

Enruta tu ruta: Actividad lúdica para la enseñanza del Problema de Enrutamiento de Vehículos Considerando Restricciones de Capacidad - CVRP¹

Route your route: Playful activity for teaching of Capacitated Vehicle Routing Problem - CVRP

Héctor Orlando Tarazona Galán², Jacqueline Neira Parra³

Artículo recibido en noviembre 23 de 2020; artículo aceptado en julio 13 de 2021

Este artículo puede compartirse bajo la [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](#) y se referencia usando el siguiente formato: Tarazona Galán, H.O.& Neira Parra, J. (2022). Enruta tu ruta: Actividad lúdica para la enseñanza del Problema de Enrutamiento de Vehículos Considerando Restricciones de Capacidad - CVRP. *I+D Revista de Investigaciones*, 17(1), 108-123.

Resumen

En las empresas el proceso de transporte implica todas las etapas de producción y distribución de productos a clientes con ubicaciones dispersas geográficamente que impactan directamente en el costo de la operación y de los productos, abordándose problemas de enrutamiento de vehículos (VRP) que minimicen los costos de transporte. De acuerdo con lo anterior, se crea la actividad lúdica “Enruta tu ruta” como herramienta de aprendizaje, para dar a conocer y entender la resolución de problemas de ruteo. Para su desarrollo se siguieron tres fases, la primera es Aprendizaje, en donde se revisa el modelo matemático del problema; la segunda consiste en la Ejecución, que comprende los aspectos que intervienen en el desarrollo de la actividad lúdica y finaliza con el análisis y discusión en donde se obtiene retroalimentación de los participantes. Los resultados permiten comprobar la pertinencia y aceptación de la lúdica como herramienta de aprendizaje que promueve la apropiación de los factores que intervienen en la gestión logística de la distribución como ruteo, asignación de recursos, toma de decisiones, entre otros.

Palabras clave: Enseñanza, gestión logística, lúdica, CVRP.

Abstract

In companies, the transportation process involves all stages of production and distribution of products to customers with geographically dispersed locations that directly impact the cost of the operation and products, addressing vehicle routing problems (VRP) that minimize costs of transport. In accordance with the above, the playful activity "Route your route" is created as a learning tool, to publicize and understand the resolution of routing problems. For its development three phases were followed, the first is Learning, where the mathematical model of the problem is reviewed; the second consists of the Execution, which includes the aspects that intervene in the development of the

¹ Artículo de investigación con enfoque mixto, resultado de un proyecto de investigación, titulado “Contribución del aprendizaje significativo y los espacios de aprendizaje activo para el desarrollo de competencias profesionales de los estudiantes de Tecnología en Logística Cali.”, perteneciente al área de Ciencias sociales, subárea de educación, desarrollado en el grupo de investigación GICIDET, financiado por la Corporación Universitaria Minuto de Dios (Cali, Colombia). Dirección: Carrera 25 No 2 - 01, PBX: (2) 5545554. Fecha de inicio: agosto de 2019.

² Ingeniero Agroindustrial. MEd. en Prácticas Pedagógicas. Grupo de Investigación (GICIDET), Docente de la Corporación Universitaria Minuto de Dios (Cali, Colombia) Dirección: Carrera 25 No 2 - 01, PBX: (2) 5545554. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7838-7282>. Correo electrónico institucional: htarazonaga@uniminuto.edu.co.

³ Ingeniera de Sistemas. MEd. en Educación y Nuevas Tecnologías. Grupo de Investigación (GICIDET), Docente de la Corporación Universitaria Minuto de Dios (Cali, Colombia). Dirección: Carrera 25 No 2 - 01, PBX: (2) 5545554. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3058-4540>. Correo electrónico institucional: jneiraparra@uniminuto.edu.co.

playful activity and ends with the analysis and discussion where feedback is obtained from the participants. The results allow us to verify the relevance and acceptance of play as a learning tool that promotes the appropriation of the factors that intervene in the logistics management of distribution such as routing, resource allocation, decision-making, among others.

Keywords: Teaching, Logistics management, playful, CVRP.

Introducción

Bermeo Muñoz & Calderón Sotero (2009) afirman que “el sistema de transporte es el componente más importante para la mayoría de las organizaciones, debido a que el éxito de una cadena de abastecimiento está estrechamente relacionado con su diseño y uso adecuados” (p. 37).

Por su parte, Lozada Díaz & Cadena González (2012), reportan que las actividades relacionadas con procesos de distribución en donde se presentan problemas de enrutamiento de vehículos (VRP) como es el caso del transporte escolar, el servicio de ambulancias, recolección de mercancías o basuras, entre otras, son problemas del tipo no polinomial complejo (NP-Hard) que para solucionarlos se emplean técnicas de optimización (p. 33).

Asimismo, la toma de decisiones en las actividades como administrar personas, vehículos, tiempo, entre otras, que se desarrollan al interior de una empresa en función de la planeación y control de la distribución tiende a ser intuitivas, sin el uso de métodos cuantitativos, que impactan en la rentabilidad y la competitividad (Sepúlveda et al., 2014).

El planteamiento del problema de un VRP, contempla la existencia de un centro de distribución principal con una flota de vehículos y un grupo de ciudades o clientes dispersos geográficamente, en el que se visita cada cliente una sola vez y con un solo vehículo que presenta una capacidad limitada, en busca de un conjunto de rutas para la distribución a un costo mínimo (Arias Hernández, 2015).

El VRP, es de carácter de optimización con limitaciones de capacidad y flota, que de acuerdo con Lenstra & Aarts, en el 2003, se han abordado diversos métodos, clasificados como algoritmos “exactos” o “de optimización” (Álvarez Hernández, 2017).

Este trabajo describe una actividad lúdica en relación a varios clientes de diferentes sectores en una misma ciudad, que deben ser atendidos por un operador logístico basados en su demanda de estudiantes para ser llevados a un cliente final (colegio) regresando a su punto de partida. El estudio consiste en analizar cuántas rutas se necesitan con el fin de atender a todos los clientes y cómo se construyen las rutas que permiten dicha recolección de estudiantes para finalmente optimizar las mismas rutas como propuesta de un nuevo plan de ruta para los

vehículos (buses), teniendo en cuenta las restricciones de capacidad de ocupación desarrollado mediante el método de CVRP.

La didáctica de acuerdo con Carvajal (2009) se ha utilizado como herramienta educativa que permite orientar la estrategia pedagógica desde la adquisición de saberes, mediante instrumentos teóricos y prácticos, que contribuyen a los procesos de enseñanza y de aprendizaje para una formación integral del estudiante.

En esta línea, Imitola Yépez & Garnica Tarazona (2018) manifiestan que estrategias como la lúdica “fomenta el desarrollo psicosocial, la adquisición de saberes, la conformación de la personalidad, es decir, encierra una gama de actividades donde se cruzan el placer, el goce, la actividad creativa y el conocimiento” (p.25).

Las estrategias didácticas de acuerdo con Carvajal (2009) “son prácticas que se relacionan con los contenidos de aprendizaje y ponen en juego las habilidades, conocimientos y destrezas de los estudiantes” (p. 10). Sin embargo, Carvajal, (2009) plantea que para utilizar las estrategias se debe planear y definir cuándo deben ser utilizadas, considerando el grupo de estudiantes o e individuos que participan.

Igualmente, Carvajal (2009) manifiesta que la didáctica es planteada por los docentes como una estrategia de aprendizaje que faciliten los procesos de observación, análisis, opinión, reflexión y búsqueda de soluciones, que permita a los estudiantes descubrir el conocimiento por sí mismos (p. 10).

Por tanto, la actividad lúdica “Enruta tu ruta” presentada en este artículo, es usada en el proceso de enseñanza – aprendizaje como lo plantean Bermeo Muñoz & Calderón Sotero (2009), con el propósito de promover el uso de estrategias didácticas orientadas a la optimización de procesos y operaciones en problemas complejos como, la asignación de vehículos en una ruta escolar (p.54).

Marco referencial

De acuerdo con Lozada Díaz & Cadena González (2012) en “los Problemas de Ruteo de Vehículos o VRP (*Vehicle Routing Problems*) se modela la actividad de distribución de bienes y servicios entre depósitos o centros de distribución, a usuarios o clientes finales” (p.33).

El campo de aplicación del (VRP) es muy amplio, que varía de acuerdo a las necesidades del problema, generando que el VRP presente distintos enfoques y atributos que crean nuevos tipos o clases de este problema de enrutamiento, accediendo a una mejor búsqueda de las soluciones más precisas a las

restricciones planteadas a un problema específico (Arias Hernández, 2015).

En la Tabla 1 se relacionan los tipos de VRP clásicos utilizados, y en la Figura 1 se puede observar la interconexión que existe entre los problemas de ruteo clásicos de VRP.

Tabla 1
Tipos de VRP clásicos

Sigla	Nombre	Particularidad
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem	Es aquel en donde el vehículo presenta una capacidad limitada de carga o transporte que no debe ser superada.
DCVRP	Distance Constrained Vehicle Routing Problem	VRP con limitación en la distancia total recorrida o en el número de clientes visitados.
VRPB	Vehicle Routing Problem with Backhauls	Existen puntos de entrega desde y hacia el almacén. No se permite la recolección del cliente hacia el almacén, hasta no finalizar las entregas.
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows	Cada cliente presenta una (o varias) ventanas horarias de reparto o entrega. El depósito también tiene un horario de disponibilidad.
VRPPD	Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery	Es aquel donde cabe la posibilidad de entrega y recogida, como la devolución de bienes por parte de los clientes. Se debe considerar la capacidad de los vehículos para las acciones mencionadas.
VRPBTW	Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows	Mismas características de la versión general, pero existen intervalos de tiempo definidos dentro de los cuales el cliente debe ser atendido.
VRPPDTW	Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery and Time Windows	Es aquel donde se contempla entrega y recogida, pero existen intervalos de tiempo definidos dentro de los cuales el cliente debe ser atendido.

Fuente: Adaptado de Toth & Vigo (2002), Yepes Piqueras (2002), Restrepo et al. (2008), Rodríguez Pérez,(2012) y Arias Hernández (2015).

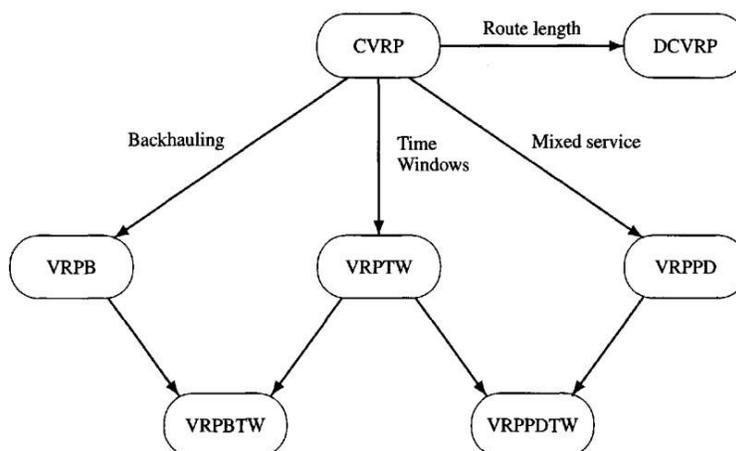


Figura 1. Los problemas clásicos de VRP clásicos y sus interconexiones. Fuente: Tomado de Toth & Vigo, (2002).

Una actualización basada en la investigación realizada por Sepúlveda et al., (2014), se encontró que a través de la base de datos Scopus utilizando la palabra clave “Vehicle Routing” entre los años 1971 y 2020 se encontró un total de 10904 documentos, en comparación con los 5301 artículos reportados entre 1971 y 2013. En la Figura 2 puede observarse las publicaciones de las últimas dos décadas en este campo del conocimiento con un incremento exponencial.

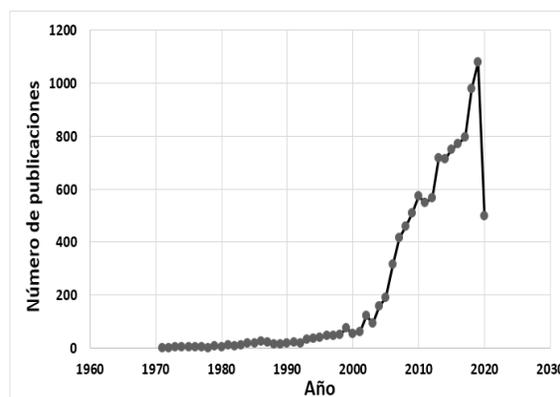


Figura 2. Publicación por año en la base de datos Scopus para la palabra clave “Vehicle Routing”. Fuente: Autores.

La relación de documentos encontrados para el proceso de enseñanza sobre el VRP son muy pocos en relación a las publicaciones disponibles en la literatura disponible sobre VRP. En la Figura 3 utilizando las palabras clave “*Vehicle Routing*” y “*teaching*” dentro de una misma ecuación de búsqueda, realizada a través la base de datos *Scopus*, se puede observar que entre los años 1988 y 2019 se encontró un total de 19 documentos.

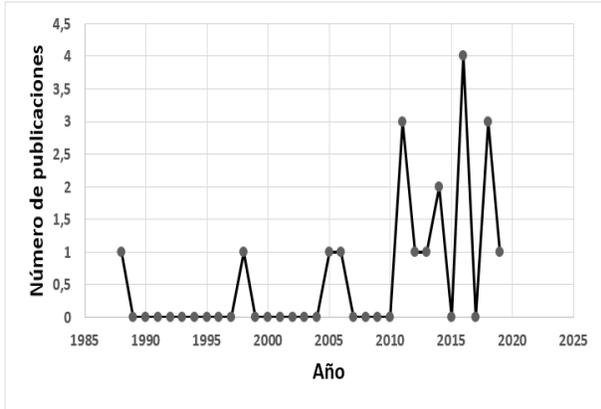


Figura 3. Publicación por año para las palabras clave “*Vehicle Routing*” y “*teaching*” dentro de la misma ecuación de búsqueda. Fuente: Autores.

De acuerdo con Álvarez Hernández (2017), el VRP, es un problema clásico de optimización que presenta un operador logístico, clientes con una cierta demanda de productos, flota de vehículo disponible con una capacidad de transporte, planeación de entregas y recolección de productos a los clientes, reducción del costo de distribución, distancia recorrida, tiempo y número de vehículos utilizados considerando ciertas restricciones operacionales.

García (2010) plantea que una buena planeación de los procesos de distribución de acuerdo con aplicaciones del

mundo real, muestran un ahorro del 5% al 20% en el costo global del proceso de transporte, que a su vez representan del 10% al 20% del costo final de los bienes.

Grasas & Ramalinho (2016), exponen que resolver un VRP de manera óptima, incluso en su versión más simple, se vuelve muy complejo ya que el tamaño del problema aumenta. Dado que los métodos exactos solo pueden manejar hasta 50 o 75 clientes, se debe recurrir a enfoques heurísticos para problemas relativamente grandes. Una heurística es un método computacional diseñado para resolver grandes problemas de optimización, como el VRP, que se sabe que es muy complicado de resolver de manera óptima.

Una solución factible a problemas de enrutamiento se da por medio del uso de métodos heurísticos sin asegurar que la solución obtenida sea la óptima. Una forma de resolver problemas de VRP es usando la heurística planteada por Clarke and Wright, que dependen del tipo de problema y variables involucradas (Álvarez Hernández, 2017).

El método de los ahorros de Clarke-Wright utilizado para problemas de ruteo, es considerado lo suficientemente flexible, ya que puede manejar un gran número de restricciones prácticas al momento de formar rutas y ordenar las paradas en las rutas simultáneamente, relativamente rápido al calcularse en una computadora generando soluciones que están cerca de lo óptimo (Ballou, 2004).

De acuerdo con Ballou (2004) el método de ahorros de Clarke-Wright, busca “minimizar la distancia total viajada por todos los vehículos y minimizar indirectamente el número de vehículos necesarios para atender todas las paradas” (p.23), y en la Figura 4 puede observarse la lógica del método.

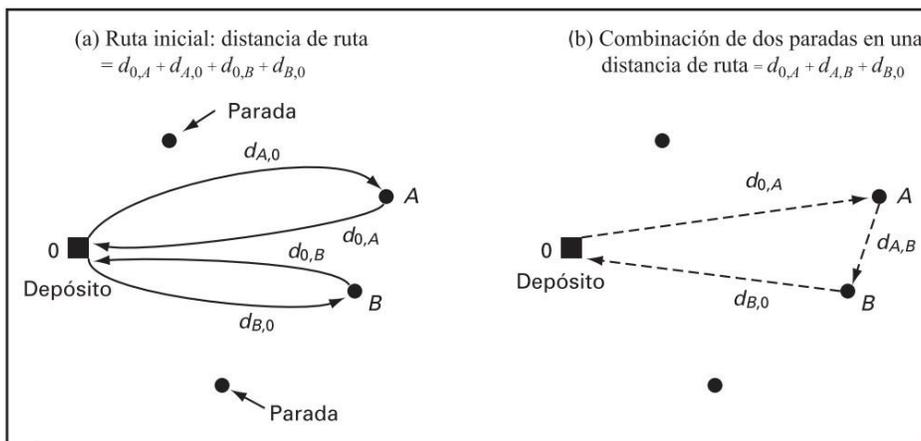


Figura 4. Distancia reducida de viaje mediante consolidación de paradas en una ruta. Fuente: Tomado de Ballou (2004).

Lozada Díaz & Cadena González (2012) mencionan que en los problemas VRP “(...) se debe encontrar los recorridos de los vehículos de tal manera que se minimice

la distancia y se satisfaga la demanda de los clientes cumpliendo con las restricciones planteadas” (p. 53), así, por ejemplo, en los problemas de CVRP se debe

contemplar no exceder la capacidad de los vehículos utilizados en una operación logística.

El encuentro realizado en la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, presentado por Dávila Vélez, (2013), plantea que el CVRP es una variación del VRP que consiste en encontrar una serie de rutas que satisfagan la demanda de una determinada cantidad de n clientes distribuidos en una zona geográfica, siendo este tipo de problema considerados como un problema *NP-Hard* que para su solución consume altos tiempos computacionales, por lo que distintos autores han propuesto la utilización de métodos heurísticos que generen soluciones cercanas a la óptima.

Una solución factible para una variación del problema de VRP usando el mínimo número de vehículos fue planteado por Campos et al., (2008) mediante un algoritmo basado en la metodología de búsqueda dispersa. Salas Reques, (2012), propone que lo anterior se puede obtener desarrollando la ecuación (1) mostrada más adelante, definiendo m como el número de vehículos a utilizarse en el problema.

Metodología

En la actividad lúdica “Enruta tu ruta”, diseñada para el tema de ruteo, se busca llevar a los participantes a un contexto real, en el que tendrán que simular el proceso de transporte de una ruta escolar ofrecido por un operador logístico (empresa) que opera dentro de una ciudad haciendo uso de sus propios buses, en la cual el gerente de la empresa ha decidido optimizar su proceso de transporte y por este motivo ha delegado la siguiente tarea: Determinar la forma y el número de buses que debe usarse para realizar una recolección de pasajeros (estudiantes) en diez clientes ubicados en diferentes puntos de una ciudad, que a su vez deben ser entregados en un cliente final 11 (Colegio), para el posterior retorno del bus a las instalaciones de la empresa.

Apoyado en los argumentos de Grasas & Ramalhinho, (2016), un VRP de 10 clientes es un problema de tamaño razonable considerando que los participantes de la actividad lúdica lo resolverán probablemente de forma manual. Sin embargo, no es ni demasiado pequeño para encontrar una solución óptima fácilmente, ni demasiado complicado para encontrar una solución casi óptima.

La actividad lúdica contiene las direcciones (coordenadas “X y Y”) de cada cliente, como su demanda y la capacidad de ocupación de los buses. El objetivo del ejercicio es diseñar las rutas de recolección de pasajeros (estudiantes) de los clientes tratando de minimizar el costo total y sin violar las limitaciones de capacidad de ocupación de los buses.

Al igual que el método del ahorro propuesto por de Clarke-Wright, se supone que la función de costo es

proporcional a la distancia recorrida por todos los buses. Por lo tanto, los costos fijos de la utilización de un bus no se tienen en cuenta para que los participantes de la actividad lúdica puedan centrarse estrictamente en la minimización de las distancias teniendo en cuenta la restricción de capacidad de ocupación de los buses. Los equipos conformados competirán entre sí para ver qué grupo puede obtener los mejores resultados.

A continuación, se describen las fases realizadas para el desarrollo de esta actividad lúdica basada en un problema de enrutamiento de vehículos considerando restricción de capacidad - CVRP.

Fase I: Aprendizaje

El modelo matemático del problema CVRP plantea que cada bus inicie y finalice su recorrido en la empresa que presta el servicio de ruta escolar, identificada con el nodo 0 (cero), cada cliente debe ser atendido una única vez por un solo bus, y la demanda de cada cliente no puede ser dividida entre buses y rutas, por lo tanto, la demanda de un cliente es transportada completamente por el vehículo que lo visita (Castañeda Jimenez & Cardona Arias, 2014).

Antes de iniciar cualquier proceso de CVRP, es necesario que cada uno de los componentes del modelo matemático para recolección de los estudiantes por los vehículos (buses), sea comprendido por todos los participantes.

Los parámetros y la formulación matemática del problema CVRP planteados por Castañeda Jimenez & Cardona Arias, (2014), fueron ajustados para el caso de la actividad lúdica “Enruta tu ruta”, como se muestra a continuación en las siguientes restricciones (nR):

d = Demanda en el nodo (N° de personas a recoger)

P_k = Capacidad del recurso (buses)

m = El numero de buses necesarios (≥ 0 , entero)

n = El numero de clientes (nodos)

D = Demanda máxima que satisface un vehículo

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{si el arco}(i, j) \text{ es usado en} \\ & \text{la solución para ser visitado} \\ & \text{por } k, \text{ de lo contrario, } 0 \end{cases} \quad (1R)$$

Minimizar la sumatoria de todos los arcos (i, j) visitados por k :

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m C_{ij} x_{ijk} ; i \neq j \quad (2R)$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n X_{0jk} = m ; m \geq 0 \quad (3R)$$

La restricción (3) indica que de la empresa no está permitida la salida de m vehículos de los que se tienen asignados.

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n X_{ijk} = 1 ; \forall i \in [1, n] \quad (4R)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{0jk} = \sum_{l=1}^n X_{0lK} ; \forall k \in [1, m] \quad (5R)$$

Las restricciones (4) y (5) garantiza que solo un bus visite y abandone cada cliente.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_i X_{iJK} \leq P_k ; \forall k \in [1, m] \quad (6R)$$

La restricción (6) determina que la demanda total de los nodos visitados por un bus, no puede superar la capacidad máxima del vehículo P_k .

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in D} X_{ijk} \leq |D| - 1, \forall D \subseteq (V - \{0\}),$$

$$|D| \geq 2, K \in (1, m), \forall (i, j) \in \{1, n\} \quad (7R)$$

La restricción (7) establece la inexistencia de sub-tours.

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i, j) \in A ; \forall k \in [1, m] \quad (8R)$$

$$1 \leq k \leq m \quad (9R)$$

Las restricciones (8) y (9) indican los valores admisibles para las variables.

Fase II: Ejecución

Comprendidos los aspectos que intervienen en el desarrollo de la actividad lúdica, los pasos para la solución se realizan de manera secuencial, los cuales son:

- **Paso Uno. Localización.** Realizar la localización de cada cliente, la empresa y el colegio en el plano de acuerdo a los valores de las coordenadas de los vértices X y Y del tablero.

Las coordenadas son seleccionadas al azar mediante el lanzamiento de un dodecaedro con los números del (0) cero al (9) nueve ubicados en sus caras. Lo anterior se realiza para cada cliente, la empresa y el colegio. La localización de los clientes, el colegio y la empresa se realiza en un tablero con coordenadas (x, y) como se observa en el formato de la Figura 5.

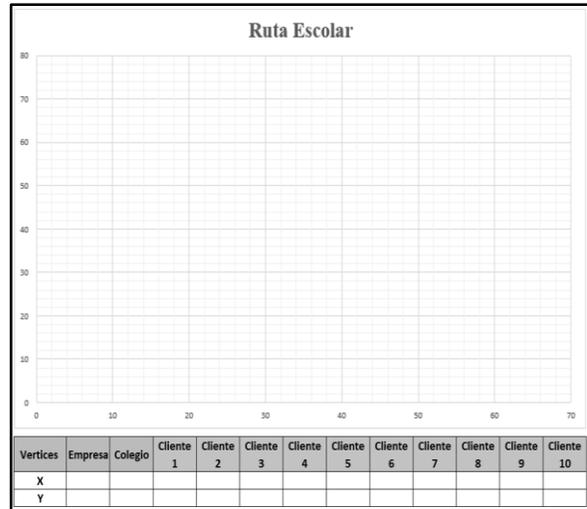


Figura 5. Tablero de localización de los clientes, el colegio y la empresa. Fuente: Autores.

- **Paso Dos. Cálculo de número teórico de buses.** Determinar el número teórico de vehículos (buses), teniendo en cuenta la demanda total de los clientes y la capacidad de ocupación máxima por bus (ver ecuación 1).

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{C} \quad (1)$$

La demanda se determina mediante el lanzamiento de un dado con los números del (3) tres al (seis) con particularidad que el número tres y cuatro se encuentran en dos de las seis caras cada uno. La demanda se debe consignar en el formato de la Figura 6.

	Empresa	Colegio	Clientes									
Vertices	0	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Demanda	0	0										

Figura 6. Formato determinación de la demanda. Fuente: Autores.

- **Paso tres. Cálculo de las distancias.** Determinar la distancia (ver ecuación 2) que existe desde el punto de origen (empresa) hasta cada cliente.

$$distancia(p) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2)$$

- **Paso Cuatro. Cálculo de los ahorros.** calcular S_{ij} para cada par de nodos i y j , ordenando de forma descendente los ahorros (ver ecuación 3).

$$S_{ij} = p_{0,i} + p_{0,j} - p_{i,j} \quad (3)$$

Los resultados del cálculo de los ahorros S_{ij} deben ser incluidos en el formato cálculo de las distancias (ver Figura 7).

escala Likert de 1 a 5, con 8 preguntas de carácter cuantitativo; Para ello, se les pide a los participantes manifestar su grado de acuerdo o desacuerdo con una serie de enunciados. Igualmente, tres preguntas abiertas de carácter cualitativo. Todo lo anterior permite estimar el grado de aceptación y el impacto generado por la lúdica en los participantes.

Tipo de estudio

La presente investigación es de tipo descriptivo, con enfoque mixto experimental, cuyo objetivo es generar una herramienta pedagógica de tipo lúdico, que servirá de apoyo al desarrollo de las clases del componente profesional del programa de tecnología en logística, y que permita evaluar el impacto generado por parte de esta en profesores y estudiantes de primero, cuarto y quinto semestre. La interacción de la lúdica con estudiantes y profesores se realiza iniciando y finalizando semestre con el fin de evaluar el desarrollo de las competencias del componente profesional del programa.

Participantes

El participante debe ser un estudiante de programas de tecnología o ingeniería, con conocimientos básicos en el manejo de la herramienta de Excel y de problemas de optimización, lo que garantiza un manejo y entendimiento de fundamentos de matemática presentes en la lúdica.

El uso del juego de roles dentro de cada grupo de trabajo es necesario para el correcto desarrollo de la actividad didáctica. La asignación de los roles se realiza mediante el uso de escarapelas por cada uno de los integrantes del grupo. Los roles a desempeñar son:

- **Líder del proceso:** Persona encargada identificar la localización de los clientes y determinar la demanda que existente en cada nodo. Igualmente, se encarga de verificar que se estén cumpliendo las reglas del juego y que cada rol se desarrolle acorde al mismo. Es la única persona que puede servir de apoyo a cualquiera de los otros roles.
- **Ingeniero 1 y 2:** Personas encargadas de determinar el número de buses que se necesitan por ruta y su optimización.
- **Conductor:** Personas encargadas de realizar la localización de todos los nodos en el tablero de

juego. Únicamente apoya a los ingenieros en la determinación de la distancia existente entre nodos.

Los conductores son los únicos jugadores que interactúan con el tablero durante toda la actividad lúdica.

Materiales e instrumentos

Para el desarrollo de la actividad se requiere un lugar similar a un salón de clases con sillas mínimo para veinte personas, con un área libre de 20 m²; pizarra blanca con un marcador; cuatro mesas de unas dimensiones mayores de 200 x 100 cm. Igualmente, se requiere de los siguientes materiales por cada grupo:

- 4 tableros. Corcho con tela impresa con coordenadas verticales y horizontales, enmarcado.
- Computador portátil con acceso a la herramienta de Excel.
- 80 chinchos de colores o tachuelas para papel (20 por grupo).
- 20 cordones de Nylon de colores (cinco por grupo).
- Marcadores
- 4 flexómetros (uno por grupo).
- 4 calculadoras
- Formatos de la lúdica en papel plastificado: (4) formato de cálculo de distancias; (4) formato determinación de las rutas; (16) formato ruta óptima; (4) formato de eficiencia.
- 4 dados de 10 lados (Dodecaedros).

Resultados de la evaluación de la actividad lúdica

La lúdica se desarrolló de dos formas, “Diseño uno” de forma manual y “diseño 2” con ayuda de la herramienta de Excel, con el fin de realizar una comparación de las dos experiencias por parte de los grupos.

Cada grupo basado en la explicación que se da por parte de los orientadores de la actividad lúdica, comienzan a analizar la gestión logística del transporte de la empresa que presta el servicio de ruta escolar, donde toda la información es encontrada mediante el lanzamiento de los dados: el dodecaedro para las coordenadas de todos los nodos y el otro para determinar la demanda por cliente. Este proceso en promedio tomo 15 min por grupo de trabajo.

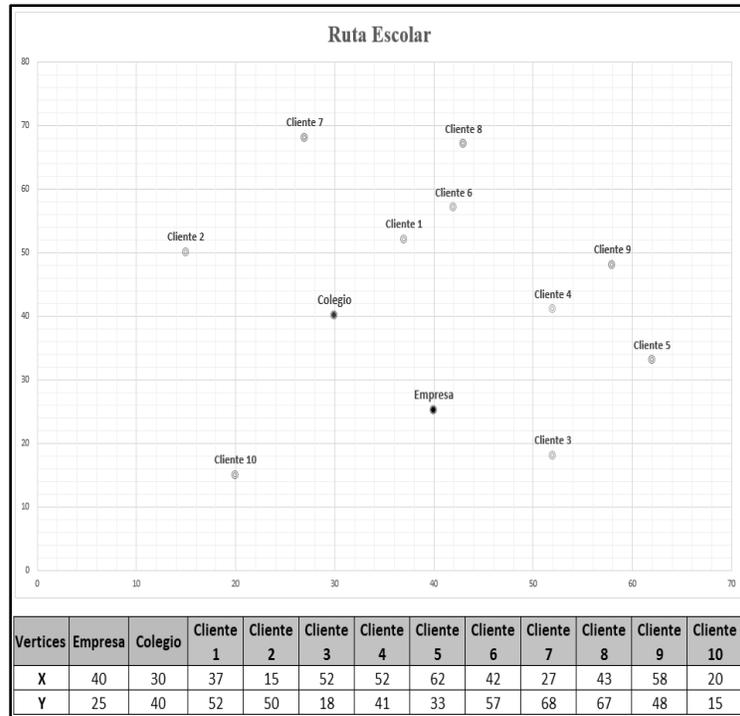


Figura 11. Tablero con clientes y punto de partida localizados. Fuente: Autores.

Con el lanzamiento de los dados se logró definir la ubicación de cada nodo y las demandas de los clientes como se observa en las Figuras 11 y 12 respectivamente,

por parte del líder del proceso y posterior ubicación en el tablero por el conductor.

	Empresa	Colegio	Clientes									
Vertices	0	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Demanda	0	0	3	4	5	6	4	4	4	3	4	3

Figura 12. Demanda determinada. Fuente: Autores.

Hasta este punto del desarrollo de la actividad lúdica, para ambos diseños se comparte el mismo procedimiento.

Conocida la información de localización y demanda de cada nodo, los ingenieros de cada grupo entran en acción para completar el formato del cálculo de las distancias como se observa en la Figura 13.

Cálculo de la Distancia												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0	27,2	35,4	13,9	20	23,4	32,1	44,9	42,1	29,2	22,4	18
1	27,2	0	22,1	37,2	18,6	31,4	7,07	18,9	16,2	21,4	40,7	13,9
2	35,4	22,1	0	48,9	38,1	50	27,9	21,6	32,8	43	35,4	18
3	13,9	37,2	48,9	0	23	18	40,3	55,9	49,8	30,6	32,1	31,1
4	20	18,6	38,1	23	0	12,8	18,9	36,8	27,5	9,22	41,2	22
5	23,4	31,4	50	18	12,8	0	31,2	49,5	38,9	15,5	45,7	32,8
6	32,1	7,07	27,9	40,3	18,9	31,2	0	18,6	10,0	18,4	47,4	20,8
7	44,9	18,9	21,6	55,9	36,8	49,5	18,6	0	16,0	36,9	53,5	28,2
8	42,1	16,2	32,8	49,8	27,5	38,9	10	16	0,0	24,2	56,9	30
9	29,2	21,4	43	30,6	9,22	15,5	18,4	36,9	24,2	0	50,3	29,1
10	22,4	40,7	35,4	32,1	41,2	45,7	47,4	53,5	56,9	50,3	0	32
11	18	13,9	18	31,1	22	32,8	20,8	28,2	30,0	29,1	32	0

Figura 13. Matriz de cálculo de distancias resuelta. Fuente: Autores.

Al utilizar cada grupo la fórmula de los ahorros, entre cada uno de los clientes y ordenarlos del mayor al menor ahorro nos quedan los datos de la Figura 14.

Origen	Clientes					Distancia				Demanda					Puestos		Condición
	i*	i	j	k	l	0-i	0-j	i-j	Total	i*	i	j	k	l	Ocupado	* Ocupar	
0	6	7	8	1	11	44,9	42,1	16	71,0	4	4	3	3	0	14	FULL	Ruta cerrada
0	4	2	9		11	35,4	29,2	43	43,0	6	4	4		0	14	FULL	Ruta cerrada
0	10	3	5		11	13,9	23,4	18	28,3	3	5	4		0	12	2	Optimizar

Figura 14. Rutas determinadas con base en la capacidad de ocupación. Fuente: Autores.

Se identificó que en esta etapa de la lúdica (ver Figura 14) existe la mayor dificultad y problemas para la selección de la ruta, por la complejidad heurística del método del ahorro. Sin embargo, todos los grupos identificaron que existen 3 rutas para el problema planteado.

El formato de ruta optima (ver Figuras 15,16 y 17) es utilizado para determinan cual combinación de los nodos

de las rutas, es la que genera el mayor ahorro tenido en cuenta la restricción de capacidad de ocupación.

La ruta 1, conformada por los nodos 0-6-7-8-1-11-0 es la que genera mayor ahorro, seguida de la ruta 2 conformada por los nodos 0-4-2-9-11-0 y por último la ruta 3, con los nodos 0-10-3-5-11-0.

RUTA 1														
n=		4		Factorial (n!) =		24		Combinación de Ruta Seleccionada						
Combinación	A	B	C	D	E	F	G	AB	BC	CD	DE	EF	FG	TOTAL DISTANCIA
1	0	1	6	8	7	11	0	27,17	7,07	10,05	16,03	28,16	18,03	106,51
2	0	6	8	7	1	11	0	32,06	10,05	16,03	18,87	13,89	18,03	108,93
3	0	7	8	6	1	11	0	44,92	16,03	10,05	7,07	13,89	18,03	109,99
4	0	1	7	8	6	11	0	27,17	18,87	16,03	10,05	20,81	18,03	110,95
5	0	6	7	8	1	11	0	32,06	18,60	16,03	16,16	13,89	18,03	114,77
6	0	8	7	6	1	11	0	42,11	16,03	18,60	7,07	13,89	18,03	115,73
7	0	1	8	7	6	11	0	27,17	16,16	16,03	18,60	20,81	18,03	116,79
8	0	1	6	7	8	11	0	27,17	7,07	18,60	16,03	29,97	18,03	116,86
9	0	6	1	8	7	11	0	32,06	7,07	16,16	16,03	28,16	18,03	117,51
10	0	1	8	6	7	11	0	27,17	16,16	10,05	18,60	28,16	18,03	118,16
11	0	8	6	7	1	11	0	42,11	10,05	18,60	18,87	13,89	18,03	121,55
12	0	7	6	8	1	11	0	44,92	18,60	10,05	16,16	13,89	18,03	121,65
13	0	6	1	7	8	11	0	32,06	7,07	18,87	16,03	29,97	18,03	122,03
14	0	1	7	6	8	11	0	27,17	18,87	18,60	10,05	29,97	18,03	122,68
15	0	8	7	1	6	11	0	42,11	16,03	18,87	7,07	20,81	18,03	122,91
16	0	7	8	1	6	11	0	44,92	16,03	16,16	7,07	20,81	18,03	123,02
17	0	6	8	1	7	11	0	32,06	10,05	16,16	18,87	28,16	18,03	123,32
18	0	8	6	1	7	11	0	42,11	10,05	7,07	18,87	28,16	18,03	124,28
19	0	7	1	8	6	11	0	44,92	18,87	16,16	10,05	20,81	18,03	128,83
20	0	7	1	6	8	11	0	44,92	18,87	7,07	10,05	29,97	18,03	128,91
21	0	8	1	6	7	11	0	42,11	16,16	7,07	18,60	28,16	18,03	130,12
22	0	6	7	1	8	11	0	32,06	18,60	18,87	16,16	29,97	18,03	133,68
23	0	8	1	7	6	11	0	42,11	16,16	18,87	18,60	20,81	18,03	134,57
24	0	7	6	1	8	11	0	44,92	18,60	7,07	16,16	29,97	18,03	134,74

Figura 15. Formato Optimización rutas. Fuente: Autores.

En esta etapa también se generó un grado de dificultad por el concepto de optimizar, basados en el número de nodos de cada ruta sin contemplar los nodos de la

empresa y el colegio, en el cual el proceso es acompañado por la determinación del valor factorial de cada ruta.

RUTA 2													
n= 3		Factorial (n!) = 6		Combinación de Ruta Seleccionada									
Combinación	A	B	C	D	E	F	G	AB	BC	CD	DE	EF	TOTAL DISTANCIA
1	0	4	9	2	11	0		20,00	9,22	43,05	18,03	18,03	108,32
2	0	9	4	2	11	0		29,21	9,22	38,08	18,03	18,03	112,56
3	0	2	9	4	11	0		35,36	43,05	9,22	22,02	18,03	127,67
4	0	2	4	9	11	0		35,36	38,08	9,22	29,12	18,03	129,80
5	0	4	2	9	11	0		20,00	38,08	43,05	29,12	18,03	148,27
6	0	9	2	4	11	0		29,21	43,05	38,08	22,02	18,03	150,38

Figura 16. Formato determinación de las rutas. Fuente: Autores.

La ruta 1 tiene 4 clientes que atender, por lo cual, el factorial (n!) de 4 es 24. Las rutas 2 y 3 tiene 3 clientes que atender, por el factorial (n!) de 3 es 6.

RUTA 3													
n= 3		Factorial (n!) = 6		Combinación de Ruta Seleccionada									
Combinación	A	B	C	D	E	F	G	AB	BC	CD	DE	EF	TOTAL DISTANCIA
1	0	10	3	5	11	0		22,36	32,14	18,03	32,76	18,03	123,31
2	0	5	3	10	11	0		23,41	18,03	32,14	32,02	18,03	123,62
3	0	3	5	10	11	0		13,89	18,03	45,69	32,02	18,03	127,66
4	0	10	5	3	11	0		22,36	45,69	18,03	31,11	18,03	135,22
5	0	3	10	5	11	0		13,89	32,14	45,69	32,76	18,03	142,51
6	0	5	10	3	11	0		23,41	45,69	32,14	31,11	18,03	150,38

Figura 17. Formato determinación de las rutas. Fuente: Autores.

En esta etapa de la lúdica el menor valor encontrado en el formato de ruta óptima para cada una de las rutas (1, 2 y 3) es trasladado al formato de eficiencia como se puede observar en la Figura 18.

EFICIENCIA POR BUS			
RUTAS	CARGA		DISTANCIA RECORRIDA
	OCUPACION	EFICIENCIA	
0-1-6-8-7-11-0	14	100%	106,51
0-4-9-2-11-0	14	100%	108,32
0-10-3-5-11-0	12	86%	123,31
Numero de buses	3		
EFICIENCIA GENERAL	CARGA		DISTANCIA TOTAL ENTRE LAS RUTAS
	OCUPACION	EFICIENCIA	
	40	95%	338,14
	CAPACIDAD TOTAL ENTRE BUSES		
42	100%		

Figura 18. Eficiencia de las rutas. Fuente: Autores.

La ruta uno en comparación con las demás rutas, presenta el mayor grado de cumplimiento en relación a las restricciones de capacidad de ocupación y el menor desplazamiento con el mayor número de nodos atendidos. La ruta tres presenta una menor eficiencia que las otras dos rutas, debido a que el sistema no presenta

otro cliente o demanda para completar el nivel de ocupación máximo del bus.

En la figura 19 se puede observar el resultado de la identificación de las rutas al que cada grupo debe llegar al culminar la actividad lúdica.

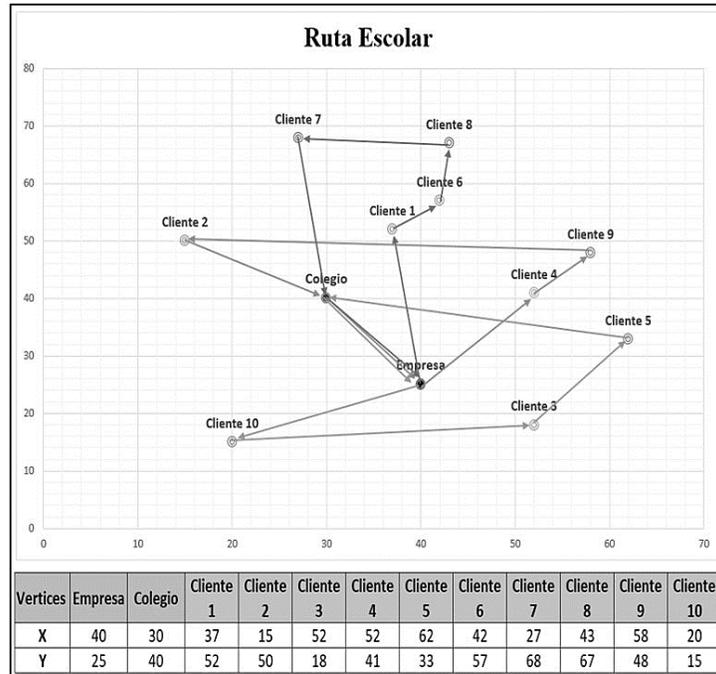


Figura 19. Tablero con representación de las rutas asignadas. Fuente: Autores.

Cada equipo al finalizar la actividad lúdica compartió con los demás su experiencia, mediante la exposición de los siguientes temas:

- ¿Cómo fue su experiencia con la lúdica?
- ¿Qué aspectos considera deben incluirse, quitarse o mejorarse en la lúdica?
- ¿Qué aspectos de la lúdica no fueron de su agrado?
- ¿Qué fue lo que más le gustó de lúdica “Enruta tu ruta”?

Como se comentó en la fase III de la metodología, se aplicó un cuestionario con 8 preguntas de carácter

cuantitativo en escala Likert, posterior al desarrollo de la lúdica a los 20 participantes (ver figura 20).

De acuerdo con el análisis de las respuestas a la encuesta (ver Figura 21), se encuentra que el 82,34% consideran que la lúdica permitió comprender los conceptos de ruteo de vehículos. Por otra parte, el 100% de los participantes consideran que las reglas fueron muy claras y fáciles de entender. Sin embargo, el 23 % de los participantes manifestó un malestar a la hora de desarrollar la lúdica y temas como la duración (tiempo) y el componente matemático, frente a un 77% que la considero una experiencia gratificante de aprendizaje.

Cuestionario
Preguntas de socialización de la experiencia con la lúdica

La siguiente encuesta tiene como objetivo conocer su opinión frente a la lúdica realizada. La información recolectada será utilizada solamente para fines académicos.

Expresa tu acuerdo o desacuerdo con las siguientes afirmaciones encerrando en un círculo la opción que mejor refleje tu opinión, teniendo en cuenta que 1 significa total desacuerdo y 5 total acuerdo.

Afirmaciones	1	2	3	4	5
La lúdica permite mejorar los conceptos y procesos en torno al tema de ruteo de vehículos.					
Las reglas de la actividad lúdica son claras y fáciles de entender.					
Es importante que las actividades de clases consideren la lúdica.					
Las actividades lúdicas ayudan a mejorar los aprendizajes desarrollados en clase.					
La lúdica permite detectar dificultades con las matemáticas.					
Se alcanza una experiencia gratificante con la lúdica.					
Los materiales utilizados en la lúdica fueron los más apropiados.					
Este tipo de actividades aportan a la generación y refuerzo del conocimiento.					

Figura 20. Cuestionario utilizado para socializar la experiencia lúdica. Fuente: Autores.

De igual forma, es importante resaltar que en la pregunta 3, el 93% de los participantes consideran que la lúdica debe ser incluida dentro de las actividades de clase. El 83% de los participantes estuvieron totalmente de acuerdo con la pertinencia de los materiales utilizados en el desarrollo de la lúdica. De igual forma, el 86% considera que mediante el ejercicio lúdico se detectan las falencias en temas de matemáticas. Finalmente, en promedio se obtuvo un 85,88% de aceptación favorable basado en los 20 participantes.

Participante	1	2	3	4	5	6	7	8
Part. 1	4	5	5	4	5	3	4	5
Part. 2	4	5	5	4	5	3	4	5
Part. 3	5	5	5	3	5	4	4	5
Part. 4	5	5	4	4	5	5	4	4
Part. 5	4	5	5	4	4	4	4	4
Part. 6	4	5	5	4	4	4	5	3
Part. 7	3	5	4	5	4	4	5	4
Part. 8	4	5	5	4	4	2	5	4
Part. 9	4	5	5	5	4	4	5	4
Part. 10	5	5	5	5	4	4	5	5
Part. 11	4	5	5	2	5	4	5	4
Part. 12	3	5	4	4	5	4	4	4
Part. 13	4	5	5	4	4	3	4	4
Part. 14	4	5	5	3	4	5	4	4
Part. 15	4	5	5	5	4	4	4	4
Part. 16	5	5	5	4	4	4	3	4
Part. 17	4	5	3	4	4	4	3	4
Part. 18	4	5	5	4	4	4	4	5
Part. 19	4	5	3	4	4	4	4	5
Part. 20	4	5	5	4	4	4	4	5

Figura 21. Resultados de medición de percepción y aceptación cuantitativa de la lúdica por parte de los participantes. Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis cualitativo, los hallazgos están en concordancia con lo que plantea Caicedo et al. (2020), quienes indican que es fundamental ajustar la manera en que se explican los escenarios y las

reglas que se plantean en la lúdica con base en las interacciones que se realizan con los participantes, que al igual que está actividad lúdica se presentaron dificultades durante su desarrollo con temas como el componente matemático.

Igualmente, como lo mencionan Saavedra-Moreno & Ramos (2021) en su actividad lúdica utilizando el tema del MRP teniendo en cuenta diferentes factores como la demanda y la oferta, se logra que los estudiantes comprenden la importancia del control de inventario, que al igual que la lúdica planteada en el presente artículo se busca dar a entender que mediante el control de aspectos como la planeación de la capacidad y la identificación de la ruta con la menor distancia recorrida se logran minimizar los costos del proceso de transporte, dando respuesta a problemas a los que se enfrentan diariamente las empresas.

Conclusiones

Éste artículo sugiere que la actividad lúdica como herramienta del proceso de aprendizaje permite a sus participantes entender la complejidad que requiere el proceso de enrutamiento, y la forma en que se puede lograr una disminución de los costos de uno de los procesos de la gestión logística de una empresa, o por el contrario incrementarlos sino se realiza un análisis del entorno.

Los problemas de VRP se pueden abordar desde la lúdica con el fin de mejorar las estrategias didácticas en la apropiación y generación de nuevo conocimiento, al igual que las habilidades investigativas.

Por otra parte, se puede señalar que se logró el objetivo con la actividad didáctica “Enruta tu ruta” al generar una herramienta que apoya el proceso de enseñanza-

aprendizaje en las clases tradicionales en el aula, siendo menos teórico y más práctico.

Desde el punto de vista didáctico se observa que, a partir de la aplicación la lúdica “Enruta tu ruta”, los participantes perciben que con el uso de herramientas pedagógicas como la lúdica es más fácil y dinámica la construcción del conocimiento para el aprendizaje de un tema específico, que la clase tradicional en el aula.

En relación con Calderón Calderón et al., (2014) quien plantea que la estrategia lúdica favorece el proceso de aprendizaje, con este proyecto se logra evidenciar que el uso de actividades lúdicas permite adquirir y fortalecer los conocimientos básicos de ruteo en relación a áreas de distribución y transporte que se abordan dentro del programa académico de tecnología en logística, ya que los estudiantes perciben que con el uso de herramientas pedagógicas como la lúdica es más fácil y dinámica la construcción del conocimiento para el aprendizaje de un tema específico, que la clase tradicional en el aula.

Por otra parte, mediante la aplicación del instrumento para la evaluación de la actividad lúdica se puede llegar a la conclusión que se logra construir y reforzar los conocimientos en torno a los problemas de enrutamiento.

De igual forma el instrumento, permite evidenciar que aspectos como el tiempo dado para desarrollar la actividad lúdica, debe ajustarse si se realiza a personas que no han tenido ningún contacto o conocimiento en relación al tema de ruteo.

El uso del CVRP como método de ruteo permito lograr el objetivo para el diseño de la lúdica, pero se sugiere que debe ser ampliado para contemplar mayor número de restricciones y presentar un grado de complejidad mayor al que se tiene aterrizada la lúdica.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a los estudiantes y profesores del programa de tecnología en logística de la de la Corporación Universitaria Minuto de Dios – sede Cali, que participaron en el desarrollo de esta actividad lúdica “Enruta tu ruta”.

Referencias

Álvarez Hernández, R. J. (2017). *Propuesta de solución al problema de ruteo de vehículos en el operador logístico Opperar S.A. para el transporte y distribución de productos alimenticios secos del Grupo Nutresa S.A.* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5756/ÁlvarezHe?sequence=1>

Arias Hernández, C. P. (2015). *Análisis e implementación del algoritmo genético de Chu-*

Beasley para resolver el problema del agente viajero (TSP) y su variante, el problema de rutas de vehículo (VRP) [Universidad Tecnológica de Pereira].

<https://core.ac.uk/download/pdf/71398567.pdf>

Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la cadena de suministro* (5ta Ed). Pearson Education. https://www.academia.edu/16236982/Logistica_Administracion_de_la_cadena_de_suministro_5ta_Edicion_Ronald_H_Ballou

Bermeo Muñoz, E. A., & Calderón Sotero, J. H. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El Hombre y La Máquina*, 32, 52–67. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47811604005>

Caicedo, A. D., Benítez, D. S., & Ramírez, A. M. (2020). CEREBR-IO: Actividad lúdica para la enseñanza y el fortalecimiento de la investigación de operaciones. *I+D Revista de Investigaciones*, 15(2), 148–162. <https://doi.org/10.33304/REVINV.V15N2-2020013>

Calderón Calderón, L., Marín Sepúlveda, S. M., & Vargas Trujillo, N. E. (2014). *La lúdica como estrategia para favorecer el proceso de aprendizaje en niños de edad preescolar de la institución educativa Nusefa de Ibagué* [Universidad del Tolima]. <https://library.co/document/4zpg594z-ludica-estrategia-favorecer-aprendizaje-preescolar-institucion-educativa-ibague.html>

Campos, V., Corberán, A., & Mota, E. (2008). A Scatter Search Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem. In A. Fink & F. Rothlauf (Eds.), *Advances in Computational Intelligence in Transport, Logistics, and Supply Chain Management* (Vol. 144, pp. 137–152). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69390-1_7

Carvajal, M. M. (2009). La didáctica en la Educación. *Fundación Academia de Dibujo Profesional*, 1–12. <http://eduteka.icesi.edu.co/gp/upload/58fa5a9e8c27a98b58bcc88d86e1873c.pdf>

Castañeda Jimenez, J., & Cardona Arias, J. A. (2014). *Implementación del método del ahorro para resolver el VRP aplicado al diseño de una red de logística inversa para la recolección de aceite vehicular usado generado en los puntos de acopio ubicados en Pereira* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://core.ac.uk/download/pdf/71397901.pdf>

Dávila Vélez, J. G. (2013). Juego Pedagógico para la

- Enseñanza de Heurísticos de Ruteo de Vehículos. *IX Encuentro Comunidad GEIO y II Encuentro Red IDDEAL. Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco*, 199–206. <https://tecnologicocomfenalco.edu.co/wp-content/uploads/librosinvestigacion/ceio.pdf>
- García, I. D. (2010). El problema de ruteo de vehículos. In *Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM* (pp. 1–33). FC-UNAM, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.academia.edu/30385168/El_problema_de_ruteo_de_vehiculos
- Grasas, A., & Ramalhinho, H. (2016). Teaching distribution planning: a problem-based learning approach. *The International Journal of Logistics Management*, 27(2), 377–394. <https://doi.org/10.1108/IJLM-05-2014-0075>
- Imitola Yépez, A. D. C., & Garnica Tarazona, M. L. (2018). *Diseño de prácticas lúdicas para el desarrollo de las competencias específicas en la asignatura de logística del programa de ingeniería industrial* [Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/1967>
- Lozada Díaz, A., & Cadena González, R. A. (2012). *Solución del Problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) mediante métodos Heurísticos* [Universidad Industrial de Santander]. https://www.academia.edu/9029824/_SOLUCIÓN_DEL_PROBLEMA_DE_RUTEO_DE_VEHÍCULO_CON_VENTANAS_DE_TIEMPO_VRPTW_MEDIANTE_MÉTODOS_HEURÍSTICOS_
- Muñoz, C., & Valenzuela, J. (2014). The motivation scale for the game (EMJ): Study of the use of the game in educational contexts. *RELIEVE. Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 20(1), 1–16. <https://doi.org/10.7203/relieve.20.1.3878>
- Restrepo, J. H., Medina, P. D., & Cruz, E. A. (2008). Un problema logístico de programación de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW). *Scientia et Technica*, 2(39), 229–234. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4745424>
- Rodríguez Pérez, J. (2012). *Caracterización, Modelado y Determinación de las Rutas de la Flota en una Empresa de Rendering* [Universidad de Sevilla]. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70319/>
- Saavedra-Moreno, C., & Ramos, N. F. (2021). “Planeando las compras en PartesYa”: una actividad lúdica para estudiar el MRP. *I+D Revista de Investigaciones*, 16(1), 53–61. <https://doi.org/10.33304/REVINV.V16N1-2021005>
- Salas Requenes, D. G. (2012). *Estudio de un problema de distribución de productos alimenticios permitiendo patrocinar las entregas* [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/3231/1/1080227452.pdf>
- Sepúlveda, J., Escobar, J. W., & Adarme-Jaimes, W. (2014). An algorithm for the routing problem with split deliveries and time windows (SDVRPTW) applied on retail SME distribution activities. *DYNA*, 81(187), 223–231. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V81N187.46104>
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem* (Vol. 9). Society for Industrial and Applied Mathematics. SIAM. <https://epubs.siam.org/page/terms>
- Yepes Piqueras, V. (2002). *Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW* [Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2664/tesisUPV1497.pdf?sequence=1&isAllowed=y>