

# HEURÍSTICA RECURSIVA DE EXPANSIÓN MÍNIMA PARA EL REDISEÑO DE TERRITORIOS DE VENTA<sup>\*</sup>

## RECURSIVE MINIMUM SPANNING HEURISTIC FOR REDESIGNING SALES TERRITORIES

Juan Gabriel Correa Medina <sup>\*</sup>, Ma. Loecelia Guadalupe Ruvalcaba Sánchez<sup>1</sup>

### RESUMEN

La globalización económica ha generado cambios profundos en las relaciones comerciales y disminuido el ciclo de vida de los productos y servicios. Esta situación incrementa los niveles de oferta y obliga a las empresas a establecer estrategias que les permitan asumir la aceleración del cambio, mediante la adquisición y retención de clientes en el largo plazo, a un costo aceptable. Un elemento importante en este proceso es la fuerza de ventas, constituida por un conjunto de vendedores que representan un enlace directo entre la empresa y sus clientes. Idealmente, cada vendedor debe estar asociado a un conjunto de clientes, ubicados dentro de un área geográfica bien delimitada. El rediseño de territorios de venta es una actividad estratégica para lograrlo. En este artículo se presenta y describe una heurística recursiva de expansión mínima para el rediseño de territorios de venta bioobjetivo. El problema se inspira en una empresa real que distribuye sus productos en México. La administración de la empresa busca una configuración territorial compacta, que minimice la variación de las nuevas carteras de venta con respecto a las actuales y la distancia total recorrida por los vendedores. Para observar el comportamiento de la heurística, se resuelven dos instancias extremas obtenidas a partir de la configuración regional actual y la instancia integral que no ha podido ser resuelta mediante métodos exactos. Los resultados muestran que es posible obtener territorios contiguos, detectar mercados potenciales y fuerzas de ventas excesivas o insuficientes.

**Palabras clave:** Territorios de venta multiobjetivo, heurística de expansión mínima, heurística recursiva, administración de ventas.

### ABSTRACT

Economic globalization has been produced heavy changes into trade, thus lifecycle for products and services has been reduced. This is increasing supply levels and force to companies to establishing strategies for facing change acceleration by acquiring and retaining customers in long term. All this must have an acceptable cost. Sales force is an important element for do this. Sales force consists of a set of salespeople. They represent a direct link between company

<sup>\*</sup>Trabajo presentado en el VI Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias, 24 al 26 de julio de 2013. Pontificia Universidad Javeriana de la ciudad de Bogotá D.C. – Colombia. Artículo actualizado

<sup>1</sup>Departamento de Sistemas de Información, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, Ags., México.

<sup>\*</sup>Autor para correspondencia: [jgcorrea@correo.uaa.mx](mailto:jgcorrea@correo.uaa.mx)

Recibido: 03.08.2013 Aceptado: 10.11.2013

and customers. Ideally, each salesman must be associated with a set of customers. Customers may be located within a well-defined geographical area. Thus, redesigning sales territories is a strategic activity that contributing to achieve that one territory will be exclusively assigned to one salesman. This paper introduces and describes a recursive minimum spanning heuristic for bi-objective redesigning sales territories. The problem was inspired for a real company which distributes its products into Mexico. The management of the company seeks for a territorial compact configuration that minimizing the difference between current and new turnover variances, and the total distance traveled by salespeople. For analyze the behavior from the proposed heuristic, two extreme instances corresponding to current regions and the integral instance were solved. Until now, has been impossible solved the integral instance by exact methods. Results showed that contiguous territories are possible, and these can contribute to identify potential markets, and detect excessive or insufficient sales force.

**Keywords:** Multiobjective sales territories, heuristic of minimum expansion, recursive heuristic, sales management.

## INTRODUCCIÓN

La globalización económica promueve profundos cambios en las relaciones comerciales, endureciendo y complicando la permanencia de aquellas empresas que no logren percibir y asumir esa aceleración de cambio de manera proactiva (Artal, 2010). Los altos niveles de oferta, aunados a la diversidad de productos y servicios, hacen que las empresas de hoy se enfrenten a clientes cada vez más exigentes que les demandan bienes, servicios e ideas de calidad que cumplan con sus expectativas de precio, cantidad, nivel de servicio, entre otros. Por ello, es necesario que las empresas establezcan estrategias de acercamiento a sus clientes reales y potenciales, para lograr definir cualitativa y cuantitativamente sus deseos y necesidades de compra, con la finalidad de garantizar mediante la satisfacción de éstas su lealtad y consecuente permanencia en el mercado.

Los vendedores o fuerza de ventas son la primera línea de defensa en este nuevo escenario. Ellos representan una vía de comunicación e interacción social directa con los clientes, los escuchan y evalúan sus necesidades, y se encargan de ofrecerles soluciones que reduzcan la complejidad de sus demandas. Los vendedores son quienes le dan un cierto nivel de flexibilidad al servicio, personalizan la oferta del producto y el proceso de compra para cada cliente, generando su lealtad (Zoltners *et al.*, 2004). Es importante que las compañías organicen, capaciten, administren e inviertan en sus vendedores, tratando de asegurarles el acceso a los recursos necesarios para el buen desempeño de sus actividades, al tiempo que establezcan estrategias de gestión que garanticen el buen uso de estos recursos.

La organización geográfica es un método sencillo y frecuente de organización de la fuerza de ventas en una compañía, que consiste en la asignación de un territorio geográfico distinto a cada vendedor, dentro del cual es responsable de realizar sus actividades de venta. La definición de estos territorios geográficos se conoce como diseño de territorios de venta cuando se define por primera vez, mientras que cuando parte de una definición o estructura previa se denomina rediseño de territorios de venta. Sea que se trate de un diseño o un rediseño de territorios de venta, el problema consiste en la agrupación de pequeñas áreas geográficas denominadas unidades de cobertura de ventas (SCUs del inglés, Sales Coverage Units) en unidades geográficas más grandes llamadas territorios. Cada territorio trata de alcanzar un conjunto de objetivos y cumplir con una serie de restricciones establecidas por la gerencia de la empresa.

Un buen rediseño de territorios de venta puede contribuir a la reducción de los costos operativos, ofrecer la posibilidad de adquirir nuevos clientes, ampliar y mejorar la cobertura, y mantener o incrementar los niveles de servicio (Correa *et al.*, 2011b). Pese a ello, se trata de una de las áreas de productividad de la fuerza de ventas frecuentemente descuidada por ser una tarea compleja y tardada para los gerentes, debido a la dificultad de generalización por la estrecha relación que guarda con los objetivos y políticas particulares de cada empresa; la resistencia que puede ejercer la propia fuerza de ventas, dada la consecuente afectación en su tamaño, incentivos y planes de remuneración; y a la probabilidad de perder oportunidades de negocios como resultado de las alteraciones de las relaciones personales existentes entre los vendedores y los clientes.

Por ello, es importante que el diseñador de territorios tenga bien claro el tipo de producto que vende, a quién, dónde (e.g., localidades, estados, regiones, entre otros) y cómo. Este conocimiento le ayudará a colocar mejor su producto, mejorar el nivel de servicio al cliente y minimizar el tiempo y distancia de viaje entre clientes, tomando en consideración el número de visitas requeridas en un periodo dado y los intervalos adecuados para que el vendedor pueda realizarlas sin problemas y sin exceder su carga programada de trabajo (Artal, 2010).

De acuerdo con Zoltners y Sinha (1983), entre las características deseables para considerar como aceptable o bueno un rediseño, se encuentran: 1) la asignación exclusiva de los SCUs; 2) tamaño asequible, práctico y económico, preferentemente balanceado en base a uno o más atributos; y 3) que sean adyacentes, contiguos y que integren consideraciones geográficas que favorezcan su conectividad. Ricca (2004) define los conceptos asociados a la geografía de los territorios como sigue:

1. Integridad, indicador de que no existen territorios superpuestos, es decir, parte de un territorio está rodeado por otro.
2. Compacidad, representa el hecho teórico de que desde del centro de un territorio a cualquier SCU existe la "misma" distancia.
3. Ausencia de huecos, donde ningún territorio debe rodear a otro.

De acuerdo con Artal (2010), dividir el territorio global de una empresa en varios territorios facilita la programación de objetivos, mejorando el flujo de información sobre el mercado y la competencia, permitiendo definir mejor las responsabilidades de la red; mejora la cobertura al equilibrar las cargas de trabajo dentro de los territorios, organiza mejor sus acciones hacia el cliente, aumenta la eficiencia y sirve como base para la realización de mejoras a los métodos y tiempos; facilita el control y coordinación de los resultados al permitir comparaciones útiles y evita duplicidades y solapamientos; y crea una imagen de seriedad y buena organización hacia los clientes.

Los problemas de diseño/rediseño de territorios de venta están inmersos en los denominados problemas de distribución, que han sido clasificados como problemas de optimización combinatoria NP-hard (Tavares-Pereira *et al.*, 2007; Ríos-Mercado *et al.*, 2009). Su nivel de complejidad, aunado a la particularidad de sus objetivos, ha propiciado la aparición de múltiples trabajos relacionados con el tema, entre los que se destaca el uso de metodologías de solución heurísticas y metaheurísticas.

Guo *et al.* (2000), desarrollan una herramienta computacional llamada Multi-Objective Zoning and Aggregation Tool (MOZART) para la división de zonas óptimas, en la que integran la partición matemática de grafos con un sistema de información geográfico (GIS). Ricca (2004), aplican una heurística old bachelor acceptance a un caso de estudio en la ciudad de Roma, que sirvió como base para sugerir un conjunto de criterios de optimalidad para agregaciones territoriales buenas. Wei y Chai (2004), presentan una metaheurística multiobjetivo para la

definición de territorios geográficos que integra la búsqueda tabú y la búsqueda dispersa usando un GIS. Smith *et al.* (2009) presentan una formulación matemática y un procedimiento heurístico para resolver un problema real de diseño territorial biobjetivo en una compañía que recolecta y entrega productos en múltiples territorios. Salazar-Aguilar *et al.* (2011), proponen dos esquemas generales y dos estrategias GRASP para el problema biobjetivo de diseño de territorios comerciales y comparan sus resultados con un frente de Pareto obtenido mediante un algoritmo NSGA-II.

Correa *et al.* (2010), proponen un modelo de programación entero mixto biobjetivo para el rediseño de territorios y resuelven diversas instancias provenientes de un caso real mediante el método  $\epsilon$ -constraint y comparan los resultados con los de una heurística basada en Hill Climbing (Correa *et al.*, 2011a), una heurística de dos etapas (Correa *et al.*, 2011b) y algoritmos evolutivos (Correa y Ruvalcaba 2011; Ruvalcaba *et al.*, 2011). Salazar-Aguilar *et al.*, (2012) presentan un procedimiento heurístico basado en el paradigma divide y vencerás para el diseño de territorios comerciales compactos de una empresa real dedicada a la distribución de bebidas.

En este artículo se propone una heurística biobjetivo recursiva de expansión mínima basada en grafos no completos para el rediseño de territorios de venta contiguos. El problema está inspirado en una empresa real que se dedica a la producción de herramientas de corte y las distribuye en todo México. Para simplificar la administración de sus ventas, la empresa ha dividido el territorio nacional en nueve regiones, las cuales son heterogéneas con respecto a su extensión territorial, volumen de ventas y número de vendedores.

El sistema de compensación basado en comisiones de la empresa, motiva a los vendedores a expandir sus carteras de venta más allá de las delimitaciones regionales, sin que la administración de la empresa ejerza algún tipo de control que impida su libre tránsito por el país. Las carteras de venta actuales, se han ido heredando de vendedor a vendedor y se han incrementado conforme a las necesidades y capacidades de cada uno de ellos. Como consecuencia de esto, la empresa enfrenta un desbalance en las cuotas de venta y cargas de trabajo, así como traslapes geográficos a nivel territorial y regional (figura 1). Esto último trae consigo una duplicidad de gastos y esfuerzos que repercuten directamente en la calidad y nivel de servicio al cliente, así como en la calidad de vida de los vendedores.

Para hacer frente a estos problemas, la empresa busca rediseñar sus territorios de venta al interior de cada una de sus regiones actuales. La particularidad de sus configuraciones territoriales actuales la lleva a buscar el alcance de dos objetivos. El primero, trata de asegurar que los vendedores puedan mantener sus ingresos por concepto de comisiones a través de la minimización de la variación entre los portafolios de venta nuevos y actuales. En tanto que el segundo busca reducir las cargas de trabajo, niveles de estrés y el consecuente índice de rotación de los vendedores, mediante la minimización de la distancia total recorrida por cada uno de ellos para cubrir efectivamente su nuevo territorio.



**Figura 1.** Configuración regional actual de la empresa

Para ello es importante que los nuevos territorios sean contiguos, estén sujetos a una carga máxima de trabajo en horas/periodo y que incluyan el lugar de residencia del vendedor responsable. Asimismo, y con la intención de reducir la duplicidad de esfuerzos y recursos requeridos para la actividad de ventas, la empresa ha decidido usar a las poblaciones como SCUs. Por tanto, un SCU representa la agregación de las características de todos los clientes individuales residentes en él. A excepción de los SCUs de residencia (donde cada vendedor conservará su cartera actual de clientes), el resto de los SCUs es indivisible y sólo puede ser atendido por un vendedor.

Este trabajo está organizado como sigue. En la sección de materiales y métodos se describen brevemente el modelo matemático y la heurística propuesta. En la sección de experimentación y resultados se seleccionaron dos de las nueve regiones actuales de venta consideradas extremas, con la intención de probar el alcance de la heurística propuesta. Asimismo, se resolvió una instancia integral que considera la totalidad de las regiones de venta actuales, misma que no ha podido ser resuelta con métodos exactos. Mediante la solución de esta instancia integral se pretende hacer una reconfiguración total de las regiones y territorios de venta del país, que buscará eliminar de raíz los traslapes regionales actuales. En la sección de discusiones se busca resaltar la importancia actual del rediseño de territorios de venta en la competitividad empresarial. Finalmente, se presentan algunas conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Las regiones consideradas en el problema son las definidas por la administración de la empresa. La cartera de ventas y el tiempo de atención de cada SCU fueron calculadas mediante la agregación de las características individuales de los clientes que residen en él.

Por cada vendedor se determinó la cartera y la expansión actual de su territorio de ventas. Los SCUs de residencia y la proporción de ventas a su interior fue preasignada a los vendedores correspondientes.

Cada una de las regiones fue modelada mediante un grafo ponderado no completo, donde los nodos representan los SCUs. El peso de las aristas y la matriz de adyacencia se calculan a partir de las distancias en carreteras primarias y secundarias entre SCUs y son obtenidas de los mapas por Entidad Federativa de México de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Rutas punto a punto SCT, 2010) y/o mapas de carreteras de México (Palacios-Roji y Palacios-Roji, 2010).

### Modelo matemático

El problema descrito es modelado como un modelo de programación entero mixto como sigue:

Conjuntos:

C: clientes o SCUs que demandan productos

V: vendedores que atienden la región o zona de ventas

Índices:

$j = 1, \dots, |C|$

$i = 1, \dots, |V|$

$k = 1, \dots, |K|$

Variables:

$x_{ij} \in \{0, 1\}$  variable binaria que toma el valor de 1 si el SCU  $j$  es atendido por el vendedor  $i$  y de 0 en cualquier otro caso.

$m_j \in \mathbb{R}^+$  volumen de ventas demandado por cada SCU  $j$

$w_j \in \mathbb{R}^+$  horas de atención por periodo requeridas por cada SCU  $j$

$d_{ij} \in \mathbb{R}^+$  distancia en kilómetros entre el SCU de residencia del vendedor  $i$  al SCU  $j$

$T_{now_i} \in \mathbb{R}^+$  cartera actual de ventas del vendedor  $i$  que es obtenida a partir de la demanda actual que cubre.

$T_{new_i} \in \mathbb{R}^+$  nueva cartera de ventas del vendedor  $i$  obtenida a partir de de la demanda  $x_{ij}$  que se le asignará.

$C_{max} \in \mathbb{R}^+$  carga máxima de trabajo permitida (e.g., en México la Ley Federal del Trabajo establece una carga máxima de 40 horas/semana/mes)

$$\text{Min } \sum_{i \in V} \sum_{j \in C} x_{ij} d_{ij} \tag{1}$$

$$\text{Min } \sum_{i \in V} \left| 1 - \frac{1}{T_{now_i}} T_{new_i} \right| \tag{2}$$

sujeto a:

$$\sum_{j \in C} m_j x_{ij} = T_{new_i} \quad \forall i \in V \tag{3}$$

$$\sum_{i \in V} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in C \tag{4}$$

$$\sum_{j \in C} w_j x_{ij} \leq C_{max} \quad \forall i \in V \tag{5}$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall i \in V, \forall j \in C, \forall j \notin K \tag{6}$$



El objetivo (1) busca minimizar la suma de la distancia total recorrida por los vendedores; el objetivo (2) busca minimizar la suma de las diferencias absolutas entre los volúmenes de venta nuevo y actual de cada vendedor. Los nuevos volúmenes de ventas son obtenidos a partir de los SCUs asignados a cada vendedor (ecuación 3). La ecuación (4) fuerza a que cada SCU sea atendido por un solo vendedor. La ecuación (5) restringe la carga de trabajo de cada vendedor a una carga máxima  $C_{max}$ . Finalmente, la ecuación (6) asegura que los SCUs que no son residencia de vendedores sean atendidos en su totalidad por un solo vendedor.

### **Heurística recursiva de expansión mínima**

A partir de la matriz de distancias de adyacencia y conectividad entre pares de SCUs, se generan tantos territorios de venta como vendedores tiene la zona. Para ello se emplea un algoritmo de árbol de mínima expansión modificado, inspirado en el algoritmo de Prim (1957). Aunque a diferencia de éste, se ha establecido la recursividad como estrategia de extensión para tratar de garantizar la compacidad del territorio cuando se detectan limitaciones en su construcción por la falta de conectividad inherente a un grafo no completo.

Dada la consideración de que los SCUs de residencia formen parte de los nuevos territorios, el algoritmo se inicia con la preasignación de éstos. Los territorios se crean uno a la vez, y el orden en que se generan influye directamente en la configuración final de la región, haciendo necesario el establecimiento de variaciones que permitan una mejor exploración del espacio de búsqueda. El algoritmo se inicia con la selección de un vendedor, del cual se extrae su SCU de residencia y, a partir de éste, el territorio se va expandiendo hacia el SCU adyacente (más cercano y que no exceda la cartera actual) y que no ha sido previamente asignado a otro territorio. Ahora, a partir de este último SCU añadido al territorio, se busca continuar la expansión hacia otro (con menor distancia y sin exceder la cartera actual). Este proceso continúa hasta alcanzar un máximo de SCUs, los cuales integran un territorio "propuesto" que se aproxima a las características del territorio actual, es decir, se aproxime al alcance de los objetivos y que cumple con las restricciones establecidas. Lo anterior representa el caso "ideal" de creación de un territorio de ventas; generalmente ocurre para los primeros territorios que se crean.

Si bien la expansión puede estar expuesta a problemas en su evolución, uno de ellos atribuido al hecho de que el grafo no es completo y como tal no existe la misma relación de conexión desde un SCU hacia los demás, lo que puede derivar de manera inherente en una posible interrupción en el crecimiento del territorio. Esto sucede, por ejemplo, cuando un SCU está conectado exclusivamente a algún otro, por lo que la expansión no puede continuar por falta de conectividad. Existe otro caso, donde los territorios previamente creados "asfixian" o "estrangulan" la creación de uno nuevo, es decir, cada territorio creado impone como efecto natural una "barrera" contra la expansión del nuevo territorio.

Con la intención de evitar los problemas de limitación en la expansión atribuidos a la falta de conectividad o de disponibilidad (sujeto a asfixia) que produce la ocurrencia de un nodo "frontera" (a partir del cual no se puede continuar la expansión), se utiliza la recursividad. La recursividad implica que una vez alcanzado un nodo frontera, se debe regresar a un nodo previo, que posibilite la expansión, siempre y cuando no se pierdan de vista los objetivos de construcción del territorio (Figura 2).

```
Sea:
n      Número de territorios requeridos o tamaño de la fuerza de ventas
m      El número total de clientes o SCUs que requieren servicio
aj    El j-ésimo SCU asignado (0 no asignado, 1 asignado) j = {1..m}
dij   La distancia desde el SCU de residencia del vendedor i al SCU j, j = {1..m},
      i = {1..n}
SCUu  Último SCU asignado, u = {1..m}
SCUi  j-ésimo SCU asignado al vendedor o territorio
SCUi  SCU de residencia del vendedor i
vendedori i-ésimo vendedor de la secuencia de vendedores

Procedure Expansion
  repet
    LimpiaAsignaciones (aj = 0 ∀j = {1..n})
    Preasignar SCUs de residencia
    for i = 1 to n
      SCUu = i
      SCUi = SCUi
      repet
        SCUi = mínima{dij[SCUu a SCUj]}
        if (j = 0)
          SCUu = SCUu-1
        else
          continua = Asignable( SCUi, vendedori )
          if continua
            Asigna(SCUi, vendedori )
            ai = 1
            SCUu+1 = SCUi
          end if
        end if
      until not(continua) o Vacío(SCUu )
    end for
    Asigna SCU faltantes
    AgregaPF(solucion)
  until not(SiguienteSecuencia)
end procedure
```

**Figura 2.** Algoritmo de expansión mínima con recursividad

Aunque cabría esperar que al término de este procedimiento todos los SCUs estén asignados y que las nuevas configuraciones territoriales obtenidas mediante esta técnica sean compactas, las pruebas empíricas de verificación del algoritmo muestran que estas condiciones no siempre se cumplen, debido a que el enlace con los SCUs adyacentes no siempre es posible porque han sido previamente asignados a otros territorios. Es decir, existe la posibilidad de que algunos SCUs queden excluidos (sin asignar) debido a la formación de los territorios propuestos.

Para asegurar la asignación de todos los SCUs se recurre a un proceso de asignación adicional (Asigna SCU faltantes); mediante éste, los SCUs no asignados durante los procesos anteriores, se agregan al territorio adyacente más próximo, con que guardan al menos una conexión con algún SCU que integra el territorio. Si no se cumplen las condiciones necesarias para ello, su asignación se pospone y se continúa con el siguiente SCU no asignado. El proceso se repite mientras existan SCUs sin asignar (Figura 3).



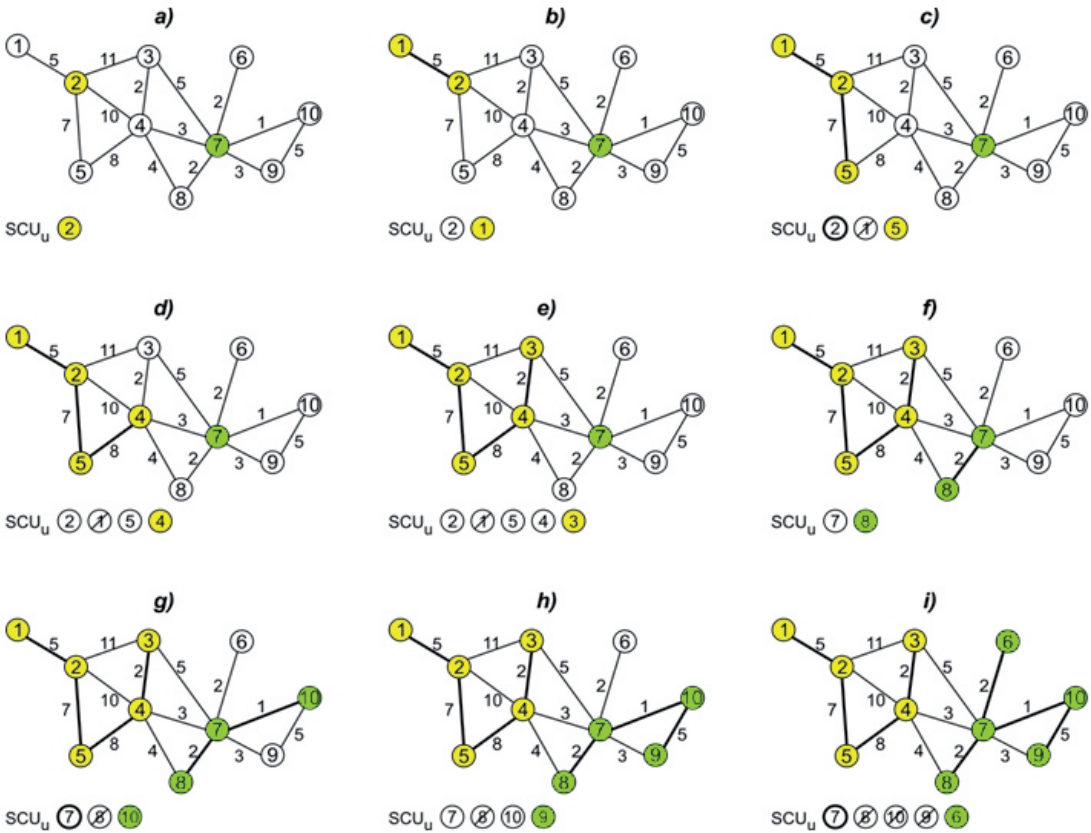
```
Sea:
n      Número de territorio o tamaño de la fuerza de ventas
m      Número total de SCU's
aj    j-ésimo SCU asignado, 0 no asignado, 1 asignado, j = {1..m}
dij   La distancia desde el SCU de residencia del vendedor i al SCU j, j = {1..m},
        i = {1..n}
SCUk  k-ésimo SCU asignado previamente
SCUj  j-ésimo SCU no asignado aún

Procedure Asigna SCU faltantes
  repetir
    completa = 1
    for j = 1 to m
      if not aj
        k = mínima{dij | SCUk a SCUj}
        if (ak) and (k ≠ 0)
          Asigna(SCUj, vendor_de ( SCUk ))
        else
          completa = 0
          if (k ≠ 0)
            j = j - 1
          end if
        end if
      end if
    end for
  until completa
end procedure
```

**Figura 3.** Asignación de SCU no asignados

Dada la influencia directa del orden de conformación de los nuevos territorios en la configuración regional final, la heurística propuesta hace una búsqueda exhaustiva entre todas las posibles permutaciones de creación de los mismos; es decir, cuando el número de territorios  $n$  es mayor a 2,  $n!$  representa el número máximo de secuencias de construcción de las nuevas configuraciones territoriales a evaluar.

La figura 4 muestra un ejemplo del funcionamiento básico de la heurística propuesta. Se inicia con la asignación del SCU de residencia del primer vendedor y se actualiza la variable SCUu (a), se determina el SCUj más próximo para extender el territorio y se actualiza SCUu (b), cuando es imposible seguir extendiendo el territorio regresamos a un SCUu previo que nos permita continuar con la asignación (c). Este proceso (b y c) continua mientras las restricciones se cumplan (d, e) o hasta que sea imposible continuar extendiendo el territorio por falta de conectividad con nodos no asignados. Una vez construido el primer territorio, el proceso se repite para cada uno de los vendedores faltantes (f, g, h, i).



**Figura 4.** Ejemplo de funcionamiento de la heurística propuesta

## EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

La heurística propuesta fue implementada en Free Pascal para Windows y fue ejecutada en una laptop con procesador Core i7 de 64 bits y 8 GB de memoria RAM. Para probar su alcance se seleccionaron dos de las regiones de venta actuales que han sido consideradas extremas en el número de vendedores, estados y SCUs que las integran. Asimismo, se consideró la reconfiguración de todos los territorios de venta del país, sin tomar en cuenta las limitaciones de la configuración regional actual. La tabla 1 muestra las características generales de cada una de las tres instancias de prueba seleccionadas.

**Tabla 1.** Características de las instancias de prueba

Número	Estados que integran la región	Número de vendedores	Número de SCUs	Número de SCUs de residencia diferentes
1	3	3	36	2
2	10	9	143	7
3	30	42	618	32

Para resolver la primera instancia se requirieron 37 minutos y se obtuvieron solamente dos configuraciones territoriales compactas factibles. En la segunda instancia no se encontraron soluciones factibles en una primera corrida; pero, al intuir que éstas no fueron posibles debido a la amplitud de la región, se procedió a flexibilizar la restricción referente a la carga de trabajo máxima. Aunque con ello, fue posible encontrar 2 configuraciones regionales factibles compactas en 28 minutos, esta consideración sugiere tomar decisiones adicionales con respecto al número actual de vendedores y algunas estrategias referentes al mantenimiento de las carteras actuales en pro del nivel de servicio al cliente. Las figuras 5 y 6 muestran ejemplos de configuraciones territoriales compactas para las regiones 1 y 2, respectivamente, obtenidas mediante la heurística recursiva de expansión mínima propuesta.

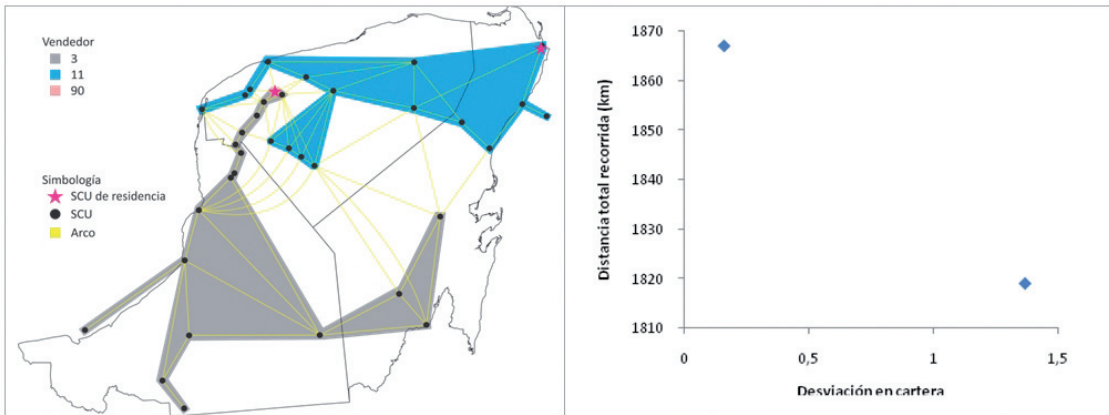


Figura 5. Ejemplo de configuración territorial y frente de Pareto para la instancia 1

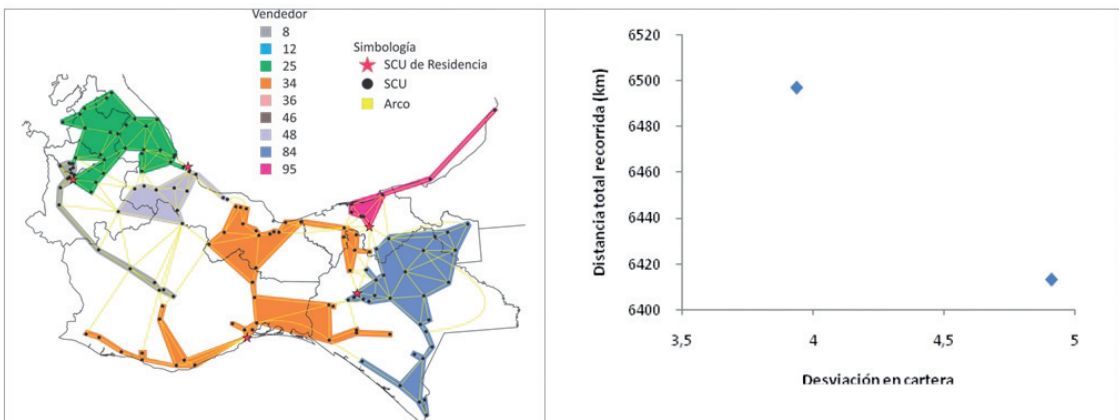
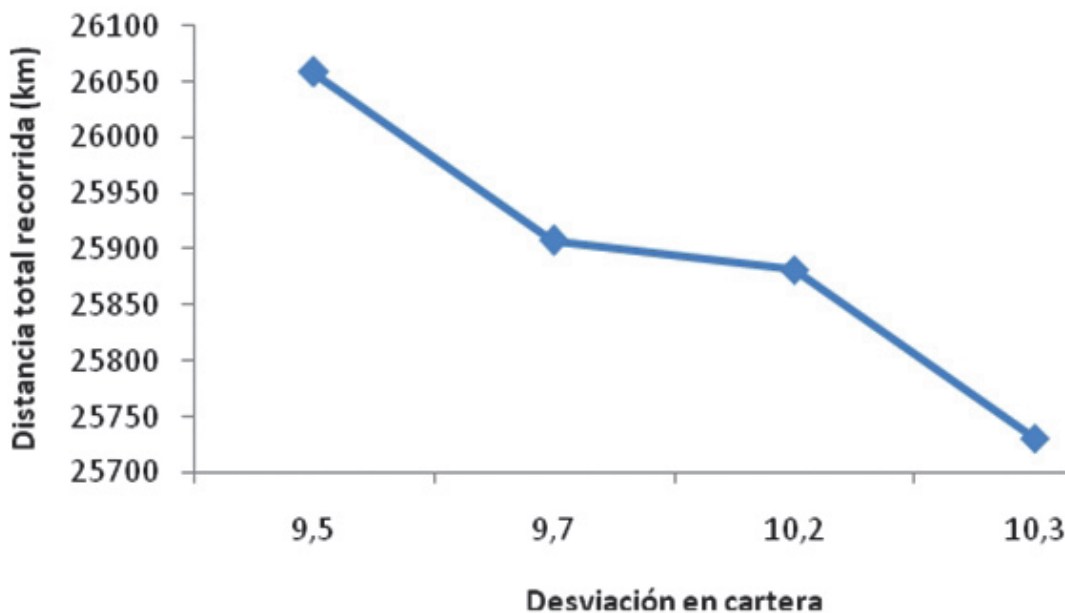


Figura 6. Ejemplo de configuración territorial y frente de Pareto para la instancia 2

Para la tercera instancia tampoco se encontraron soluciones factibles; la principal limitante fue nuevamente la carga máxima de trabajo de los vendedores. Al relajar dicha restricción fue posible encontrar un frente de Pareto con cuatro configuraciones territoriales en un lapso de 4 horas. La figura 7 muestra el frente de Pareto obtenido para dicha instancia.



**Figura 7.** Frente de Pareto de la instancia integral

Es importante mencionar que, aunque mediante el uso de la heurística propuesta se obtienen frentes de Pareto con pocos elementos, las configuraciones que los conforman son contiguos en su totalidad, criterio que no cumplen las configuraciones obtenidas por Correa *et al.* (2011b) quienes resolvieron este problema de manera exacta empleando  $\epsilon$ -restricción y cuyas configuraciones se vuelen más contiguas y compactas en la medida en que se minimiza la distancia total recorrida por los vendedores y se expanden conforme se va minimizando la variación entre carteras, pero no garantizan la contigüidad de los SCUs que integran el territorio. Este mismo fenómeno puede observarse en los trabajos de Correa *et al.* (2011a), que proponen una heurística biobjetivo de dos etapas, Correa y Ruvalcaba (2011) y Ruvalcaba *et al.* (2011) quienes emplean algoritmos genéticos para resolver este problema.

## DISCUSIONES

La globalización de los mercados ha generado un incremento en la oferta de productos y servicios, obligando a las empresas a innovar y establecer estrategias que les permitan continuar siendo competitivas de frente a un mercado cambiante. Una actividad que repercute directamente en los costos finales del producto y en los niveles de servicio al cliente son las ventas. El elemento clave de esta actividad es la fuerza de ventas, la cual está integrada por un conjunto de personas conocidas como vendedores. Cada vendedor tiene sus propias habilidades, capacidades, motivaciones y valores, los cuales son aprovechados por las empresas para la adquisición y retención de clientes en el largo plazo.

Idealmente, cada vendedor debe estar asociado a un área geográfica o territorio determinado, dentro del cual atiende a un conjunto de clientes actuales y potenciales. Cuando no existe un control de tal asignación y se deja ejercer libremente la actividad de ventas, como en nuestro caso de estudio, la administración y control de las regiones de venta se vuelve una tarea compleja; se producen traslapes entre los territorios de los vendedores, que duplican los costos y esfuerzos requeridos para llevar los productos al cliente; se produce una competencia desleal entre los vendedores, que puede confundir al cliente.

Sea cual sea la perspectiva que se seleccione, el diseño de territorios es un problema difícil de generalizar, debido a la estrecha relación que sus objetivos y restricciones guardan con la visión estratégica de las empresas. Un buen diseñador de territorios de venta debe tomar en cuenta el tipo, lugar, forma y periodicidad del producto o servicio, así como la variedad que se oferta. Asimismo, debe tomar en cuenta las características de los clientes y vendedores asociados a través de los diferentes territorios.

Entre las características deseables de los territorios se encuentran su tamaño, ubicación, contribución al ingreso, carga de trabajo asociada y los criterios de división. Las tres primeras son establecidas por la empresa y las características propias de su ámbito de mercado. La cuarta normalmente depende de la legislación laboral vigente, mientras que la última obedece a la logística comercial, la infraestructura y medios de comunicación disponibles, y en ocasiones a los límites territoriales políticos.

Adicionalmente, pueden considerarse en el diseño de territorios algunos aspectos asociados a la geografía como la integridad, contigüidad y compacidad. La integridad es un indicador de que no existe traslape entre territorios; la contigüidad se refiere a la ausencia de huecos en los territorios, los cuales representan aéreas de oportunidad si la geografía así lo permite, mientras que la compacidad se refiere al hecho de que el vendedor puede viajar por todo su territorio sin necesidad de invadir otro.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que mediante el uso de la heurística propuesta es posible obtener un frente de Pareto para cada una de las instancias. Sin embargo, también se observó que en las regiones grandes, los vendedores invierten más tiempo en traslados que los vendedores de las instancias pequeñas. Esta situación influye directamente en las cargas de trabajo y limita la obtención de soluciones factibles. Para solucionar este problema se flexibilizó dicha restricción en las instancias de prueba; sin embargo, la literatura sugiere un análisis más concienzudo de dicho fenómeno, debido al desgaste que representa para un vendedor incrementar su carga de trabajo sin algún tipo de compensación adicional y a las repercusiones que esta sobrecarga puede tener en contra del nivel de servicio al cliente.

Al graficar las soluciones fue posible observar que las nuevas configuraciones territoriales son contiguas y adyacentes, pero no muy compactas (bastante irregulares), aunque la contigüidad y compacidad están sujetas al grado de conectividad (carretera y caminos) existente entre las diferentes localidades que integran la región. También es posible ver que los huecos entre territorios se deben a localidades no exploradas (clientes potenciales) o barreras naturales (accidentes topográficos).

Por otro lado, los territorios resultantes no cumplen del todo con el requisito deseable de integridad, debido a que eventualmente algunos vendedores recorrerán los mismos caminos o parte de ellos para atender de manera independiente a los SCUs asociados a sus territorios. Asimismo, en las soluciones gráficas es posible visualizar regiones con clientes potenciales que no han sido cubiertas. Esto plantea la necesidad de delimitar los territorios tomando en cuenta a los clientes potenciales para permitir su expansión, dándole al vendedor la posibilidad de seguir incrementando su cartera de ventas dentro de una región determinada y evitar que se produzcan nuevos traslapes territoriales en el futuro.

Como parte del trabajo futuro se pretende buscar integrar los nuevos territorios, en paralelo con la intención de disminuir las distancias y evitar territorios excesivamente alargados; asimismo, se tratará de establecer las rutas de venta e itinerarios de viaje que permitan una mejor cobertura de los territorios.

## REFERENCIAS

- ARTAL, CM. Dirección de ventas: organización del departamento de ventas y gestión de vendedores. 9a ed. España: Madrid, 2011. chap. 6 Noción de territorio o zona, p.186-214.
- CORREA JG., *et al.* Heurística biobjetivo de dos etapas para el rediseño de territorios de venta. *Econoquantum*, 2011a, vol. 8, no. 2. p.143-161.
- CORREA, JG., *et al.* Bi-objective mixed integer programming model for the redesign of a sales region. *International Journal of Industrial Engineering Special Issue-Mexico conference*. 2011b, p. 376-384.
- CORREA, JG.; and RUVALCABA, L. Sales territory redesign using SPEA 2. En: *International Congress on Instrumentation and Applied Sciences (2°:2011:Puebla,México)*. Proceedings. México: Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico-UNAM, Facultad de Ciencias de la Electrónica-BUAP, Universidad Tecnológica de Puebla, 2011. 1v.
- CORREA, J., *et al.* Biobjective Model for Redesign Sales Territories. *Proceedings of the 15th International Conference on Industrial Engineering Theory Applications and Practice, IJIE (México, DF, 2010)*. p. 1-6.
- GUO, J., *et al.* A multi-objective zoning and aggregation tool. *Proceedings of the Philippine Computing Science Congress, PCSC (Computing Society of the Philippines, 2000)*. p. 197–201.
- PALACIOS-ROJI, J., and PALACIOS-ROJI, A. *Por las Carreteras de México*. Guía Roji S. A. de C. V. (2010).
- PRIM, RC. Shortest connection networks and some generalizations. *Bell System Technical Journal*. 1957, vol. 36. p. 1389–1401.
- RICCA, F. A multicriteria districting heuristic for the aggregation of zones and its use in computing origin-destination matrices. *INFOR*, 2004, vol. 42, no. 1. p. 61-77.
- RÍOS-MERCADO, R., *et al.* Computational experience with GRASP for a maximum dispersion territory design problem. *Proceedings of the EU/Meeting (Porto, Portugal, 2009)*. p. 89-94.
- RUVALCABA, L.; CORREA, G.; and ZANELLA, V. Multiobjective Evolutionary Algorithm for Redesigning Sales Territories. *Proceeding of the International Conference Computational Logistic, ICCL, LNCS 6971, (Hamburg, Germany, 2011)*. p. 183–193.
- SALAZAR-AGUILAR, M. A.; GONZÁLEZ-VELARDE, J. L.; and RÍOS-MERCADO, R. Z. A divide-and-conquer approach to commercial territory design. *Computación y sistemas*. 2012, vol. 16, no. 32. p. 309-320.
- SALAZAR-AGUILAR, MA.; RÍOS-MERCADO, RZ.; and GONZÁLEZ-VELARDE, JL. GRASP strategies for a bi-objective comercial territory design problem. *Journal of Heuristics*, 2011. DOI 10.1007/s10732-011-9160-8.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Rutas punto a punto*. SCT. 2010. [ref. 25/01/2012]. [en línea] <<http://www.sct.gob.mx/carreteras/>>.
- TAVARES-PEREIRA, F., *et al.* Multiple criteria districting problems: The public transportation network pricing system of the Paris region. *Annals of Operations Research*. 2007, vol. 154. p. 69-92.



WEI, B.; and CHAI, W. A multiobjective hybrid metaheuristic approach for GIS based spatial zone model. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*. 2004, vol. 3, no. 3. p. 245–261.

ZOLTNERS, A.; and SINHA, P. Sales territory alignment: A review and model, *Management Science*. *Management Science*. 1983, vol. 29, no. 11. p. 1237-1256.

ZOLTNERS, A.; SINHA, P.; and LORIMER, SE. Sales force design for strategic advantage. 1a. ed. USA: New York, 2004. chap. 1 Designing and redesigning the sales force in today's changing world. p. 2-31.