



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”  
Multidisciplinario  
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

## ANÁLISIS Y DISEÑO DE CONSOLIDACIÓN LOGÍSTICA

<sup>1</sup>Valles Romero José Antonio, <sup>2</sup>Olvera Jiménez Andy, <sup>2</sup>Martínez Sánchez Juan Antonio

<sup>1</sup>Doctor en Logística y Transporte, Premio Nacional en Logística, e Investigador Nacional por el CONACyT, Profesor en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan, Hidalgo. México, [javalles@iteshu.edu.mx](mailto:javalles@iteshu.edu.mx) <sup>2</sup>pasante de Ingeniería Industrial, especialidad en manufactura avanzada, instituto tecnológico superior de Huichapan, Hidalgo. México. [10.andy.olvera@gmail.com](mailto:10.andy.olvera@gmail.com) , [tonizz29@hotmail.com](mailto:tonizz29@hotmail.com)



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

### RESUMEN

Tradicionalmente el modelado de consolidación en la logística y transporte, es resuelto mediante una metodología de ascenso dual, se formula el problema y se diseña un algoritmo específico para explotar su particular estructura, al que se le denomina “algoritmo de consolidación de concentradores”.

Las técnicas de ascenso dual para los problemas de consolidación comenzaron a aplicarse en [Erlenkotter, 1978], pero fue en [Klincewicz, 1996] en donde se aplicaron por primera vez al problema de consolidación de logística y transporte.

Un algoritmo más eficiente que este se mostró en [Mayer & Wagner, 2002], donde el problema dual se resuelve como un problema de transporte.

Este trabajo expone avances de la investigación en proceso que consiste en un algoritmo de ascenso dual, que permite resolver problemas más grandes en menos tiempo y con mayor eficiencia, La herramienta heurística desarrollada es aplicada al problema reprocesado basa en una técnica de ascenso dual reforzada con subrutinas específicas, como el uso de horizontes múltiples y la rectificación de holguras.

### ABSTRACT

Traditionally modeling of consolidation in the logistics and transport, is solved by a method of dual ascent, the problem is formulated and a specific algorithm to exploit its particular structure, which is called "consolidation algorithm Hub" is designed.

Dual ascent techniques to the problems of consolidation initiated in [Erlenkotter, 1978], but in [Klincewicz, 1996] where they are first applied to the problem of consolidation of logistics and transport.

A more efficient algorithm that this was shown in [Mayer & Wagner, 2002], where the dual problem is solved as a transportation problem.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

This paper describes research developments in process of algorithm dual ascent, which allows to solve bigger problems in less time and with greater efficiency, heuristic tool developed is applied to the problem it reprocessing based on a technique of dual ascent reinforced specific subroutines, such as using multiple horizons and rectifying clearances.

**PALABRAS CLAVE:** concentradores, algoritmo inteligente, consolidación logística, funciones heurísticas.

### I. INTRODUCCIÓN

Ante la ausencia de un procedimiento exacto, que permita obtener en todas las circunstancias una solución óptima para la localización de concentradores en tiempo razonable, es importante contar con un algoritmo heurístico que aporte una alternativa con una alta confianza de que sea la mejor solución posible.

En las labores diarias de toda empresa, se requiere tomar decisiones que están relacionadas con la definición de políticas para consolidación de insumos o productos, vamos a encontrar múltiples criterios que darán lugar a consecuencias relevantes por las rutas seguidas por las unidades de transporte, para la distribución o recolección de bienes o documentos que forman parte de las políticas de distribución, con un gran impacto en los costos.

Otras decisiones presentes en la planeación logística, es establecer la ubicación o localización de puntos en la red de transporte desde donde articular un sistema de distribución (puntos de venta o servicio de recolección), Esta labor de localizar puntos de servicio, no suele tomarse con procedimientos adecuados, con la cual se definan rutas para el transporte que conduzca a concentradores óptimos, pero



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

su incidencia en los costos y la calidad del servicio puede llegar a ser mucho más relevante.

Los problemas de consolidación de concentradores logísticos aparecieron por primera vez en la literatura de Investigación Operativa en los trabajos [O’Kelly, 1986] (para el caso continuo) y [O’Kelly, 1987] (para el caso discreto).

Son problemas sobre una red de nodos completa y con arcos dirigidos. Existen flujos que necesitan ser enviados entre cada par de nodos y hay un costo por unidad de flujo en cada arco.

Cada flujo debe pasar por uno o dos nodos especiales denominados concentradores (en inglés, hubs). Estos concentradores actúan como nodos terminales reuniendo los flujos procedentes de los orígenes y redirigiéndolos hacia los destinos.

El objetivo es decidir qué nodos albergarán un concentrador y establecer las distintas rutas entre cada par de nodos a través de los concentradores de modo que el costo total sea mínimo.

En consecuencia, los problemas de consolidación logística de concentradores son problemas de consolidación-asignación.

Estos problemas surgen normalmente en sistemas de transporte y telecomunicaciones debido al uso de redes de internet con concentradores.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Las aplicaciones al transporte incluyen las operaciones postales, los envíos urgentes y el transporte aéreo (tanto de pasajeros como de mercancías); ejemplos de aplicaciones a las telecomunicaciones son las redes telefónicas, comunicaciones entre computadoras, redes de tv por cable, etc, puesto que hay un incremento en el tráfico entre los nodos concentradores, la administración de estos enlaces puede mejorarse resultando en costos de transporte menor, es decir, los envíos entre concentradores se benefician de un factor de descuento.

En este trabajo se resuelve el Problema de Consolidación de Concentradores con asignación múltiple y sin capacidades mediante un método de ascenso dual: se formula el problema y se diseña un algoritmo específico para explotar su particular estructura: al que se le ha denominado algoritmo problema de Consolidación de concentradores con asignación múltiple y sin capacidades.

La herramienta heurística central se desarrolla en la Sección 3.2 y es aplicada al problema dual preprocesado. Esta herramienta heurística se basa en una técnica de ascenso dual (reforzada con subrutinas específicas como el uso de horizontes múltiples y la rectificación de holguras) y básicamente proporciona una cota inferior del problema.

## II. METODOLOGÍA

Mediante la formulación dual del “Problema de Consolidación de Concentradores, con Asignación Múltiple y sin Capacidades”.



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”**  
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

El problema a resolver es:

$$(H_6) \left\{ \begin{array}{l} \text{Min} \quad \sum_{i,j,k,m} C_{ijkm} x_{ijkm} + \sum_k f_k y_k \quad (3.1) \\ \text{s.a} \quad \sum_{k,m} x_{ijkm} = 1 \quad \forall i, j, \quad (3.2) \\ \sum_m x_{ijkm} + \sum_{m, m \neq k} x_{ijmk} - y_k \leq 0 \quad \forall i, j, k, \quad (3.3) \\ y_k \in \{0, 1\} \quad \forall k, \\ x_{ijkm} \geq 0 \quad \forall i, j, k, m. \quad (3.4) \end{array} \right.$$

Obsérvese que las cotas superiores  $x_{ijkm} \leq 1$  se han omitido en (3.4) porque aparecen implícitamente en las restricciones (3.2). Puesto que no hay capacidades, no hay problema en asumir que las variables  $x_{ijkm}$  tienen valores binarios en la solución óptima, tomando el valor 1 sólo cuando representan la ruta más económica desde  $i$  hasta  $j$ .

Las variables  $y_k$  toman valores entre 0 y 1 en la solución óptima porque las variables  $x_{ijkm}$  son 0-1 en los puntos óptimos, los valores  $C_{ijkm}$  y  $f_k$  son todos positivos y estamos ante un problema de minimización. Por esta razón, las cotas superiores  $y_k \leq 1$  pueden eliminarse.

El problema lineal dual (D0) para (LH6) es

Donde las variables duales  $u_{ij}$  y  $\check{u}_{ijk}$  están asociadas a las restricciones (3.2) y (3.3), respectivamente.

Obsérvese que sólo las variables  $u_{ij}$  aparecen en la función objetivo. Como consecuencia, tras hacer el cambio  $v_{ijk} = -\check{u}_{ijk}$ , la siguiente reescritura de D0 ya está sugiriendo un método de ascenso dual como estrategia para resolverlo.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Está claro que las variables  $u_{ij}$  van a ser positivas en cualquier solución óptima pues los valores  $C_{ijkm}$  son todos positivos. Así pues, (D0) y (D) tienen los mismos valores óptimos.

### Algoritmo Heurístico

Se usará un algoritmo de ascenso dual para resolver el problema (D). El objetivo es incrementar las variables  $u_{ij}$  tanto como se pueda lo más rápidamente posible.

El estado Inicial es:

$$u_{ij} = \min \{C_{ijkm}\}_{k,m} \quad \forall i, j, \quad v_{ijk} = 0 \quad \forall i, j, k.$$

Por lo general, resulta muy eficaz hacer un análisis de preprocesamiento antes de resolver cualquier problema y el que aquí se considera no es una excepción.

A modo de motivación del estudio del problema de consolidación de plantas simples con orden, este capítulo comienza con una revisión general sobre distintas desigualdades que pueden añadirse a los problemas de consolidación para garantizar asignación más cercana, es decir, que cada cliente sea servido desde la planta abierta más próxima. Posteriormente, se formula el problema central de esta tesis y se muestran algunas propiedades.

### Revisión de restricciones de asignación más cercana

Un problema de consolidación de plantas consiste en, dados un conjunto de plantas potenciales y un conjunto de clientes que deben ser servidos desde las plantas, decidir: qué plantas conviene más abrir y qué clientes deben ser servidos



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

desde qué plantas de modo que se optimice una cierta función objetivo. En el caso de una empresa privada, normalmente el objetivo es minimizar costos o maximizar beneficios. Cuando se trata de servicios públicos, hay dos objetivos: minimizar el costo total al tiempo que se maximiza el bienestar de los clientes que reciben el servicio. Si ambos valores son medibles en términos de una unidad común (por ejemplo, dinero), los dos criterios pueden combinarse en una única función objetivo; cuando esto no es posible, debe resolverse un problema multiobjetivo (bicriterio).

Un elemento fundamental en los problemas de consolidación de plantas es cómo deben ser los clientes asignados a las plantas. Algunas veces la respuesta es implícita al modelo. Por ejemplo, en el ampliamente estudiado problema de mediana de consolidación de  $n$  plantas ([Hakimi, 1964, ReVelle&Wain, 1970]), el objetivo es minimizar la distancia total que los clientes recorren hasta las plantas; puesto que no hay otras restricciones, cada cliente es asignado siempre a la planta abierta que tiene más cerca.

Aunque la mayor parte de los modelos de consolidación de plantas no tienen esta propiedad de asignación más cercana, es una suposición razonable en muchos de ellos. Otro ejemplo en donde los clientes minimizan las distancias recorridas es el caso de los vehículos de respuesta de emergencias. Incluso si un vehículo que no es el más cercano puede proporcionar el servicio dentro de un tiempo de respuesta razonable, no es probable que esto se comprenda (especialmente por las personas que necesitan el servicio) por qué la unidad de emergencias más cercanas no acudió en su ayuda.





## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

### III. RESULTADOS

#### Propiedades Poliédricas y Formulaciones Alternativas

La estructura poliédrica del problema: un punto clave en el estudio de cualquier problema entero es conocer tanto como sea posible acerca de la estructura de su región factible (dimension, facetas). Después, se muestra que el problema puede formularse como un Problema de Empaquetamiento de Conjuntos. Este hecho tiene una gran importancia, pues significa que todas las propiedades de este problema tan estudiado pueden aplicarse para obtener nuevas propiedades del Problema de Consolidación de Plantas Simple con Orden. Finalmente, el capítulo concluye con una formulación alternativa del problema como un problema binivel.

#### Estructura poliédrica

A continuación se muestran algunas propiedades de la estructura poliédrica del Problema de Consolidación de Plantas Simple con Orden: la dimensión del poliedro, varias condiciones necesarias y suficientes para que ciertas desigualdades válidas (las que aparecen en la definición original del Problema de Consolidación de Plantas Simple con Orden) sean facetas y cómo levantar una familia de desigualdades válidas para el Problema de Consolidación de Plantas Simple en un familia de desigualdades más ajustadas para el Problema de Consolidación de Plantas Simple con Orden.

### IV. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En esta investigación se han estudiado varios problemas que surgen a partir de aplicaciones reales: el Problema de Consolidación de Concentradores con Asignación Múltiple y Sin Capacidades y el Problema de Consolidación de Plantas Simple con Orden.

Aunque el Problema de Consolidación de Concentradores con Asignación Múltiple y sin Capacidades había sido estudiado anteriormente por varios autores, el problema más grande que se había resuelto hasta la fecha presentaba limitaciones (tenía 50 nodos 125,000 variables con una formulación de tres índices).



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

El algoritmo propuesto en esta investigación es capaz de resolver problemas indefinidos en un periodo de tiempo razonable, cuyo tamaño es de más de 207 millones de variables.

Basado en un análisis exhaustivo de la estructura del problema junto con varias reglas que aceleran el algoritmo efectuando varias iteraciones en un solo paso.

A pesar de su interés y aplicabilidad, se conocían muy pocos resultados acerca del Problema de “Modelación logística de políticas de consolidación de transporte utilizando para su solución herramientas de inteligencia artificial”. Aquí se han introducido varias familias nuevas de desigualdades válidas y se ha propuesto una regla de preprocesamiento eficiente.

### V. Bibliografías

[Martí et al., 2006] Martí, R., Laguna, M., & Glover, F. (2006). Principles of scatter search. *European Journal of Operational Research*, 169, 359–372.

Bibliografía 145

[Goldengorin et al., 2004] Goldengorin, B., Ghosh, D., & Siersksma, G. (2004). Branch and peg algorithms for the simple plant location problem. *Computers and Operations Research*, 31 (2), 241–255.

[Ebery et al., 2000] Ebery, J., Krishnamoorthy, M., Ernst, A., & Boland, N. (2000). The capacitated multiple allocation hub location problem: formulation and algorithms. *European Journal of Operational Research*, 120, 614–631.

[Flahaut et al., 2002] Flahaut, B., Laurent, M.-A., & Thomas, I. (2002). Locating a community recycling center within a residential area: a belgian case study. *The Professional Geographer*, 54 (1), 67–82.

[Ernst & Krishnamoorthy, 1999] Ernst, A. T. & Krishnamoorthy, M. (1999). Solution algorithms for the capacitated single allocation hub location problem. *Annals of Operations Research*, 86, 141–159.