeniería Informática). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-0500/UCF0995_01.pdf&ved=2ahUKEwj8v4-4nan5AhV3TjABHbcKABQQFnoECAQQAQ&usq=AOvVaw125MqyLiqI3FzOBp7Jc7nd
- Benlic, U. & Hao, J.-K. (2015). Memetic search for the quadratic assignment problem. *Expert Systems with Applications*, 42(1), 584–595.
- Fornet Cabrera, D. A., Miranda Pérez, R., Cabrera Alvarez, E. N. & Pérez De Armas, M. (2021). Balance de carga de las rutas del lector-cobrador en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos. *Revista Cubana de Ciencias Económicas EKOTEMAS*, 7(2), 44-53. <https://www.ekotemas.cu/index.php/ekotemas/article/view/175>
- Fornet Cabrera, D. A., Miranda Pérez, R., Cabrera Alvarez, E. N. & Pérez De Armas, M. (2022). Mejoras a la organización del trabajo de los lectores-cobradores en la Empresa Eléctrica de Cienfuegos. *Revista Científica Cultura, Comunicación y Desarrollo*, 7(2), 22-27. <https://rccd.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/353/374>
- Harris, M., Berretta, R., Inostroza-Ponta, M., & Moscato, P. (2015). A memetic algorithm for the quadratic assignment problem with parallel local search. In *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 838–845.
- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. 9na Edición. Mc Graw-Hill.
- Miranda Pérez, R., Allende Alonso, S., Pérez Cañedo, B. y Bouza Allende, G. (2018). Desempeño computacional de estrategias híbridas para la solución de problemas cuadráticos no convexos con restricciones de caja. *Revista Investigación Operacional*, 39(1), 42-53. <http://archives-web.univ-paris1.fr/rev-inv-ope/fileadmin/rev-inv-ope/files/39118/39118-04.pdf>
- Reyes Ávila, L. D. (2017). Análisis estratégico del servicio conexo de toma de lecturas de energía eléctrica a la empresa Construpeca S.A. (Tesis de grado previo a la obtención del título de Magíster en Administración de Empresas mención Planeación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/1096/1/REYES%2520%25C3%2581VILA%2520LEONARDO%2520DAVID.pdf&ved=2ahUKEwinuL71nKn5AhXISTABHVDHCN4QFnoECA0QAQ&usq=AOvVaw2IOrjuSsghESoimF8iGCOV>
- Silva, A., Coelho, L. & Darvish, M. (2020). Quadratic assignment problem variants: a survey and an effective parallel memetic iterated tabu search. *European Journal of Operational Research*.
- Taha, H.A. (2012). *Investigación de operaciones*. 9na Edición. Pearson Education.
- Tuesta Pérez, A. E. (2011). Minimización de tiempo en el proceso de toma de lectura y reparto de recibo para la reducción de costos en la Unidad de Facturación de la empresa Electronorte SA en el distrito de La Victoria – Chiclayo. (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12423/2990&ved=2ahUKEwiB_abqm6n5AhUtQzABHdANC5EQFnoECAUQAQ&usq=AOvVaw3Qc1tWGVt57r_HmynJm6cQ
- Vacas Avilés, E. A. (2007). Evaluación de la innovación tecnológica en la toma de lecturas de medidores de energía eléctrica. (Tesis de Diplomado en Alta Gerencia). Instituto de Altos Estudios Nacionales. https://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/4088&ved=2ahUKEwj_m_pCXm6n5AhWbmYQIHUyEBE8QFnoECAkQAQ&usq=AOvVaw2L0qUzI4BdO_ApKxVwteQF
- Vavasis, S. (1995). Complexity issues in global optimization: a survey. R.Horst and P.M.Pardalos (eds), *Handbook of global optimization*, Kluwer, Dordrecht.