

MODELACIÓN ESPACIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SUBCENTROS DE EMPLEO EN EL GRAN SANTIAGO

Rodolfo Sánchez, Universidad de Santiago de Chile, rodolfo.sanchez@usach.cl
Felipe Velasco, Universidad de Santiago de Chile, felipevelascogarcia@gmail.com
Marcos Medina, Universidad de Santiago de Chile, marcos.medina@usach.cl

RESUMEN

El artículo presenta una metodología de identificación de subcentros de empleos, a través de un modelo espacial aplicado en zonas EOD del Gran Santiago, utilizando una Regresión Local o Geográficamente Ponderada (LWR) para estimar valores de densidad laboral considerando la distancia vial desde el centro principal (CBD), determinando candidatos con valores residuales más significativos entre los valores conocidos y estimados. Una segunda etapa identifica los subcentros basado en matrices de contigüidad. Los resultados permiten afirmar la existencia de un sistema polinuclear laboral, observando potenciales espacios de desarrollo para un diagnóstico de estructura urbana y apoyo de estrategias territoriales.

Palabras claves: Policentrismo urbano, Subcentros de empleo, Gran Santiago

ABSTRACT

The paper presents a methodology for identifying employment subcenters, using a spatial model applied EOD areas of Gran Santiago, using a Local or Geographically Weighted Regression (LWR) to estimate employment density values considering the road distance from the Central Business District (CBD), determining candidates with significant residual values between observed and estimated values. A second stage identifies sub-centers using contiguity matrices. The results confirm the existence of a labor polynuclear system, noting potential areas for the development of urban diagnosis and territorial strategies.

Keywords: Urban Polycentrism, Employment subcenters, Gran Santiago

1 INTRODUCCIÓN

El Gran Santiago o Área Metropolitana de Santiago (AMS) es una de las ciudades más habitadas de América Latina y una de las 53 áreas metropolitanas más pobladas del mundo. Se caracteriza por concentrar una gran cantidad de servicios de distinta índole, tales como: financieros, salud, educación, recreación, comunicaciones, telecomunicaciones, tecnología, población y empleo, etc. Esto se puede sustentar en base a las empresas asociadas a servicios presentes en el área de estudio que para el año 2010 corresponden al 76,9% del total existente, considerando todas las categorías posibles, y a nivel nacional representa un 32,4% de la misma razón (SII, 2011).

Internamente, el AMS presenta un esquema que cuenta con un centro jerárquico, localizado específicamente en la comuna de Santiago, y con el cual comunas periféricas mantienen una fuerte dependencia, ya sea por actividades de cualquier tipo o por la necesidad de disponer de distintos servicios. Aun así dicha interacción ha ido paulatinamente disminuyendo, producto de distintos procesos demográficos que consideran entre ellos el explosivo desarrollo de la ciudad y un crecimiento poblacional que se ha ralentizado desde los años 90, en oposición a su expansión territorial. De esto último se puede agregar que históricamente el AMS creció entre los años 1961 y 1982 un 46%, mientras que entre los años 1983 y 2000 lo hace en un 104%.

Con respecto al dilema del crecimiento espontáneo existente en Santiago de Chile, el Plan Regulador Intercomunal Metropolitano de Santiago (PRIS) de 1960, proponía la generación de 15 subcentros, que serían situados estratégicamente para abastecer de equipamiento y servicios urbanos a la periferia de la ciudad. Posteriormente el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), con el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) de 1994, propuso el establecimiento de 12 subcentros llamados “subcentros de equipamiento metropolitano”, que tenían la función de reunir servicios para formar una red de descentralización de equipamientos acercándolos a los usuarios. El mismo propósito puede ser asociado a aquellos subcentros de naturaleza laboral, enfocados principalmente a la descentralización de dichas actividades.

La generación, identificación y potenciación de los subcentros de empleo, se ve reflejada en la necesidad de reducir la primacía laboral que posee el Central Business District (CBD), disminuyendo los costos de *commuting*¹ cuando acudan a sus actividades laborales. Por lo anterior, la potenciación de espacios de empleos y la consolidación de una estructura laboral menos concentrada posee una justificación en el ordenamiento territorial de la ciudad y la búsqueda de un espacio más eficiente, logrando de esta manera un equilibrio en las dinámicas urbanas y el crecimiento de la ciudad.

El objetivo de este estudio es generar una metodología que permita la identificación de subcentros de empleo, para caracterizar la estructura del Área Metropolitana de Santiago de Chile, mediante herramientas que establezcan éstos subcentros basados en la densidad laboral y las distancias de redes de transporte presentes en el territorio de análisis.

¹ El término *commuting* se entiende como los desplazamientos de los habitantes de un área metropolitana desde su lugar de residencia hasta el trabajo preferentemente, denominándose igualmente como “Viajero pendular” con lo cual es asociado a un trayecto realizado de forma regular y constante.

El desarrollo de modelos de identificación de subcentros se originan con McDonald (1987), bajo una metodología basada en la detección de picos de densidad de empleo en zonas contiguas, la cual es replicada por McDonald y McMillen (1990) con la incorporación de herramientas SIG, en ambos la densidad de empleo resulta ser la principal variable. Desde entonces, el análisis de subcentros es vinculado con la intensidad en que el territorio es ocupado por los trabajadores y con ello directamente a la densidad laboral, expresada en números de trabajadores por el área donde desarrollan sus actividades, la que es abordada bajo distintas metodologías posteriores.

Entre éstas, destaca el enfoque propuesto por Giuliano y Small (1991), que define como criterio para la determinación de subcentros, umbrales específicos de densidad laboral, que establecen una unidad de corte en función a una magnitud preestablecida que permite definir entidades espaciales como subcentros y la delimitación de su área colindante (la definición más generalizada de este tipo de umbrales considera un mínimo de 1.000 empleados por acre y un total de 10.000 empleados si considera a las zonas aledañas).

Otras metodologías basadas en métodos de mayor rigor estadístico utilizan procedimientos paramétricos y no paramétricos para la identificación de subcentros, entre las primeras está la desarrollada por McDonald y Prather (1994), que se basa en las diferencias entre la densidad real y la estimada bajo una función exponencial negativa. Dentro de las metodologías basadas en métodos no paramétricos se encuentran las elaboradas por McDonald y McMillen (1998), donde se realiza una estimación no paramétrica de la distribución de la densidad de empleo mediante la utilización de una Regresión Localmente o Geográficamente Ponderada (el acrónimo en inglés, LWR o GWR), que utiliza las distancias euclidianas de las unidades espaciales hacia el CBD como variables explicativas para la predicción de la densidad de empleo de cada una de las zonas.

Para el estudio, se seleccionó un modelo creado por Daniel P. McMillen (2001), que permite la identificación no paramétrica de subcentros de empleo, haciendo uso de una regresión que estima valores de densidad de empleo en función con la distancia existente al principal núcleo laboral del área de estudio. Aquellas unidades espaciales que presenten las mayores diferencias positivas entre el valor real de densidad laboral y el valor calculado anteriormente se consideran como candidatos seleccionables. Luego, en función de las Matrices de Contigüidad por Luc Anselin en el año 1988 y utilizadas por McMillen en el año 2003, se busca determinar las estructuras urbanas comprendidas por los candidatos determinados en la primera fase con la regresión no paramétrica, para establecer las áreas de influencia y constituir los subcentros de empleo como tales. El modelo a generar en el estudio, considerará la incorporación de los dos métodos anteriormente señalados, en la búsqueda de definir candidatos de un modo cuantitativo, y cuya estructuración posea un sentido geográfico.

Aplicaciones de estas metodologías no han sido fuertemente desarrolladas en el contexto Latinoamericano, ni menos en el nacional, aun cuando la identificación de subcentros de empleo es una herramienta fundamental para el planificador territorial, ya que su influencia en el entorno (mayor concentración demográfica y de actividades) permiten asegurar una intervención efectiva y eficiente en los espacios urbanos, favoreciendo la inserción de servicios, equipamientos junto con la consecución de objetivos como la descentralización y el desarrollo urbano.

Cabe añadir que en ningún caso estas metodologías consideran las distancias de viajes, en función a la red de transporte entre las zonas de estudio, lo cual reduce la observación de la real influencia que generan los subcentros de empleo en las unidades territoriales próximas. Lo anteriormente dicho, es de vital importancia cuando existen relevantes diferencias entre las distancias euclidianas y de transporte entre un punto de origen y otro de destino.

A continuación se presenta el modelo espacial para la identificación de subcentros de empleo (2), seguido de la aplicación del modelo en el Gran Santiago (3), finalizando con las conclusiones (4) y referencias del trabajo.

2 MODELO ESPACIAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE SUBCENTROS DE EMPLEO

La consideración de la densidad laboral que presenta un área específica, basado en la atracción de población interna como desde otras comprendidas en la región de estudio por motivos laborales, resulta ser la variable expuesta más frecuente y sin duda la que refleja de manera más clara y fiel la localización de subcentros de empleo.

Si consideramos que la existencia de un núcleo predominante atrae y moviliza el mayor número de empleados hacia éste y cuya oferta laboral disminuye con la distancia. Entonces, esto resulta ser una variable significativa para, en primera instancia, limitar en una estructura monocéntrica la capacidad de generar empleos y para observar en una estructura policéntrica, la irrupción de un nuevo subcentro.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede señalar que la densidad laboral de una unidad espacial pudiese ser explicada en función a la distancia existente hacia el CBD, suponiendo un sistema mononuclear inicial, donde los valores que escapen a dicha relación (obteniendo mayores valores de densidad en función a lo esperado) responden como excepciones espaciales, las que probablemente tengan una influencia marcada en su entorno más cercano. La determinación de dicha variable y la relevancia de su utilización, está referida principalmente en la homogeneización espacial de la influencia de una unidad geográfica en la densidad laboral, esto permite emparejar las condiciones frente a la fuerte disparidad de superficie que se observa en el AMS, cualquiera sea el tipo de elemento espacial seleccionado.

Para describir y predecir la relación entre los valores de empleo y la distancia al principal proveedor de éstos, se hace necesario comprender las herramientas que permitan, de mejor manera, representar este vínculo. Por ello la utilización de regresiones debe responder al contexto espacial al cual se asocian las variables.

2.1 Regresiones Paramétricas y No Paramétricas

Las regresiones relacionan una variable dependiente y un conjunto de variables independientes. Las regresiones pueden ser paramétricas y no paramétricas. Las primeras, se configuran en un proceso estacionario y parten de una función de distribución conocida, donde se reduce el problema a estimar los parámetros que mejor ajusten las observaciones de la muestra. Su utilidad se maximiza en la forma en que los datos sigan dicha distribución. Las segundas en cambio, conocidas también como métodos de distribución libre, debido a que no se encuentran sujetos a

ninguna forma funcional, en otros términos, no impone hipótesis que ajusten la función de regresión, más bien son los datos quienes la determinan. Dichos modelos presentan pocas restricciones, por tanto en ocasiones resultan más fáciles de aplicar que los paramétricos y permiten “reconstruir” la función de distribución en todo tipo de situaciones, incluidas aquellas en las que la forma funcional sea sencilla y conocida (por ejemplo, lineal). A modo de síntesis, las principales diferencias existentes entre las regresiones paramétricas y las de tipo no paramétricas es que las primeras buscan establecer homogeneidad y no poseen una flexibilidad para atender la complejidad espacial del comportamiento de las variables, el segundo grupo se mueve libremente en la generación de distintos modelos, en el cual no existe ninguna asignación previamente determinada que limite la estimación y descripción de las variables utilizadas. Dadas las características del problema y su naturaleza fuertemente espacial, los modelos paramétricos podrían parecer poco flexibles para ajustarse a todo tipo de situaciones. Además en la búsqueda de subcentros de empleo, se debe considerar que dicha situación resulta ser una anomalía o excepción en la regresión, la cual es mejor abordada desde un sentido no paramétrico.

2.2 Regresión Geográfica o Localmente Ponderada (GWR o LWR)

La *Regresión Localmente Ponderada* es una técnica de estimación del tipo “vecino más cercano” y de aproximación no paramétrica, esto referido a que no establece una hipótesis de ajustes a la regresión y en donde son los mismos datos quienes determinan dicha función, obteniendo parámetros locales, los cuales están basados en información de las unidades tomando una distancia establecida, la predicción principal busca generar ponderaciones mayores a aquellas observaciones más próximas, intentando estimar la variable dependiente con el menor error en relación a la respuesta observada, en un proceso denominado alisado (Cleveland, 1979).

En este proceso, la variable dependiente es alisada como una función de las variables independientes de manera móvil, similar a una media móvil de una serie temporal. Para entenderlo es preciso comprender que el proceso viene desde la siguiente función:

$$y_i = g(x_i) + \varepsilon_i, \text{ con } i = 1, \dots, n \quad (1)$$

Donde:

- y_i = Variable dependiente.
- $g(x_i)$ = Función de ajuste.
- x_i = Variable independiente.
- ε_i = Error o perturbación.

Los valores asociados a $\hat{\beta}_j$ (parámetros locales de la regresión) contienen ponderaciones que varían en función a la proximidad, esta fluctuación se establece mediante la generación de pesos en relación a las distancias en una función denominada de núcleo o *Kernell* para estimar la media condicionada de una regresión por Mínimos Cuadrados Ponderados para cada observación (McMillen, 1996). La función *Kernell* o $W(\psi_{ik})$ determina el peso o ponderación asignada a las de las observaciones i recibidas, en relación a la distancia con el punto k , este valor será asociado a la longitud vial que separa cada unidad espacial de su principal y único centro de empleos. El valor ψ presente en la función de *kernell* corresponde a la siguiente razón:

$$\psi_{ik} = \left(\frac{|x_{ik} - x_i|}{h} \right) \tag{2}$$

Donde:

$|x_{ik} - x_i|$ = Distancia comprendida entre la observación i y k.

h = Ancho de banda.

ψ_{ik} = Valor para observación i a utilizar en función *Kernell*

Se observa en la ecuación anterior, que el ancho de banda es un valor que determina la intensidad que los pesos varían en función de la distancia, es decir, en cuanto afecta a los valores dependientes. Cuanto más alto sea su valor, la regresión poseerá mayor suavizado o menor influencia del peso asignado, afectando directamente en el cálculo final de $W(\psi_{ik})$. El ancho de banda puede ser fijado en un valor fijo para todos los puntos de una vecindad elegida, aunque también puede variar según el punto de destino como se hizo en este trabajo, donde se considera la diferencia entre la mayor distancia existente entre las unidades espaciales y el CBD.

Existen distintas funciones de núcleo o *Kernell*, las cuales tratan de modo distinto los pesos existentes (Tabla 1). En razón a lo expresado por McMillen (2001), la determinación de dicho valor no influye significativamente en los resultados predichos.

Tabla 1. Tipología de funciones *Kernell*.

Nombre	$W(\psi)$	Dominio
Rectangular	1	$-1 < \psi < 1$
Triangular	$1 - \psi$	$-1 < \psi < 1$
Epanechnikov	$1 - \psi^2$	$-1 < \psi < 1$
Bisquare	$(1 - \psi^2)^2$	$-1 < \psi < 1$
Tricube	$(1 - \psi^3)^3$	$-1 < \psi < 1$
Triweight	$(1 - \psi^2)^3$	$-1 < \psi < 1$
Gaussian	$e^{-5\psi^2}$	$-\infty < \psi < \infty$

Fuente: Elaboración Propia en base a Libro *Applied Smoothing Techniques*, Zucchini (2007).

Las principales variaciones que presentan los tipos de funciones enseñadas en la tabla anterior, están asociados a la conducta que tendrá el peso asignado en la regresión, destacando la denominada *Triweight* como aquella de comportamiento más explosivo, donde el peso influye más significativamente, en tanto que la de tipo “*Gaussian*” es la que posee una influencia más moderada y no tan marcada en los pesos asignados.

Entendiendo que el cálculo considera determinar el valor de los parámetros locales $\hat{\beta}_j$, como una regresión de mínimos cuadrados ponderados, en donde se busca minimizar el error existente en la mayor medida, entendiéndose este último como la diferencia entre el valor estimado y el predicho. Luego, en concordancia con el procedimiento en los mínimos cuadrados ordinarios la expresión a minimizar corresponde a:

$$\sum_{i=1}^n (e_i)^2 = \sum_{i=1}^n \left(y_i - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 x_{2i} - \hat{\beta}_3 x_{3i} - \dots - \hat{\beta}_k x_{ki} \right)^2 \tag{3}$$

De la ecuación anterior, tras un simple arreglo matemático, es posible establecer lo siguiente:

$$\sum_{i=1}^n y_i x_{ki} = \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{ki} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{ki} + \hat{\beta}_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} x_{ki} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n x_{ki} x_{ki} \quad (4)$$

Separando la función ponderadora (Kernell) del valor paramétrico, la ecuación anterior puede establecerse del siguiente modo:

$$\hat{\beta}_j(x_i) = \left(\sum_k w_{ik} x_k x'_k \right)^{-1} \sum_k w_{ik} x_k y_k \quad (5)$$

Finalmente reemplazando la anterior ecuación, es posible determinar la función de estimación de valores, como se señala a continuación:

$$\hat{y}_i = \hat{g}(x_i) = x'_i \hat{\beta}_j(x_i) = x'_i \left(\sum_k w_{ik} x_k x'_k \right)^{-1} \sum_k w_{ik} x_k y_k \quad (6)$$

En síntesis, esta herramienta calcula estimadores locales que consideren la información de las unidades dentro de una distancia establecida, asignando como se mencionó anteriormente, mayor peso a las más cercanas en desmedro de las más distantes.

Existen diversas herramientas informáticas para obtener una regresión geográficamente ponderada. Destacan los paquetes para el software R, como el desarrollado por Daniel McMillen denominado McSpatial. De igual modo ocurre con el elaborado por Roger Bivand y Yu Danlin, denominada SPGWR y con el GWRR realizado por David Wheeler. Por otro lado, existe un software denominado GWR4 realizado por Tomoki Nakaya. El software SpaceStat que posee diversos análisis espaciales incluyendo dicha regresión. Además destaca la herramienta vinculada al software de sistema de información geográfica ArcGIS en su módulo de análisis espacial.

2.3 Matrices de Contigüidad o Adyacencia Espacial

El objetivo de las Matrices de Contigüidad Espacial es identificar un subcentro mediante el empleo de las propiedades estándar de estas matrices, que es un algoritmo de econometría espacial que simplifica el procedimiento de identificación. Las matrices de contigüidad o también llamadas matrices de pesos espaciales o de interacción espacial, según Aroca (2000) en su trabajo dice que es “una de las formas más comunes de representar la ubicación geográfica de un conjunto de polígonos”. Existen autores que también la denominan “matriz de ponderaciones Cliff-Ord”, en honor a quienes la formularon por primera vez (Anselin, 1988A).

Inicialmente se debe conocer el concepto de vecindad. Los autores Moreno y Vayá (2000) plantean que una población será considerada como vecina de otra de primer orden, siempre y cuando compartan una frontera en común (borde, vértice o radio), en otras palabras, serán vecinos siempre que sus límites geográficos sean coincidentes en al menos un punto. De todas

formas, esta definición se puede extender al caso en el que dos unidades espaciales no son vecinas directamente, es decir dicha conexión debe realizarse en más de un paso, es el caso de la vecindad de segundo orden, en el que existe una tercera unidad espacial en medio.

Las matrices de contigüidad muestran que las extensiones se pueden hacer en pasos. “Un paso”, se refiere cuando una unidad geográfica comparte una frontera en común con otra unidad geográfica adyacente, es decir, como se dijo anteriormente es una vecindad de primer orden. “Dos pasos”, significa cuando una unidad geográfica comparte una frontera en común con otra unidad geográfica adyacente, y ésta a su vez, comparte una frontera en común con alguna otra unidad geográfica adyacente, es decir, como se dijo anteriormente es una vecindad de segundo orden, y así para las siguientes extensiones, si es que existen. Existe un gran número de formas para definir la presencia o ausencia de adyacencia o contigüidad, haciendo una analogía con el “juego del ajedrez”, algunas de las situaciones se definen a continuación:

- **Contigüidad de Torre o Criterio de borde común:** este tipo de criterio se define $W_{ij} = 1$ para unidades que comparten un lado o borde con la región de interés.
- **Contigüidad de Alfil o Criterio de vértice común:** este tipo de criterio se define $W_{ij} = 1$ para unidades que comparten un vértice común con la región de interés.
- **Contigüidad de Reina o Criterio de radio:** este tipo de criterio se define $W_{ij} = 1$ para unidades que comparten un lado en común o un vértice con la región de interés.

Para McMillen (2003), los subcentros de empleo se definen como zonas con una densidad laboral significativamente más alto que los sitios vecinos. En esta publicación propone un procedimiento en donde trabaja con el subconjunto de extensiones que han sido identificados como posibles subcentros utilizando el enfoque de Giuliano y Small (1991), en el cual, incluye un umbral de corte con la densidad de empleo superior a la mínima de 10 trabajadores por acre y junto con al menos 10.000 empleados, con esto define un número de candidatos de subcentros. Luego, para determinar la real dimensión y número final de los nuevos núcleos usó las matrices de contigüidad, es por eso que le fue posible encontrar los conjuntos de los territorios adyacentes que tenían densidades superiores al valor de corte en una simple multiplicación de matrices.

3 APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se mostrará la aplicación del Modelo Espacial mediante la Metodología para la Identificación de Subcentros de Empleo anteriormente explicada.

3.1 Inputs de entrada para el Modelo Espacial

A continuación se señalan los datos de entradas utilizados para la aplicación del modelo espacial.

- **Densidad de Empleo y CBD.** En busca de la aplicación del Modelo Espacial para la Identificación de Subcentros de Empleo, se consideró como datos que reflejan los valores de empleabilidad de cada zona geográfica al número de población que realizó viajes con destino este objetivo (laboral o “al trabajo”) para un periodo normal excluyendo el periodo estival, registrados en la Encuesta Origen-Destino (EOD 2006) realizada por SECTRA, considerando como unidad mínima de análisis geográfico los denominados “Distritos EOD”. Se identifica la presencia del

CBD asociada a la comuna de Santiago, vale señalar que su ubicación en términos espaciales no se limita a dicho territorio, más bien indica desde donde surge el distrito, que denominaremos como núcleo o cabecera, del cual se desarrolla un área de influencia que finalmente conforma al principal centro de empleo de la zona de estudio. La determinación de dicho núcleo se establece con la identificación dentro de la comuna seleccionada, del distrito que actúa en forma individual como la principal fuerza atractora.

- **Distancias Planimétricas hacia el CBD.** El objetivo de considerar distancias viales para la búsqueda del real costo en los viajes realizados de la población trabajadora hasta el principal centro de empleo (CBD) a flujo libre. Esto se diferencia de las metodologías anteriormente realizadas por los autores mencionados, que consideran distancias euclidianas para la identificación de subcentros de empleo. Esta diferenciación resulta de gran relevancia, aún más si se toma en cuenta la geografía del área de estudio, en el momento de dimensionar los subcentros de empleo, así como la real influencia del centro principal. Para la obtención de los valores de distancias planimétricas en el área de estudio entre cada distrito y su CBD, se realizó una matriz de costos desde el software TransCAD 4.5, en el cual se calculó la ruta mínima en base a la red vial del año 2006.

3.2 Aplicación de la Regresión Geográficamente o Localmente Ponderada (GWR)

Tomando en cuenta los valores de entrada anteriormente obtenidos, se generó una base de datos de trabajo que contienen los siguientes campos para todos los distritos: Comunas, Zonas EOD, Área, Propósito, Población laboral, Distancias hacia el CBD, y Densidad laboral. En la generación de la regresión, se consideró como variable explicativa o independiente al campo correspondiente a Distancias hacia el CBD expresada en metros, mientras que como variable dependiente, se definió el campo Densidad laboral (trabajador/km²).

Para esta regresión se utilizó el software *SpaceStat*, elaborado por Luc Anselin, quien luego de la publicación de su libro "*Spatial Econometrics: Methods and Models*" (1988), busco con esta herramienta ayudar en las estadísticas geográficas, junto con los métodos y modelos explicados en dicho libro, permitiendo presentar visualmente el aspecto espacial de los datos.

La GWR arrojó 240 distritos candidatos a subcentros de empleo de un total de 779, equivalente al 31%, que giran en torno al distrito central de negocios (CBD) como se puede apreciar en la Figura 1.a. Todos ellos, obtuvieron valores residuales estadísticamente significativos al 5%, en otras palabras, existe un 95% de la veracidad en los resultados obtenidos, por lo tanto, poseen un alto grado de confianza. Esto se calculó, siguiendo el procedimiento realizado por McMillen (2001), en base a la división entre el valor residual (resultante del valor estimado de la densidad de empleo con respecto al predicho por la regresión) y el error estándar de esta, considerando como potenciales candidatos a aquellos cuya razón supera el valor de 1,96, valor asociado a la función normal en los valores comprendidos en el 2,5% del límite superior de dicha curva.

La distribución de estos distritos seleccionados, se encuentra uniformemente repartida en el AMS (Figura 1.a), destacando su nula existencia en las comunas de Lampa, Calera de Tango y Pirque. En cambio aquellas tres que resultaron indicar la mayor cantidad de candidatos, fueron en primer lugar Santiago con 21 distritos (8,75% del total), seguido por La Florida con 20 distritos (8,33%),

Maipú con 14 (5,83%) y Pudahuel con 11 (4,58%), al igual que San Joaquín. Resalta en último lugar la comuna de Colina con un sólo distrito ubicado en la zona de Chicureo (0,42%).

3.3 Aplicación de las Matrices de Contigüidad

Para la obtención de unidades mayores, que finalmente definan el subcentro (considerando la influencia en los distritos cercanos o “contiguos”), se requiere de la cobertura asociada al AMS en formato *shapefile* de Esri² (software ArcGIS 10), a partir de la cual, se pueden obtener los límites o fronteras entre las unidades espaciales. Dicho trabajo será desarrollado desde software *SpaceStat*, que cuenta con herramientas que determina de manera automática esta operación.

Con *SpaceStat* se realizó la determinación de los *cluster*³ que definirán completamente la selección de los subcentros de empleo, generando polígonos de adyacencia derivados de las relaciones existentes entre los candidatos (tomando en cuenta aquellos vecinos más próximos) y la existencia de un lado o un vértice común en su geografía. Es importante añadir que dicho procedimiento, está fuertemente vinculado con las características espaciales que posea el área de estudio donde se ejecuta, ya que, cuando dichas unidades se posicionan de forma irregular, puede ser fácil conocer las fronteras entre las distintas unidades geográficas. Sin embargo, cuando las unidades pertenecen a una cuadrícula regular la determinación de la contigüidad no es única.

El grado de vinculación de la contigüidad y proximidad existente entre dos regiones puede depender de la distancia entre sus centros geográficos, o puede estar relacionada con la longitud de la frontera común de las regiones Stetzer (1982), Anselín y Rey (1991), Florax y Rey (1995).

SpaceStat calcula dichas relaciones a partir de diferentes conjuntos de pesos espaciales, basándose en dos criterios disponibles relacionados con los mencionados movimientos del juego de Ajedrez, estos son denominados torre y reina (movimientos de torre y alfil), los cuales están asociados al orden de proximidad existentes entre cada polígono. Los pesos mencionados anteriormente, poseen valores binarios (donde los valores 1 son asociados a los vecinos) o continuos (donde los valores se vinculan al inverso de la distancia entre los puntos o la longitud de una frontera compartida entre polígonos). El procedimiento realizado consistió en la generación de pesos espaciales, asociado a la definición de vecindad, asignando posteriormente valores de peso que concluyen en la conformación de las estructuras buscadas.

El propósito de la generación de matrices de adyacencia para los distritos candidatos, es realizar una aglomeración de éstos para la identificación definitiva de los subcentros de empleo. Para ello se utilizó el criterio de “reina”, en el cual resalta los vecinos de los lados y de los vértices comunes, formando la unidad urbana que será el subcentro final. Se eligió este criterio de reina, haciendo la analogía con el juego del ajedrez, debido a la amplitud de movimientos que puede llegar a realizar, en este caso, abarcando un área de influencia geográfica importante, a diferencia del criterio de torre que solamente tiene un movimiento horizontal como vertical.

² Economic and Social Research Institute.

³ Según Porter (2000), “los *clúster* son concentraciones geográficas de empresas interconectadas, proveedores de bienes y servicios especializados, empresas en industrias relacionadas e instituciones asociadas (por ejemplo universidades, agencias de estandarización o asociaciones de comercio) en un campo determinado que compiten pero también cooperan”.

La construcción de subcentros de empleo permitió identificar 66 unidades espaciales distribuidas en todo el AMS. Destaca una tendencia a localizarse en la zona sur, aunque no generan un comportamiento simétrico en su constitución. Esto es posible observarlo en la Figura 1.b.

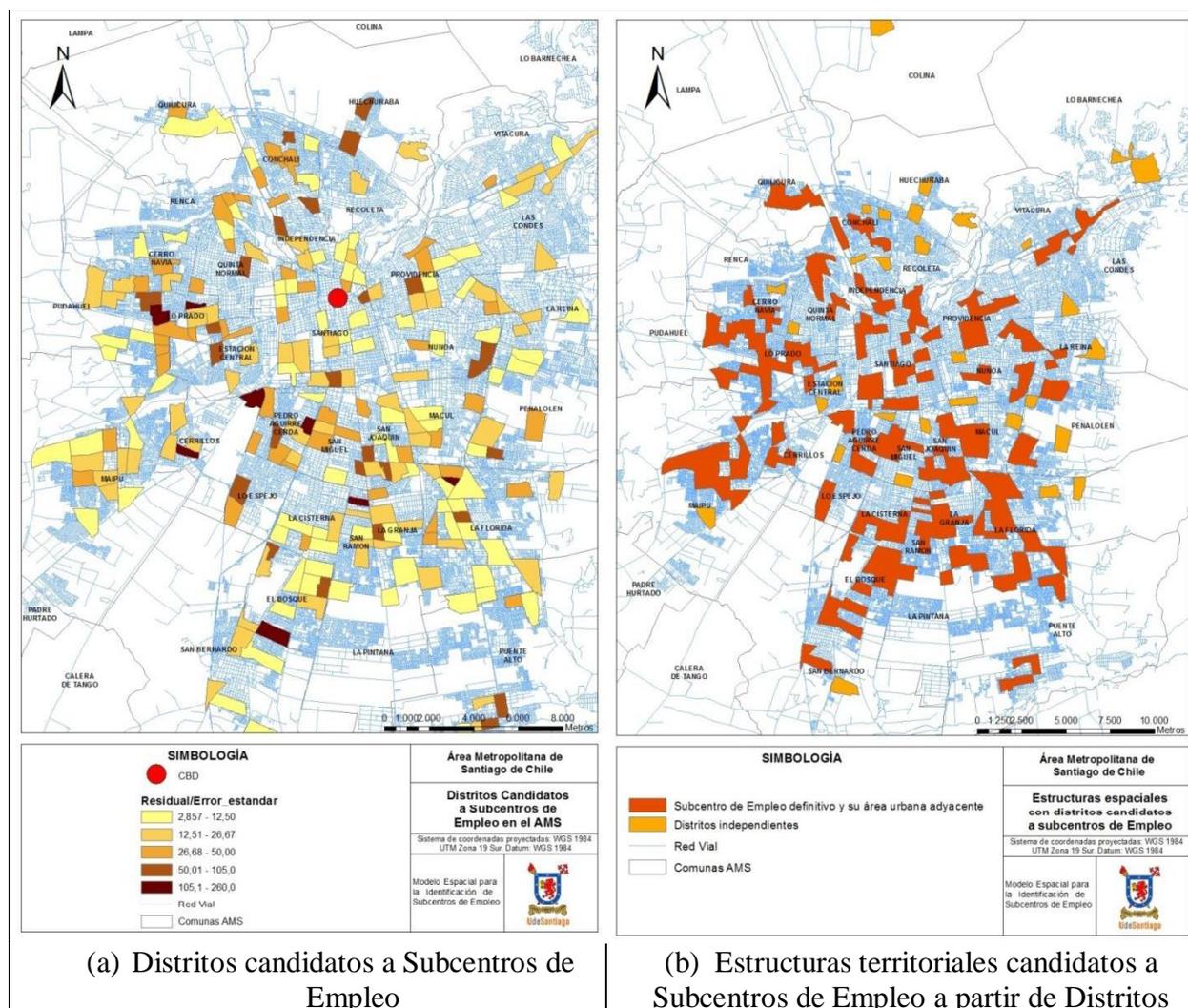


Figura 1. Distritos y estructuras territoriales candidatos a Subcentros de Empleo en el AMS. Fuente: Elaboración Propia utilizando SIG, ArcGIS 10.

3.4 Clasificación de Subcentros de Empleo

De las 66 unidades espaciales iniciales que fueron conformadas tras el proceso de contigüidad, se identificaron exclusivamente 35 subcentros de empleo consolidados, de los cuales 5 son asociados al área de influencia de la cabecera del centro principal o CBD. Aquellos distritos que no presentaban conexión o proximidad con otros candidatos no fueron considerados, porque no se considera solamente que posea un grado de densidad laboral destacable, sino que también debe influir en las zonas más cercanas. Por ello, 33 candidatos no tuvieron lugar en la clasificación final, denominándose como distritos independientes con potencialidades para el desarrollo de un subcentro, destacando Chicureo, que al igual que los identificados en Lo Barnechea, carecen de

una influencia más allá del propio distrito, con lo cual, se presentan como posibles espacios a ser potenciados para la generación real y efectiva de un centro de empleos como tal, igual situación se observa en los distritos existentes en la comuna de Huechuraba, los cuales no registran proximidades que permitan generar una estructura espacial mayor. Este tipo de categoría da cuenta de espacios de atracción laboral específicos y cerrados, donde si bien se desarrolla una fuerte actividad de empleo, estas se encuentran condicionadas y limitadas exclusivamente en dichas áreas sin establecer polos de desarrollo o atracción laboral. Sin desmedro de lo anterior, dichas localizaciones presentan un futuro potencial de subcentro de existir intervenciones viales.

3.5 Comparación Modelo Espacial de Identificación de Subcentros de Empleo con la Metodología MINVU del PRMS 1994

El MINVU formuló el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS, 1994) que identificó 12 puntos potenciales que podrían generar subcentros de equipamiento alternativos al principal.

Comparando la normativa con los resultados obtenidos, se observan disimilitudes entre ambos. Una primera disimilitud es que el MINVU identificó puntos estratégicos como subcentros de equipamiento metropolitano sin definir la superficie que ocupan éstos, en cambio el modelo espacial propuesto identifica sitios para subcentros de empleo determinando la expresión espacial de éstos, entendiendo que los primeros tienen como finalidad la reunión de servicios que permitan formar una red de descentralización, con el fin de acercarlos a los usuarios. Por otra parte, los subcentros de empleo identificados son áreas de absorción laboral significativas, que aunque no estén directamente relacionados con los del tipo anterior, mantienen una conexión importante en función de las dinámicas de mercado y urbanas. La metodología usada por el MINVU para la elección de los potenciales subcentros no fue hecha al azar, pero sí con un carácter más conceptual que aplicado. El MINVU consideró que tuvieran primero que todo, una alta densidad de población, buenas características viales y que los terrenos fueran aptos para construir espacios destinados a servicios. En cambio, el modelo espacial utiliza variables que responden concretamente a la tipología del subcentro buscado. Debe quedar claro que el PRMS establece estos lugares a modo de recomendación, ya que no se restringe la alternativa de generar subcentros metropolitanos en otros sitios diferentes a los propuestos. De los puntos estratégicos sugeridos en el PRMS 1994, y haciendo hincapié que la realidad objetiva muestra una cosa distinta que la teoría, actualmente sólo algunos se desarrollaron de manera considerable.

Otra disimilitud del Modelo espacial con la metodología MINVU, es que en el PRMS 1994 se consideraron subcentros que no presentan conexión o proximidad con otros subcentros identificados, como el de Huechuraba/Recoleta. El Modelo espacial estima que un subcentro de empleo debe tomar en cuenta no solamente una alta densidad laboral, sino también debe influir en las zonas más cercanas, generando un polo de desarrollo en dicha área de influencia. Además, la metodología responde a las dinámicas preexistentes del mercado actual, lo cual es interesante en la perspectiva de que tanto las actividades económicas definen y construyen el espacio urbano bajo las limitantes de las regulaciones existentes, así como, estas incitan y facilitan el desarrollo de unos u otros, particularmente en las redes de transporte disponibles.

También se observan similitudes entre los resultados obtenidos por la metodología del modelo espacial y el PRMS 94 (MINVU), dando cuenta que los puntos propuestos por este último, se encuentran posicionados sobre conurbaciones generadas con el modelo. A favor de este trabajo,

es válido añadir que la generación de subcentros de empleo está completamente demarcada y resulta poseer menores características cualitativas que generan ambigüedad en el posicionamiento o localización de dichas áreas de influencia (Figura 2).

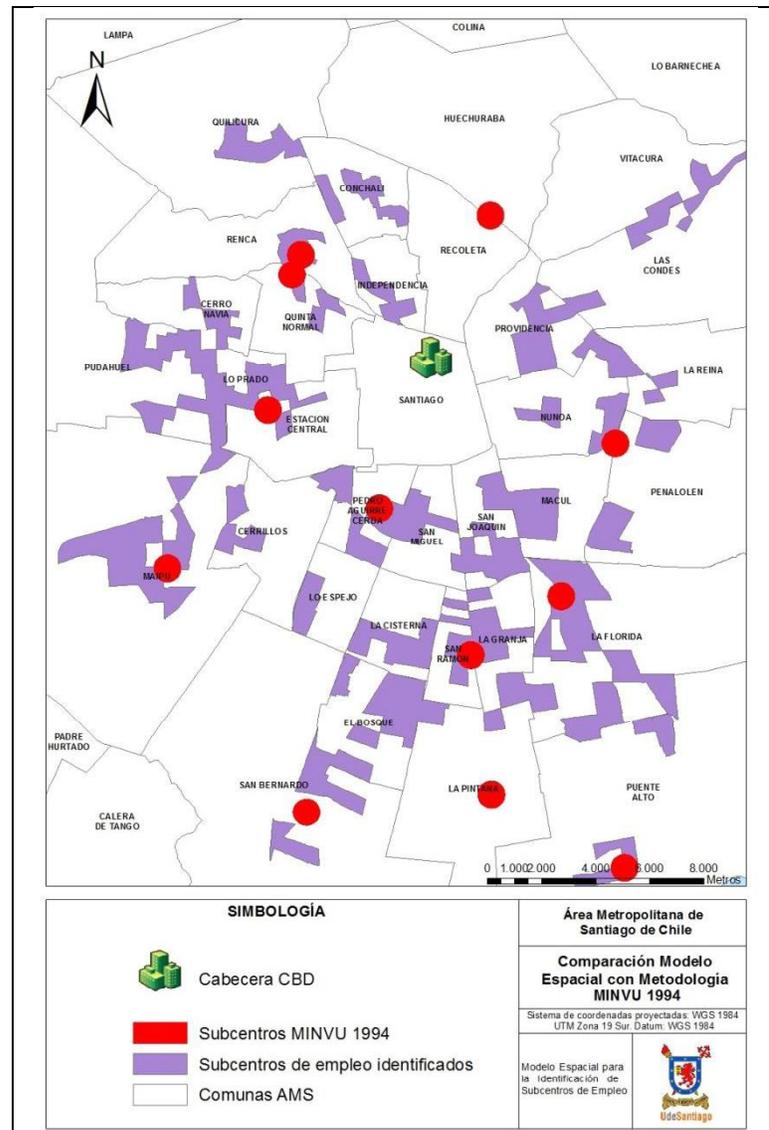


Figura 2. Comparación de resultados obtenidos con Subcentros PRMS 1994.
Fuente: Elaboración Propia utilizando SIG, ArcGIS 10.

4 CONCLUSIONES

Respecto a la determinación de subcentros de empleo, los procedimientos realizados dan muestra de distintos niveles de objetividad y precisión asociados a criterios locales. Los métodos más objetivos observados, en preferencia por la estandarización de un procedimiento metodológico, fueron considerados

El desarrollo de este trabajo permitió observar la real estructura laboral del área de estudio, mostrando hasta qué nivel existe una fuerza policéntrica, que determina las dinámicas territoriales

presentes. Aún bajo la presunción de una estructura monocéntrica y un crecimiento desde este núcleo, la identificación de subcentros de empleo permitió observar claramente cómo interactúan dichas unidades frente al empleo. Con ello fue posible observar la existencia de un centro principal de empleo, situado en la comuna de Santiago, que se expande hacia Providencia y Recoleta, el cual, si bien no posee el carácter de único centro de empleo, posee una posición jerárquica asentada en una superioridad incuestionable en lo referido a la atracción laboral. De igual manera, es factible indicar la existencia de subcentros que se incorporan como anillos concéntricos al mencionado CBD, que junto a un grupo más periférico dan señales de un policentrismo laboral consistente, el cual se distribuye conforme a una red de actividades.

Asimismo, destaca la escasa observación de subcentros en comunas de naturaleza más periféricas (por ejemplo Calera de Tango), donde exclusivamente se advirtió en muchos casos distritos aislados. Estos últimos no constituirían un subcentro laboral, bajo la definición establecida por los autores señalados en este documento, sino más bien responden a sectorizaciones de actividades laborales tales como Chicureo o la “ciudad empresarial” en Huechuraba. De todas formas, puntos como los casos anteriores, que como se mencionó se ubican en los sectores más periféricos (Lo Barnechea, Colina entre otras comunas) del área de estudio, resultan ser ante el desarrollo de acciones de índole territorial, cabeceras y puntos estratégicos para el desarrollo de nuevos espacios laborales en donde se impulse la conformación de un subcentro de empleo constituido como tal, así como impulsar el surgimiento de otros en zonas desprovistas, afectando en variables como la red vial o estímulo de la localización de actividades.

En otro aspecto, la metodología resultante valida completamente lo expresado por McMillen en su artículo del año 2001, en donde un subcentro de empleo se transforma en un punto de referencia del territorio, parte importante de la estructura urbana y no únicamente un sector con mayor densidad laboral. Lo anterior se observa en cada subcentro generado, que influye en áreas colindantes, y en general, esto demuestra que un subcentro de empleo es un subsistema urbano capaz de articular el territorio que lo rodea, tanto por el orden económico como por los aspectos socioculturales. Estos subcentros con alta densidad laboral, además de ser generadores de concentración, tienen un papel fundamental en la estructuración y articulación de las condiciones de densidad laboral en el resto de la zona de estudio, como se pudo apreciar en los resultados para la identificación de estos subcentros de empleo.

A modo de recomendación se establece la posibilidad de realizar proyecciones y distintos análisis temporales, así como la comparación de distintas unidades geográficas. De igual manera, es viable validar los resultados en razón a otras fuentes de información laboral y reducir o modificar las áreas de influencia de los subcentros laborales identificados.

Referencias

- Anselin, L. (1988) **Spatial Econometrics: Methods and Models**. Published by Kluwer Academic Publishers.
- Beckman (1969) On the distribution of urban rent and residential density. **Journal of Economic Theory**.
- Chapin and Kaiser (1979) Urban land use Planning. **Journal of American Institute of Planners**, Vol. 23 152 – 153.

- Cleveland, W. (1979) Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots. **Journal of the American Statistical Association**, 74 (368): 829–836, 1979.
- Craig, S., (2001) Using Quantile Smoothing Splines to Identify Employment Subcenters in a Multicentric Urban Area. **Journal of Urban Economics** 49, 100 – 120.
- Henderson, V. y Slade, E. (1993) Development Games in Non-monocentric Cities. **Journal of Urban Economics**, Elsevier, vol. 34(2), 207-229.
- Fujita, M. (1989) Urban Economic Theory: Land Use and City Size. **The Press Syndicate of the University of Cambridge**.
- Fujita, M. y Ogawa, H. (1982) Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations. **Regional Science and Urban Economics**, Elsevier, vol. 12(2), 161-196.
- Giuliano, G. y Small, K. A. (1991) Subcenters in the Los Angeles region. **Regional Science and Urban Economics** 21, 163–182.
- Growth and Change (1980) Recent trends in urban spatial structure. **A Journal of Urban and Regional Policy**, Vol. 11, 2-64.
- McDonald, J.F. (1987) The identification of urban employment subcenters. **Journal of Urban Economics** 21, 242–258.
- McDonald, J. F. y McMillen, D. (1990) Employment subcenters and land values in a polycentric urban area: The case of Chicago. **Environment and Planning A** 22, 1561–1574.
- McDonald, J. F. y Prather, P. J. (1994) Suburban employment centers: The case of Chicago. **Urban Studies** 31, 201–218.
- McMillen, D. (1996) One hundred fifty years of land values in Chicago: A nonparametric approach. **Journal of Urban Economics**, 40, 100–124.
- McMillen, D. (2001) Nonparametric Employment Subcenter Identification. **Journal of Urban Economics**, 50, 448 – 473.
- McMillen, D. (2003) Identifying Sub-centres Using Contiguity Matrices. **Urban Studies**, Vol. 40, No. 1, 57 – 69.
- McMillen, D. and McDonald, J. (1998) Suburban subcenters and employment density in metropolitan Chicago. **Journal of Urban Economics**, 43, 157–180.
- McMillen, D. and McDonald, J. (1998) Population density in suburban Chicago: A bid-rent approach. **Urban Studies**, 35, 1119–1130.
- McMillen, D. and Smith, S. (2003) The number of subcenters in large urban areas. **Journal of Economics**, 53, 321 – 338.
- MIDEPLAN (2004) **Actualización y Recolección de Información del Sistema de Transporte Urbano, III Etapa**. Ministerio de Planificación y Coordinación en conjunto con la División Ingeniería de Transporte de DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Mills (1972) Studies in the Structure of the Urban Economy. **Urban Economics**.
- Mills y MacKinnon (1973) Notes on the New Urban Economics. **The Bell Journal of Economics and Management Science** 4, 593 - 601.
- MINVU (1994). **Plan Regulador Metropolitana de Santiago**, Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Moreno R. y E. Vayá (2000) **Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: La Econometría Espacial**, Universidad de Barcelona.
- Sánchez, R. y Velasco, F. (2013) **Modelo Espacial para la Identificación de Subcentros de Empleo: Aplicación en el Área Metropolitana de Santiago de Chile**. Trabajo de título, Departamento de Ingeniería Geográfica, Universidad de Santiago de Chile.