



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898475*

RFC: AT1120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticaayvalores.com/>

Año: XII

Número: Edición Especial

Artículo no.:16

Período: Diciembre del 2024

TÍTULO: Modelo de Ubicación y Asignación de Centros de Capacitación Digital.

AUTORES:

1. Dr. Yair Romero-Romero.
2. Dra. Loecelia Ruvalcaba-Sánchez.
3. Dra. Fabiola Sánchez-Galván.
4. Dr. Horacio Bautista-Santos.

RESUMEN: En esta investigación se propone un modelo matemático discreto bi-objetivo para ubicar y asignar demanda poblacional a Centros de Capacitación Digital (CCD) en el estado de Aguascalientes, buscando justicia espacial a través de la minimización de las distancias recorridas por los usuarios, y un balance de cargas de trabajo de cada uno de los CCD. Se resuelven un conjunto de escenarios por medio de épsilon-restricción y se construyen frentes de Pareto; además, se presentan los resultados obtenidos por medio del modelo matemático propuesto.

PALABRAS CLAVES: sociedad, brecha digital, ubicación de instalaciones.

TITLE: Location and assignment model of Digital Training Centers.

AUTHORS:

1. PhD. Yair Romero-Romero.
2. PhD. Loecelia Ruvalcaba-Sánchez.
3. PhD. Fabiola Sánchez-Galván.
4. PhD. Horacio Bautista-Santos.

ABSTRACT: This research proposes a discrete bi-objective mathematical model to locate and assign the population demand to Digital Training Centers (DTC) in the state of Aguascalientes, seeking spatial justice through the reduction of the distance traveled by the users and a balance of workloads for each of the DTCs. A diverse set of scenarios is solved by means of the epsilon-constraint method and Pareto fronts are constructed. Furthermore, the results obtained by the proposed mathematical model are presented.

KEY WORDS: society, digital divide, location of facilities.

INTRODUCCIÓN.

Las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) se han convertido en motores de impulso para la sociedad (Gouvea et al., 2018), trayendo beneficios como el acceso universal a la educación, igualdad en la instrucción (UNESCO, 2020) e igualdad laboral por género (Laudano, 2018; Prendes-Espinosa et al., 2020); además, las TICs según Ceconi & Campenni (2020) aumentan la eficiencia en el comercio a través del ahorro en tiempos totales y en gastos de desplazamiento. La inmediatez en las transacciones realizadas por medio de las TIC permite acceder a servicios cualquier día a cualquier hora, con autonomía (Neidhardt, J. & Worndl, 2020).

En general, las TIC han dotado a la sociedad de una serie de capacidades y posibilidades impensables hace algunos años, mejorando el nivel económico y el nivel de vida de las personas. Por estas razones, las TIC se han convertido en una ventana de acceso a la información, y como se sabe en el siglo XXI, la información se considera uno de los derechos de la ciudadanía (CNDH, 2019).

Los beneficios que generan las TIC están guiando su uso por los países, colectivos, personas o instituciones, debido a que si no las utilizan implica marginarse del acceso a la información y tal separación se está convirtiendo además en motivo de exclusión social (Olarde, 2017).

Las desigualdades originadas por las TIC se engloban bajo el nombre de brecha digital, la cual se define como la diferenciación producida entre aquellas personas, instituciones, sociedades o países que pueden acceder a la red y aquellas que no pueden hacerlo; es decir, que pueden ser definida en términos de

desigualdad de posibilidades que existen para acceder a la información, al conocimiento y a la educación mediante las TIC (Cabero & Ruiz-Palmero, 2017).

Las TIC son un elemento fundamental para el surgimiento de las Sociedades de la Información (SI), las cuales han sido definidas por Castells (2019) como “un estado de desarrollo social caracterizado por la capacidad de sus miembros (ciudadanos, empresas y administración pública) para obtener y compartir cualquier información, instantáneamente, desde cualquier lugar y en la forma que se prefiera”; sin embargo, las SI solo cobran sentido si propician el desarrollo de las Sociedades del Conocimiento (SC) y definidas como “aquellas sociedades en las que las condiciones de generación de conocimiento y procesamiento de la información han sido sustancialmente alteradas por una revolución tecnológica centrada en el proceso de información, en la generación de conocimiento, y en las tecnologías de información”.

Adoptar las TIC para disminuir la brecha digital entre pueblos, ciudades, estados y países y tratar de ingresar a las SI y SC para maximizar su impacto económico, social y político en beneficio de la calidad de vida de las personas ha propiciado que los gobiernos de todo el mundo se comprometan de modo claro con este objetivo, y ejemplo de ello son las iniciativas que han surgido en Latinoamérica:

Computador para todos. Creado en Brasil en el año 2012 como una política para la inclusión digital que promueve el uso de internet a través de la ampliación de disponibilidad de la red, incentivo en el desarrollo de contenidos y capacitación a la población (Laplane et al., 2007; Sunkel et al., 2013).

Enlaces. Política pública lanzada en Chile por medio del ministerio de educación 2007-2012 con el objetivo de promover la educación digital mediante el fortalecimiento de la iniciativa “educarchile” como un portal de portales de tipo Web 2.0 (Chile, 2020).

El Plan Nacional de Inclusión Digital” por parte de Bolivia para instalar tecnologías de comunicación en zonas rurales como telecentros comunitarios, acceso a internet y crear una cultura informática, además de capacitar en el manejo y aprovechamiento de las TIC (Bolivia, 2020).

Cuba con los programas “Cuba Educa”, “Yo sí puedo” y “EcuRed” son campañas de alfabetización por medio de asignaturas en la red (EcuRed, 2020; Ministerio de Educación de la República de Cuba, 2020).

En Colombia “Vive Digital” es un plan de tecnología que busca un salto tecnológico mediante la masificación del internet y el desarrollo del ecosistema digital nacional (MinTIC, 2020).

Por su parte, México, con la Estrategia Digital Nacional (EDN) crea el plan de acción para fomentar la adopción y el desarrollo de las TIC e insertar al país en la SI y en la SC a través de cinco habilitadores clave: Conectividad, Inclusión y Habilidades Digitales, Interoperabilidad, Marco jurídico y Datos Abiertos (Gobierno de México, 2020). Esto con el fin de disminuir la brecha digital en contraste con otros países como Qatar, que encabeza la lista con un 99.7% de su población con acceso a internet, en segundo lugar Kuwait con el 99.6%, tercer sitio Islandia 99.0%, cuarto Emiratos Árabes Unidos 98.5% y quinto lugar Dinamarca 97.6% (Banco Mundial, 2020). A diferencia en México, para el año 2018, solo el 63.9% de su población tenía acceso a la red (IFT, 2020), ocupando el sexagésimo primer lugar.

Reducir la desigualdad entre países es importante como lo menciona la Organización de las Naciones Unidas (ONU), pero también es importante disminuir la brecha entre pueblos del mismo país donde la desigualdad podría ser mayor. Este es el caso de las entidades federativas de México, donde el estado con mayor conectividad en el año 2016 fue Ciudad de México (CDMX) con el 63.1%, y que mostró una diferencia de 24 puntos porcentuales por encima del promedio Nacional; por el contrario, se encuentran los estados de Oaxaca, Chiapas, Tabasco y Guerrero con proporciones cercanas a uno de cada siete hogares con disponibilidad a internet (INEGI, 2016). En ese mismo año, las estadísticas de acceso a las TIC en el estado de Aguascalientes fue del 40.0% de su población, apenas por encima de la media (ENDUTIH, 2020); sin embargo, el Gobierno de Aguascalientes, alineado con la EDN, plantea el desarrollo de la SC como una estrategia de crecimiento económico, remarcando la necesidad de mejorar el acceso a la información, a la educación y a la generación propia del conocimiento (Gobierno del Estado de Aguascalientes, 2020).

Una de las acciones definidas por el estado consiste en implementar un modelo de alfabetización digital que permita acercar las TIC a la población, con énfasis en los sectores poblacionales más desfavorecidos, transformando a sus habitantes en ciudadanos digitales.

El término ciudadano digital hace referencia aquél individuo que integra el uso de herramientas y servicios basados en TIC a su vida cotidiana para ampliar sus posibilidades de promoción y desarrollo, mejorar su calidad de vida, agregar valor a sus actividades, participar plenamente en la SI y obtener beneficios sociales, económicos, políticos, culturales, educativos, recreativos, ocupacionales, comerciales de salud y seguridad (Muñoz Ávila, 2016).

En el contexto anterior, para la formación de ciudadanos digitales se pretenden establecer Centros de Capacitación Digital (CCD) a largo del estado de Aguascalientes, con el objetivo de acercar cursos de capacitación, acceso a la red y equipamiento a la población; por ello, en este trabajo de investigación se propone un modelo matemático bi-objetivo para la co-localización de CCD en el estado de Aguascalientes, considerando la justicia espacial y el balanceo de cargas de trabajo a través de la minimización de la variación de la distancia total recorrida por la población para acceder a los CCD, y la variación de las cargas de trabajo en los CCD activos, respectivamente.

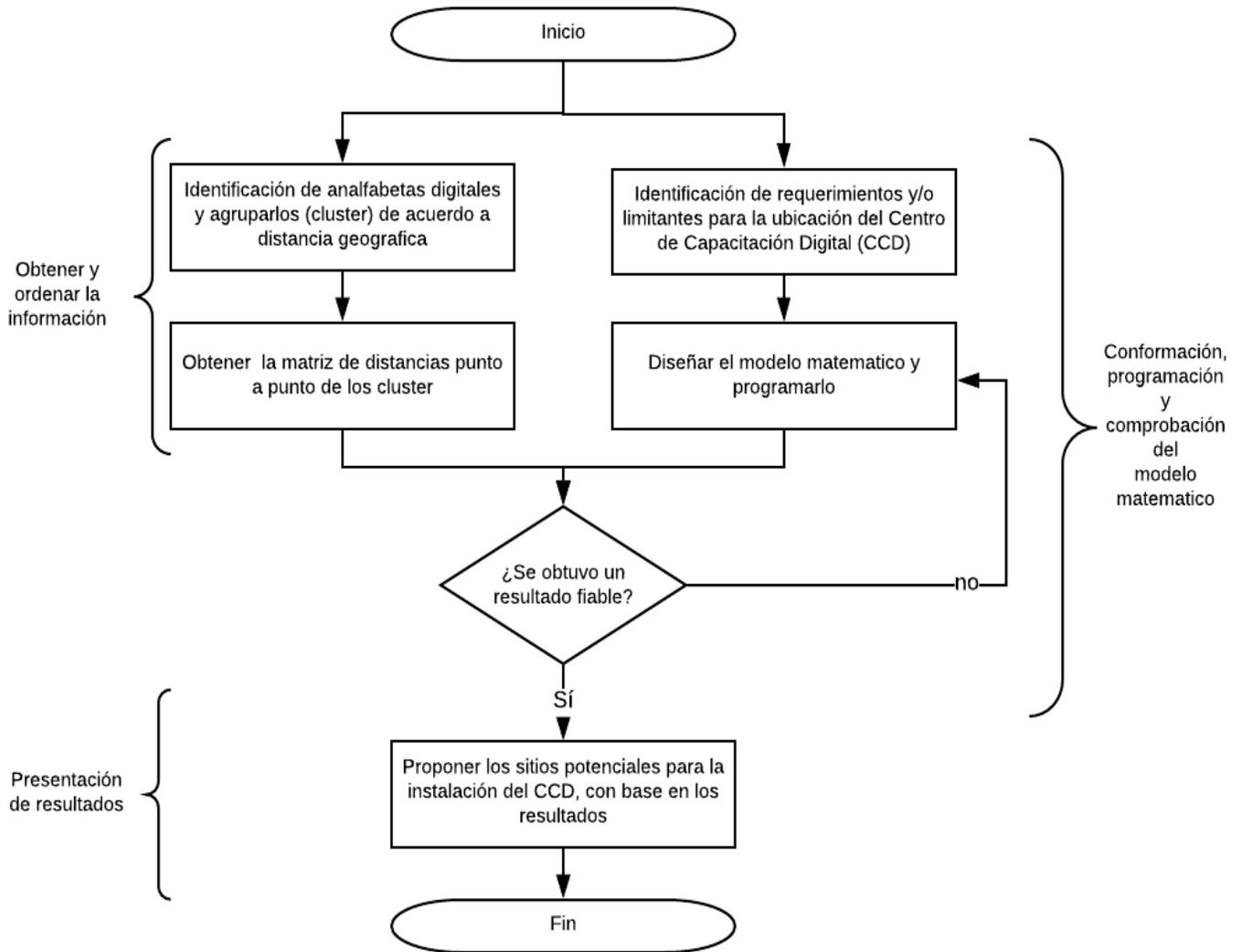
DESARROLLO.

Metodología.

La metodología que se propuso para la ubicación del Centro de Capacitación Digital se dividió en tres grandes apartados:

- 1) Obtener y ordenar la información.
- 2) Conformación, programación y comprobación del modelo matemático.
- 3) Presentación de los resultados (figura 1).

Figura 1. Diagrama metodológico para ubicar el Centro de Capacitación Digital.



Fuente: elaboración propia.

La información referente al número de analfabetas digitales se obtuvo de organismos oficiales como: el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) y de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnología de la Información en los Hogares (ENDUTIH), con la cual se localizó a las zonas geográficas con mayor número de analfabetas digitales en el estado de Aguascalientes. Esto sirvió para agruparlos y calcular la distancia punto a punto entre los diferentes nodos, obtenidas por Google Maps. Las distancias, al agruparlas, formaron una matriz de distancias, que alimentó al modelo matemático.

La ubicación de instalaciones es una decisión que forma parte de un proceso de formulación estratégica, cuya importancia viene justificada por dos razones. En primer lugar, las instalaciones son costosas y representan una inmovilización de recursos por un largo periodo de tiempo (Drezner & Drezner, 2016). En segundo lugar, una buena ubicación trae consigo beneficios como la maximización de la población atendida, equidad geográfica de acceso y minimización del gasto ciudadano (Fukunaga & Kawarabayashi, 2017).

Podemos decir, que una buena ubicación resulta en una mejora significativa de cualquier tipo de instalación (Montoya et al, 2016). En el caso particular de la planificación de instalaciones para la prestación de servicios públicos, podemos decir, que una mala ubicación no solo implica mayores costos económicos, sino que puede derivar en pérdidas humanas o en el estancamiento del desarrollo social (Cavola et al., 2018; Celik Turkoglu & Erol Genevois, 2019).

A medida que la población de las ciudades ha crecido, se le ha dado mayor importancia a la ubicación de este tipo de instalaciones, debido a que el incremento de las necesidades básicas y la poca planificación del espacio urbano en respuesta a estas, puede generar una subutilización del recurso en algunas zonas, falta de oferta en otras y el descontento generalizado de los usuarios (Montes & Romero, 2011).

El término asignado a la ubicación de instalaciones públicas es co-localización y el interés por estudiar el tema se deriva de sus beneficios percibidos, que incluyen entre otros, el ahorro de recursos, el aumento de la eficiencia, la sinergia de los servicios y la atención ciudadana; asimismo, se considera que estas instalaciones pueden proporcionar más oportunidades para relaciones esporádicas entre los residentes que las frecuentan para acceder a diferentes servicios, lo que repercute en el crecimiento armónico de la comunidad (Luo & Zuo, 2019).

Entre las investigaciones relevantes en el tema se incluye: la ubicación de estaciones de carga públicas para vehículos eléctricos, que por medio del método Monte Carlo simulan la demanda de diferentes

lugares, calculan la penetración y designan parámetros para el sistema de distribución, que considerando estos datos realizan la ubicación de instalaciones (Karakitsiou et al., 2018). Otras investigaciones incluyen el costo de instalación y el costo de administración de estaciones de carga eléctrica, además donde ubicar la instalación y cuantos cargadores se establecerán (Zhu et al., 2018).

Existen múltiples investigaciones que abordan el problema de la localización de servicios de emergencia, como problemas de cobertura que consideran las llamadas de servicio bajo diferentes niveles de prioridad, y sobresalen las que implican peligro para la vida (Silva & Serra, 2016). Algunos otros estudios ubican y asignan bases de helicópteros para brindar servicios de emergencia para espacios geográficamente fragmentados como son archipiélagos (Kavrouidakis & Kalloniatis, 2019).

Es muy común, que en problemas asociados a la co-localización-asignación de instalaciones públicas, el decisor se encuentre rodeado de varios objetivos a cumplir; por ejemplo, buscar estar lo más cerca de las localidades demandantes, pero también invertir lo menos posible, lo que se traduce en abrir pocas instalaciones y estar más alejado de las localidades demandantes. A este tipo de problemas conformados por más de un objetivo, se les conoce como problemas multi-objetivo (Liang et al., 2018; Lobato & Steffen, 2017).

La optimización multi-objetivo tiene sus raíces en los trabajos sobre economía de Edgeworth y Pareto realizados a finales del siglo XIX. Esta nació al darse cuenta que una de las características más importantes de los problemas reales es la multi-objetividad (Noghin, 2018). Estos objetivos múltiples en su mayoría con conflicto entre sí tienen una menor posibilidad de encontrar una solución óptima global, al contrario de los problemas con un único objetivo. Resolver problemas multi-objetivo puede ser bastante complejo y consta de dos etapas bien marcadas: la optimización de varias funciones objetivo, y el proceso de decidir cuál es el equilibrio adecuado de los objetivos (Lobato & Steffen, 2017).

Optimización de varias funciones objetivo. Existen métodos que pueden ser utilizados, algunos de los más relevantes son: la suma ponderada *weighted sum* también llamado método de *scalarization* que evalúa una

serie de alternativas en términos de criterios de decisión, con la restricción que todos los datos se deben expresar en la misma unidad, y si este no es el caso, se debería utilizar otro método (Lin et al., 2018); ϵ -constrain basado en el método de scalarization que consiste en convertir un modelo con n objetivos en mono-objetivo; es decir, se selecciona un objetivo y los demás pasan como restricciones formando inequaciones con diferentes valores de ϵ (Parvizi et al., 2015; Schumacher & Vietor, 2018); el método Lexicographic consiste en lexicografías u ordenamientos que describen las preferencias comparativas que se prefiere a un objetivo a cualquier cantidad de otro objetivo; este método puede ser utilizado siempre que exista un vínculo entre los objetivos (Chupov, 2016). La selección de alguno de ellos se basa en la complejidad del problema, en la exactitud que se desee del resultado, y en la habilidad del investigador.

Equilibrio adecuado de los objetivos. Conocida como Óptimo de Pareto, debemos considerar, que a diferencia de una optimización simple o mono-objetivo, en la que se busca obtener la mejor decisión que es regularmente un máximo o mínimo global, puede no existir una solución que sea la mejor con respecto a todos los objetivos. Para este tipo de situaciones en las que no es posible beneficiar a un objetivo sin perjudicar a otro, toma importancia el concepto de Óptimo de Edgeworth-Pareto también conocido como Óptimo de Pareto. Este concepto fue propuesto por Edgeworth en 1881 y después desarrollado por el Economista Vilfredo Pareto en 1896 y en esencia se desarrolló para situaciones, en las cuales, en lugar de obtener una sola solución óptima, obtenemos un conjunto de soluciones alternativas llamado conjunto de óptimos de Pareto, en el que se debe obtener un equilibrio entre todos los objetivos, debido a que el incremento de uno causa la disminución de al menos otro objetivo. A los vectores correspondientes a las soluciones incluidas en el conjunto se les llama no dominados y la imagen del conjunto del óptimo de Pareto bajo las funciones objetivo se denomina frente de Pareto (Eds & Goebel, 2017).

El problema anteriormente expuesto puede ser modelado matemáticamente como sigue. Se tiene un conjunto I de localidades demandantes y un conjunto J de localidades candidatas o CCD; con el parámetro

d_i que representa la demanda de servicio de la localidad i y l_{ij} que establece la distancia en kilómetros de las localidades demandantes i a las localidades candidatas j ; la variable de decisión a_{ij} indicará el porcentaje de servicio de la localidad demandante i que será cubierta por la localidad candidata j ; y la variable binaria x_j tomará el valor de 1 si la localidad candidata j es abierta y 0 de otra manera.

$$\text{Min} \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} l_{ij} a_{ij} d_i}{\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \frac{a_{ij}}{|I|} / |J|} \quad (1)$$

$$\text{Min} \sum_{j \in J} \left| 1 - \frac{1}{CM/P} \text{Carga}_j \right| \quad (2)$$

s.a.

$$\sum_{j \in J} a_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} d_i a_{ij} = \text{Carga}_j \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} d_i = CM \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$0 \leq a_{ij} \leq 1 \quad (9)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (10)$$

La función objetivo (1) minimiza la variación de las distancias totales recorridas por la población desde las localidades demandantes hasta los CCD; la función (2) balancea las cargas de trabajo de cada CCD. La ecuación (3) asegura que toda la demanda sea satisfecha, la ecuación (4) restringe a p el número de CCD a abrir. La ecuación (5) garantiza la asignación total de la demanda de cada una de las localidades a uno o varios de los CCD abiertos. La ecuación (6) obtiene la carga de trabajo esperada en cada una de las j instalaciones abiertas. La ecuación 7 obtiene la suma total de población que demanda el servicio, la cual es utilizada en la función objetivo (1) para determinar el valor equitativo de carga (CM/P) que será tomado como referente. La ecuación (8) restringe la asignación de la demanda i a cada uno de los CCD abiertos

j , que puede tomar valores entre 0 y 1. La restricción (9) define que el porcentaje asignado debe ser entre 0 y 1. Finalmente, la ecuación (10) define la variable binaria x_j que toma el valor de 1 si el j -ésimo CCD es abierto y 0 en cualquier otro caso.

Para la validación del modelo matemático se utilizó Lingo v.9.0, debido a que el software trae ventaja para los usuarios por la similitud con la formulación matemática tradicional. En el análisis de resultados se decidió crear tres posibles escenarios, variando el número de CCD a abrir, de manera que $p = \{2,3,4\}$. Los resultados de la optimización de los objetivos individuales se muestran en la tabla 1, donde se observa que a mayor número de CCD por abrir se minimiza las distancias totales recorridas por los usuarios y se reduce la diferencia de cargas de trabajo de cada uno de los CCD abiertos; sin embargo, dado que se trata de un problema multi-objetivo, se decidió utilizar el método ε – restricción, en el cual se optimiza una de las funciones objetivo y se usa la otra función como restricción, limitando esta última a un valor ε que puede tomar valores entre *limite inferior* $\leq \varepsilon \leq$ *limite superior*.

Tabla 1. Resultados mono-objetivo.

	Minimización de Distancias	Balaceo de cargas de trabajo
p=2	0.18	10.90
p=3	0.11	8.99
p=4	0.08	7.00

Fuente: elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

En la tabla 2 se establecen los diferentes límites de acuerdo con una solución lexicográfica de los objetivos.

Tabla 2. Límites de los valores de ε

	Objetivo minimización de Distancias		Objetivo balanceo de cargas de trabajo	
	Límite Inferior	Límite superior	Límite Inferior	Limite Superior
p=2	0.1810582	0.43	10.90	11.47
p=3	0.1178875	0.83	8.99	11.08
p=4	0.08241613	Infactible	7.00	11.08

Fuente: elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

A pesar de que se obtuvieron límites para los dos objetivos del modelo, para transformar el problema multi-objetivo en un problema ε -restricción equivalente, la ecuación (2) relacionada con la minimización de la variación de las cargas de trabajo de los CCD, se transformó en restricción (ecuación 11) para obtener los óptimos Pareto a través de la variación de ε_1 .

$$\text{Min} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} l_{ij} a_{ij} d_i / \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \frac{a_{ij}}{|I|} / |J| < \varepsilon_1 \quad (11)$$

En problemas multi-objetivo, el concepto optimalidad se suple con Óptimo de Pareto, en el cual se buscan soluciones no dominadas; es decir, soluciones que no se pueden mejorar en una función objetivo sin deteriorar su rendimiento en al menos una de las demás funciones. En las figuras 1 y 2 se presentan los frentes de Pareto generados a partir de dos posibles escenarios. Las soluciones presentadas en el frente de Pareto sirven como base al tomador de decisiones en la selección de una configuración en particular.

Figura 1. Frente de Pareto p=2

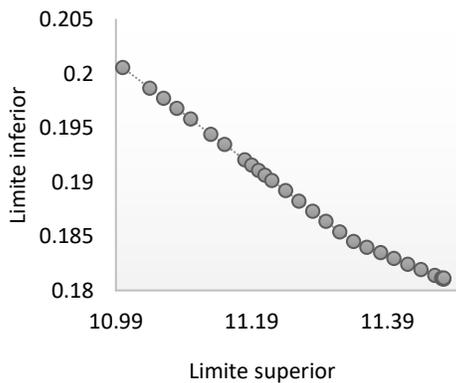
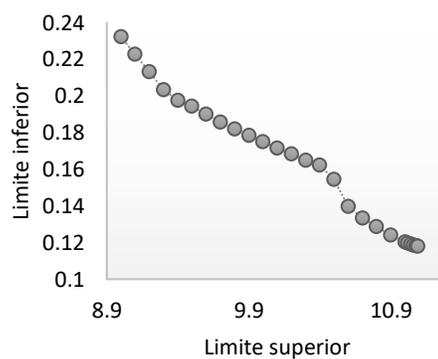


Figura 2. Frente de Pareto p=3



Fuente: elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Este tipo de soluciones representan un criterio; sin embargo, al momento de tomar la decisión, se deben considerar otros criterios, como el presupuesto, objetivos y prioridades que se tenga por parte del Estado. Una vez seleccionados los criterios, el modelo arroja información valiosa contenida en las variables de

decisión. Enseguida se presentan los resultados de los dos posibles escenarios. Cuando se desea abrir dos CCD se le asigna a $p = 2$, y al ejecutar el modelo con un $\varepsilon = 11.473$, nos arroja un objetivo óptimo global de 0.1810587, el tiempo de corrida es de 0.01 segundos, y los resultados de la asignación se pueden observar en la Tabla 3. El modelo arrojó que el resultado óptimo que minimiza la sumatoria de las distancias y que a su vez hace un balance de cargas de trabajo a cada CCD consiste en abrir un CCD en Aguascalientes y otro en Pabellón de Arteaga. El CCD de Aguascalientes deberá cubrir la demanda total de alfabetización de los municipios de Aguascalientes, Calvillo, Jesús María y El Llano, mientras que la demanda de los municipios de Asientos, Cosío, Pabellón de Arteaga, Rincón de Romos, San José Gracia, Tepezalá y San Francisco de los Romo es asignada al CCD de Pabellón de Arteaga.

Tabla 3. Localización de los CCD y asignación de la demanda con $p=2$.

		CCD	
		Aguascalientes	Pabellón de Arteaga
Demanda	Aguascalientes	100%	
	Asientos		100%
	Calvillo	100%	
	Cosío		100%
	Jesús María	100%	
	Pabellón de Arteaga		100%
	Rincón de Romos		100%
	San José de Gracia		100%
	Tepezalá		100%
	El Llano	100%	
	San Francisco de los Romo		100%

Fuente: elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

Utilizando valores de $p = 3$ y $\varepsilon = 11.08852$ se obtuvo una variación de la distancia total recorrida de 0.1178875 y las asignaciones de la demanda mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4. Localización de los CCD y asignación de la demanda con $p=3$.

		CCD		
		Aguascalientes	Calvillo	Pabellón de Arteaga
Demanda	Aguascalientes	100%		
	Asientos			100%
	Calvillo		100%	
	Cosío			100%
	Jesús María	100%		
	Pabellón de Arteaga			100%
	Rincón de Romos			100%
	San José de Gracia			100%
	Tepezalá			100%
	El Llano	100%		
	San Francisco de los Romo			100%

Fuente: elaboración propia con base en los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES.

Una de las aportaciones que se realiza en este artículo es el estudio de la co-localización discreta multi-objetivo específicamente para un Centro de Capacitación Digital (CCD) en el estado de Aguascalientes, que va enfocado a disminuir la brecha digital en su población, y es relevante debido a que la investigación propone temas de co-ubicación de instalaciones, logística, investigación de operaciones, problemas multi-objetivo, ϵ -constraint, Pareto óptimo, para ser aplicados a un área relativamente nueva, que es el servicio público para optimizar los recursos asignados, especialmente en el sector educativo.

En la problemática que se abordó, se evidenció un claro conflicto entre dos objetivos: el primero es sobre las distancias recorridas para tener acceso a capacitación digital, y el segundo se refiere al balanceo de cargas de trabajo de cada CCD; la solución fue abordada por medio del modelamiento matemático y solución de este para encontrar un balance entre los dos objetivos.

Finalmente, cabe mencionar, que el modelo matemático propuesto se podría aplicar a cualquier otra problemática, donde se requiera ubicar n instalaciones, balanceando la carga de trabajo de cada una de ellas en distintos lugares con el fin de optimizar los recursos asignados para instalaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Banco Mundial. (2020). Personas que usan Internet (% de la población).
2. Bolivia. (2020). Plan Nacional de Inclusión Digital. <http://www.cienciaytecnologia.gob.bo>
3. Cabero Julio, & Ruiz-Palmero Julio. (2017). Las Tecnologías de la Información y Comunicación para la inclusión: reformulando la brecha digital. *IJERI: International Journal of Educational Research and Innovation*, 0(9), 16–30. <https://upo.es/revistas/index.php/IJERI/article/view/2665>
4. Castells, M. (2019). Globalización, tecnología, trabajo, empleo y empresa. *La Transformación Del Trabajo*, 1–17.
5. Cavola, M., Diglio, A., Piccolo, C. (2018). An optimization model to rationalize public service facilities (Vol. 1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-00473-6>
6. Cecconi, F., Campenni, M. (2020). Information and Communication Technologies (ICT) in Economic Modeling. 15–25. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22605-3>
7. Celik Turkoglu, D., & Erol Genevois, M. (2019). A comparative survey of service facility location problems. In *Annals of Operations Research* (Issue 0123456789). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03385-x>
8. Chile, G. de. (2020). Educachile. <https://www.educarchile.cl/>
9. Chupov, S. V. (2016). New Approaches to Solving Discrete Programming Problems on the Basis of Lexicographic Search. *Cybernetics and Systems Analysis*, 52(4), 536–545. <https://doi.org/10.1007/s10559-016-9855-9>

10. CNDH. (2019). Derecho de acceso a las tecnologías de la información y comunicación. https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Programas/Ninez_familia/Material/trip-derecho-acceso.pdf
11. Drezner, T., & Drezner, Z. (2016). Sequential location of two facilities: comparing random to optimal location of the first facility. *Annals of Operations Research*, 246(1–2), 5–18. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1699-y>
12. EcuRed. (2020). Programa cubano de Alfabetización Yo Sí Puedo. https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana
13. Eds, X. L., & Goebel, R. (2017). *AI 2017 : Advances in Artificial Intelligence*.
14. ENDUTIH. (2020). Encuesta Nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares,. *Boletín de Prensa*. http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2016/especiales/especiales2016_03_01.pdf
15. Fukunaga, T., & Kawarabayashi, K. I. (2017). Combinatorial optimization and graph algorithms: Communications of NII Shonan meetings. *Combinatorial Optimization and Graph Algorithms: Communications of NII Shonan Meetings*, 1–120. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6147-9>
16. Gobierno de México. (2020). *Estrategia Digital Nacional*. <https://www.gob.mx/mexicodigital/>
17. Gobierno del Estado de Aguascalientes. (2020). *Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022*. http://www.aguascalientes.gob.mx/cplap/Docs/PED/PED_Aguascalientes2016_2022.pdf
18. Gouvea, R., Kapelianis, D., & Kassicieh, S. (2018). Assessing the nexus of sustainability and information & communications technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 130(June), 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.07.023>
19. IFT. (2020). En México 71.3 millones de usuarios de internet y 17.4 millones de hogares con conexión a este servicio: ENDUTIH 2017. <https://www.gob.mx/mexicodigital/>

20. INEGI. (2016). Estadísticas a Propósito Del Día Mundial De Internet 17 De Mayo 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 12. http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2016/internet2016_0.pdf
21. Karakitsiou, A., Migdalas, A., & Pardalos, P. M. (2018). Optimal Location Problems for Electric Vehicles Charging Stations: Models and Challenges. 49–60. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99142-9_4
22. Kavrouidakis, D., Kalloniatis, C., T. P. (2019). Location-Allocation modeling for Emergency Evacuati3ns in the Aegean Sea. In *IEEE Access* (Vol. 7, Issue 2, pp. 161–179). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-99444-4>
23. Laplane, M., Rodríguez, F. E. L., & Rojas, F. (2007). Asimetrías de informaci3n en el mercado de computadoras personales : los casos de financiaci3n de PC para consumidores de bajos ingresos.
24. Laudano, C. (2018). Acerca de la apropiaci3n feminista de TICs ARGENTINA : MEDIOS DE COMUNICACION Y GENERO. 138–146. <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.649/pm.649.pdf>
25. Liang, J., Guo, Q., Yue, C., & Qu, B. (2018). A Self-organizing Multi-objective Particle Swarm Optimization Algorithm for Multimodal Multi-objective Problems (Vol. 2). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93815-8>
26. Lin, C., Gao, F., & Bai, Y. (2018). An intelligent sampling approach for metamodel-based multi-objective optimization with guidance of the adaptive weighted-sum method. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 57(3), 1047–1060. <https://doi.org/10.1007/s00158-017-1793-2>
27. Lobato, F. S., & Steffen, V. (2017). Multi-Objective Optimization Problems: Concepts and Self-Adaptive Parameters with Mathematical and Engineering Applications.

28. Luo, Z., & Zuo, Q. (2019). Evaluating the coordinated development of social economy, water, and ecology in a heavily disturbed basin based on the distributed hydrology model and the harmony theory. *Journal of Hydrology*, 574(100), 226–241. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.042>
29. Ministerio de Educación de la República de Cuba. (2020). Cuba Educa. <http://www.cubaeduca.cu/>
30. MinTIC. (2020). El futuro digital de todos MinTIC. <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Iniciativas/Otras-iniciativas/Vive-Digital/>
31. Montes, E., & Romero, A. (2011). Optimización de la eficiencia y justicia espacial de los planteles educativos al Noreste del municipio de Maracaibo, Venezuela. *Geografía y Sistema de Información Geográfica (GEOSIG)*, 3(December 2011), 262–276.
32. Montoya, A., Vélez-Gallego, M. C., & Villegas, J. G. (2016). Multi-product capacitated facility location problem with general production and building costs. 52, 47–70. <https://doi.org/10.1007/s11066-016-9102-6>
33. Muñoz Ávila, P. (2016). Construcción de ciudadanía digital: un reto para la Educación. *Suplemento Signos EAD*, 0(0).
34. Neidhardt, J., Worndl, W. (2020). Information and Communication Technologies in Tourism. In Springer (Vol. 28, Issue 4). [https://doi.org/10.1016/s0160-7383\(01\)00012-3](https://doi.org/10.1016/s0160-7383(01)00012-3)
35. Noghin, V. D. (2018). Reduction of the Pareto Set (Vol. 126). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-67873-3>
36. Olarte, S. (2017). Brecha digital, pobreza y exclusión social. *Temas Laborales: Revista Andaluza de Trabajo y Bienestar Social*, ISSN 0213-0750, N° 138, 2017 (Ejemplar Dedicado a: Impacto de Las Tecnologías de La Información y Las Comunicaciones Sobre Las Relaciones Laborales), Págs. 285-313, 138(138), 285–313. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6552396>

37. Parvizi, M., Shadkam, E., & Jahani, N. (2015). A Hybrid COA/ ϵ -Constraint Method for Solving Multi-Objective Problems. *International Journal in Foundations of Computer Science & Technology*, 5(5), 27–40. <https://doi.org/10.5121/ijfcst.2015.5503>
38. Prendes-Espinosa, M.-P., García-Tudela, P.-A., & Solano-Fernández, I.-M. (2020). Gender equality and ICT in the context of formal education: A systematic review. *Comunicar*, 28(63). <https://doi.org/10.3916/c63-2020-01>
39. Schumacher, A., & Vietor, T. (2018). Advances in Structural and Multidisciplinary Optimization. In *Advances in Structural and Multidisciplinary Optimization*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-67988-4>
40. Silva, F., & Serra, D. (2016). Locating emergency services with different priorities: The priority queuing covering location problem. *Journal of the Operational Research Society*, 59(9), 1229–1238. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602473>
41. Sunkel, G., Trucco, D., & Espejo, A. (2013). Una mirada multidimensional. 167.
42. UNESCO. (2020). Description of research activities. <http://www.unesco.org/new/es/unesco/themes/icts/m4ed/unesco-mobile-learning-week-2014/research-track/>
43. Zhu, Z., Gao, Z., Zheng, J., & Du, H. (2018). Charging Station Planning for Plug-In Electric Vehicles. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 27(1), 24–45. <https://doi.org/10.1007/s11518-017-5352-6>

DATOS DE LOS AUTORES.

1. **Yair Romero-Romero.** Doctor en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Investigador del de Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado Jalisco A.C. (CIATEJ). Candidato a Investigador Nacional por el CONAHCYT. México. Correo electrónico: yromero@ciatej.mx

2. **Loecelia Ruvalcaba-Sánchez.** Doctora en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Investigadora del Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Investigadora Nacional Nivel I por el CONAHCYT. México. Correo electrónico: lruvalcaba@centrogeo.edu.mx
3. **Fabiola Sánchez-Galván.** Doctora en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Profesora Investigadora del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (ITSTA). Investigadora Nacional Nivel I por el CONAHCYT. México. Correo electrónico: fabiola.sanchez@itsta.edu.mx
4. **Horacio Bautista-Santos.** Doctor en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro. Profesor Investigador del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca (ITSTA) / Instituto Tecnológico Superior de Chicontepec (ITSCHI). Investigador Nacional Nivel I por el CONAHCYT. México. Correo electrónico: horacio.bautista@itsta.edu.mx Autor de correspondencia.

RECIBIDO: 28 de septiembre del 2024.

APROBADO: 5 de noviembre del 2024.