
XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.

El uso de la técnica de autocorrelación espacial en la definición de los determinantes sociales de la salud del Área Metropolitana de Santiago de Chile

Manuel Fuenzalida Díaz^{a*}, Rodrigo Guerrero^b, Víctor Cobs^a

^a*Departamento de Geografía, Universidad Alberto Hurtado*

^b*Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*

Resumen

La triada epidemiológica [Persona: ¿Quién?, Tiempo: ¿Cuándo?, Lugar: ¿Dónde?] requiere de la adopción de unidades espaciales Ad hoc para la representación de indicadores. Esto se debe a que la salud es el resultado de la relaciones de los grupos sociales en su territorio de residencia y trabajo, que está provisto de un contexto dinámico particular, lo cual ha contribuido al desarrollo de la teoría de los determinantes sociales de la salud (DSS).

Se desarrolla una investigación de carácter cuantitativa que intenta explicar, a partir de los DSS identificados como vulnerabilidad socio-espacial (variables situación laboral, materialidad de la vivienda y nivel de instrucción del jefe de hogar) más la exposición potencial a MP₁₀, la relación de las personas residentes al interior del Área Metropolitana de Santiago de Chile con la Tos Ferina o Coqueluche (*pertussis*). Se ha ideado una secuencia metodológica de tres etapas. En la primera de ellas, se georreferencian los casos de Tos Ferina, se utiliza el método de interpolación IDW para la variable MP₁₀ y se corre el método de clasificación ascendente jerárquica para determinar vulnerabilidad. En la segunda etapa, se construyen cuadrantes ad hoc de 1 km² para los cuales se realiza la unión espacial entre las dimensiones de estudio. En la etapa tres, se ejecuta el análisis de autocorrelación espacial; I de Moran; LISA.

* E-mail: mfuenzal@uahurtado.cl

Los resultados han permitido identificar los sectores del área de estudio que presentan una mayor autocorrelación espacial positiva. Entre ellos, la distribución espacial de la Tos Ferina está condicionada por la significativa presencia de condiciones socio-económicas vulnerables y exposición a contaminación ambiental.

Palabras clave: material particulado; vulnerabilidad socio-espacial; morbilidad; geografía de la salud; autocorrelación espacial; Chile

1. Introducción

En las últimas dos décadas, ha crecido el interés entre geógrafos, epidemiólogos, e investigadores de la salud pública en general, por documentar las formas en que los procesos basados en el lugar de residencia son importantes en la comprensión de las desigualdades sociales y espaciales en los resultados de salud y sus comportamientos asociados (Pearce, J. 2012. pp 1921). Esta tendencia es evidente en dos corrientes principales de la literatura que reflejan distinciones teóricas de larga data entre los conceptos de *lugar* y *espacio* (Arcaya, M. et al, 2012. pp 824), el primero definible como un punto, o nodo, donde los fenómenos o las personas pueden ser localizadas, mientras que el segundo se define donde se distribuyen los fenómenos y personas. Según Gesler, citado en Kearns y Joseph (1993. pp 712), “los lugares están estudiados según su importancia para las personas, el espacio está analizado en términos de sus atributos cuantificable y sus patrones”.

En el año 2005, la Organización Mundial de la Salud consolida el concepto de los determinantes sociales de la salud. En términos generales, los determinantes sociales de la salud son todos aquellos factores, como variables personales, sociales, económicas y ambientales que determinan el estado de salud de las personas, en otras palabras, son las circunstancias de vida de las personas (Borrell y Malmusi, 2010). La incorporación de este concepto en el plano de la planificación sanitaria es de suma importancia para explicar los fenómenos epidemiológicos en el espacio y el tiempo, sobre todo cuando el presente estudio analiza una enfermedad respiratoria, endémica de nuestro territorio, que no discrimina población por sexo, edad, o condición social; nos referimos a la Tos Ferina o Coqueluche.

Entre los últimos eventos relacionados con la salud en nuestro país, se ha podido identificar un aumento en la incidencia de la Tos Ferina, enfermedad bacteriana (*Bordetella pertussis*) transmisible por vía aérea, que si bien puede sufrirse a cualquier edad, los más afectados corresponden a los niños menores a cuatro años de edad. La evidencia muestra importantes fluctuaciones en la cantidad de casos en Chile de acuerdo a los registros obtenidos por la ficha de las Enfermedades de Notificación Obligatoria (ENO), presentando *peak* en los años 2000 y 2011.

Esta investigación pretende conocer el comportamiento espacial del Coqueluche, en el quinquenio 2006-2010, con la finalidad de verificar si la enfermedad está determinada por factores de carácter socioeconómicos y ambientales. Para ello, se han seleccionado algunas variables que se consideran importantes al momento de demostrar un patrón territorial en el área Metropolitana de Santiago (AMS). Estas variables son la educación de la población, el estado laboral de las personas, la materialidad de las viviendas; y por el lado ambiental, la contaminación atmosférica, puesto que, el Coqueluche tiene una mayor probabilidad de contagio en ambientes contaminados.

2. Metodología, materiales, datos y herramientas

Se ha ideado una secuencia metodológica de tres etapas. En la primera de ellas, se georreferencian los casos de Tos Ferina, se utiliza el método de interpolación IDW para la variable MP_{10} y se corre el método de clasificación ascendente jerárquica para determinar vulnerabilidad. En la segunda etapa, se construyen cuadrantes ad hoc de 1 km^2 que cubran toda el área de estudio, los cuales servirán de contenedores para unir (“join”) por localización la información proveniente desde las tres dimensiones de interés. Se utilizará la función suma de valores para la dimensión epidemiológica y la función promedio de valores para las dimensiones ambiental y socioeconómica. En la etapa tres, se ejecuta el análisis de autocorrelación espacial; I de Moran; LISA.

Tabla 1. Resumen metodológico

Dimensión	Variable	Tipo variable	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3
Epidemiológica	Casos coqueluche	Dependiente	Geocoding	Cuadrantes 1 km^2 Unión espacial	Análisis de autocorrelación espacial; I de Moran; LISA
Ambiental	Concentración MP_{10}	Independiente	IDW	entre las dimensiones	
Socioeconómica	Situación laboral	Independiente	Clasificación ascendente jerárquica		
	Materialidad vivienda	Independiente			
	Nivel instrucción jefe de hogar	Independiente			

La fuente de datos y el software utilizado para las distintas dimensiones corresponde a:

- Dimensión epidemiológica > Casos de coqueluche: fuente de datos corresponde al Departamento de Estadística e Información en Salud (DEIS) del Ministerio de Salud de Chile. Se trabajará con la información del quinquenio 2006 al año 2010, contabilizando un total de 2203 casos de Coqueluche entre esos años. Software: ArcGIS: módulo Arc Catalog y Arc Map.
- Dimensión ambiental > Concentración MP_{10} : fuente de datos atañe al sistema nacional del monitoreo de la calidad en el aire (SINCA). Se dispone de 10 estaciones de medición a lo largo y ancho del AMS que mide el material particulado de tamaño $10 \mu\text{g}$ (medido en micrones por m^3). Los datos a considerar son el promedio entre los valores de las medias anuales entre el quinquenio. Software: ArcGIS (Geostatistics)
- Dimensión socioeconómica: fuente de datos pertenece al Censo de población y vivienda del año 2002, elaborado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Las variables seleccionadas para generar un mapa social del área de estudio son: Último nivel alcanzado en la educación formal, para la caracterización de la subdimensión educacional; situación laboral, para la caracterización de la subdimensión económica; materialidad de las paredes de la vivienda y del piso de la vivienda, para la caracterización de la subdimensión vivienda. Software: Redatam, Philcarto y ArcGIS.

Es importante advertir que la técnica de autocorrelación permite elegir distintos modos de búsqueda para identificar los valores similares entre los vecinos de la unidad espacial analizada. En este sentido, la búsqueda de los vecinos se realiza con movimientos similares a las piezas de ajedrez de Torre, Alfil o Reina. Para los

efectos de esta investigación, se optó por la utilización del modo de búsqueda tipo Reina. Con esto, los resultados que se pueden obtener de esta relación fluctúan entre -1 y 1, observando máximas autocorrelaciones negativas y positivas respectivamente. La adopción de unidades espaciales con forma de cuadrantes permite evaluar vecindad a distancias regulares. Software: Geoda.

3. Resultados

En referencia a la etapa 1 de la metodología, se observa en la cartografía de la dimensión epidemiológica (Figura 1a), los cuadrantes del sector sur del AMS presentan mayor cantidad de casos que otros sectores del área de estudio. Se considera importante esta representación para entender visualmente las relaciones que evidenciaremos mediante la autocorrelación. El resultado de la dimensión ambiental (Figura 1b) se obtiene a partir de la técnica de interpolación espacial determinista y exacta, que corresponde a la media ponderada por el inverso de la distancia (IDW), explicado en profundidad en Cañada (2007), con el fin de obtener valores continuos de contaminación en el espacio. Estos muestran altos niveles de exposición a MP_{10} en el sector oeste y sur del AMS, dejando el centro y el este con menor concentración.

El examen de la dimensión socioeconómica (Figura 1c), presenta la caracterización de las variables trabajadas según la metodología de la clasificación ascendente jerárquica de Fuenzalida y Gatica (2011), en cinco clases que indican que tan favorable es la situación social de las personas frente a las variables seleccionadas. Este resultado nominal de las clases obtenido desde Philcarto, se transforma a una representación ordinal, en donde la clase 1 toma el valor 1, la clase 2 toma el valor 5, la clase 3 toma el valor 3, la clase 4 toma el valor 2 y la clase 5 toma el valor 4. En cuanto al reparto espacial del resultado, existen sectores con fuertes predominios en algunas clases, como sucede en la clase 1 (muy desfavorable) aglomerada en el sector sur y en el sector norponiente del área de estudio. Mientras que en los casos de la clase 2 (muy favorable), estos se concentran en el sector nororiente del AMS.

En la segunda etapa, se construye un único shapefile de cuadrantes de 1 km² con la información alfanumérica proveniente de las tres dimensiones. Así, el mayor registro para los casos de Coqueluche por cuadrante es de 25 casos, y el valor mínimo es 0. En la dimensión socioeconómica, el valor promedio máximo entre las clases es de 8 y el valor promedio mínimo es 0. En la dimensión ambiental, el valor promedio máximo es de 77,1 ug³ de MP₁₀ y el valor promedio mínimo es de 57,8 ug³.

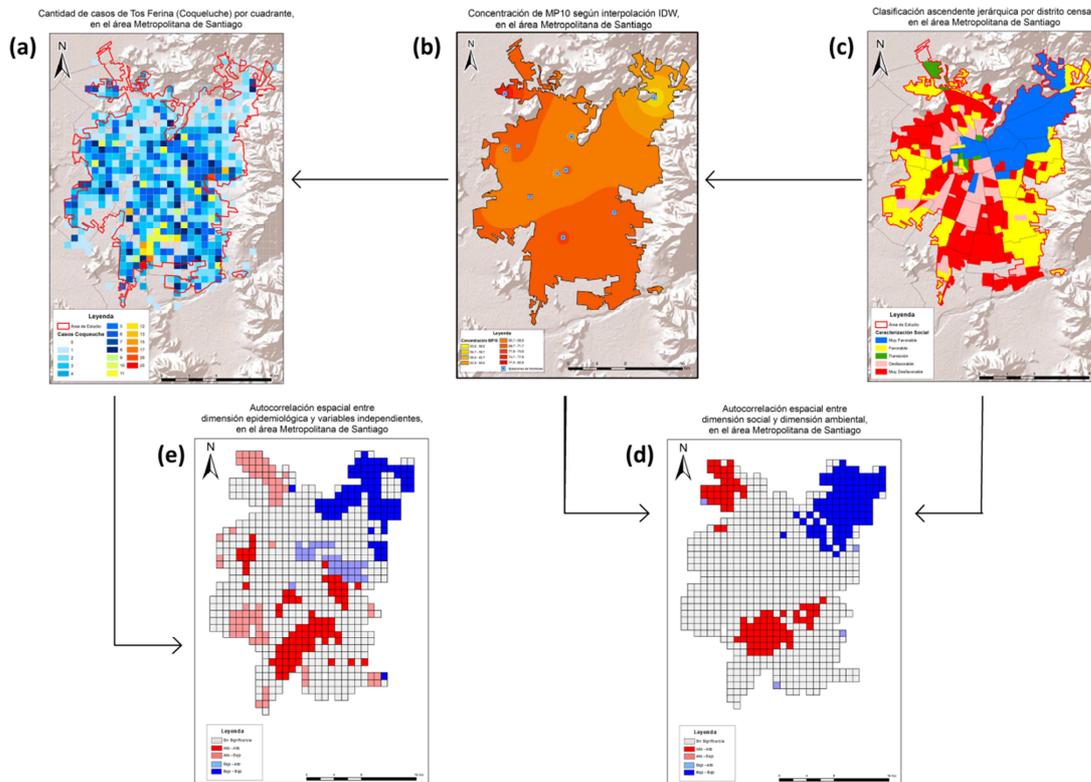


Fig. 1. (a) Dimensión epidemiológica; (b) Dimensión ambiental; (c) Dimensión socioeconómica; (d) Autocorrelación espacial dimensión social y dimensión ambiental; (e) Autocorrelación espacial dimensión epidemiológica y variables independientes.

Los resultados de la última etapa corresponden a la obtención de la autocorrelación espacial. Esta se define mediante relaciones bivariadas para comprobar, efectivamente, si el Coqueluche es un síndrome de las determinantes sociales de la salud (Figura 2). El Gráfico de autocorrelación entre dimensión socioeconómica y dimensión ambiental (2a) muestra una relación fuerte [0,9557], donde los grupos vulnerables viven en ambientes más contaminados, en particular aquellos cuadrantes que están en la sección uno. El Gráfico de autocorrelación entre variables independientes y variable coqueluche (2b) presenta un valor positivo de [0,2039], que nos informa la existencia de un grupo menor pero representativo, de territorios donde hay más

casos de la enfermedad, es posible encontrar mayor población desfavorecida (grupos vulnerables y ambientes contaminados), individualizados en los cuadrantes que están en la sección uno.

De esta forma, las relaciones para la obtención de la autocorrelación se diferencian en el espacio estadístico (plano cartesiano), entre la dimensión epidemiológica como variable dependiente en el eje y, y las otras dos dimensiones como variables independientes en el eje x. Estas son las relaciones de autocorrelación más importantes dentro del objetivo que busca encontrar esta investigación. Sin embargo, también se busca el grado de relación entre las dos variables independientes en una relación unidireccional para que podamos evidenciar el grado de autocorrelación entre nuestras determinantes sociales de la salud.

En este último punto (Figura 1d), se ha encontrado que la dimensión ambiental tiene una correlación ciertamente positiva con los grupos de población que presentan condiciones muy favorables (v.gr. la clase número 2), en relación a los sectores con menos concentración de MP_{10} en el área de estudio (cuadrantes color azul). Por el contrario, en los sectores donde existe más contaminación, es donde según el resultado de la dimensión socioeconómica, hay población socialmente desfavorecida y muy desfavorecida (cuadrantes color rojo).

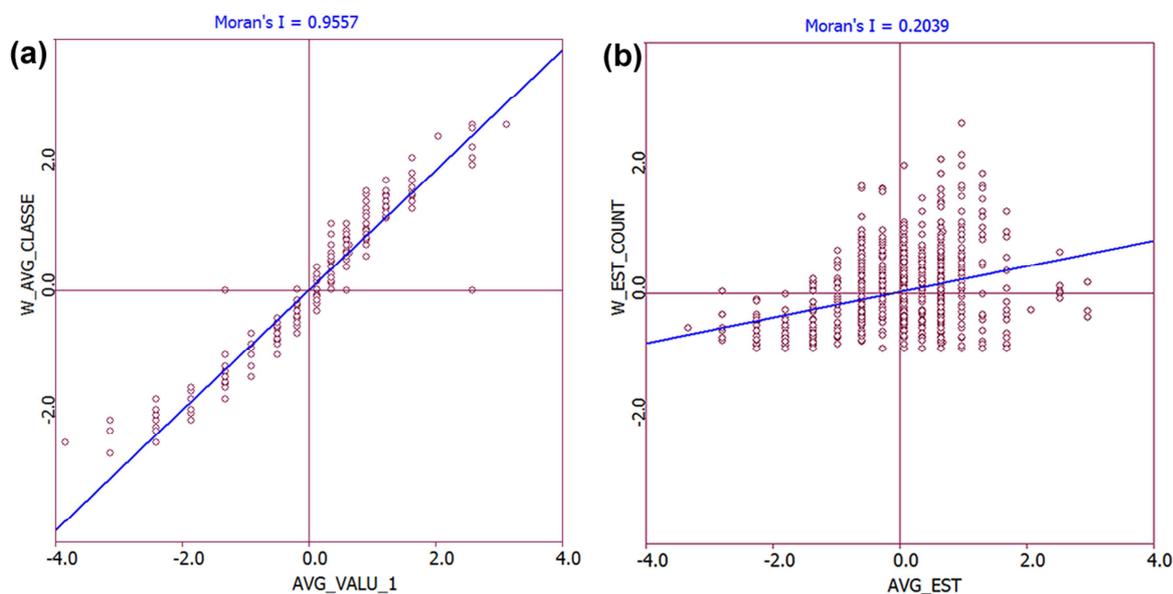


Fig. 2. (a) Gráfico de autocorrelación entre dimensión socioeconómica y dimensión ambiental; (b) Gráfico de autocorrelación entre variables independientes y variable dependiente (coqueluche).

En relación al interés principal, de los 737 cuadrantes que comprende el Área Metropolitana de Santiago, un total de 40 cuadrantes han sido identificados vulnerables gracias a la intersección entre los resultados de la autocorrelación (Figura 1e). Así, los cuadrantes que representan valores altos en la autocorrelación, han sido sintetizados en un resultado que muestre la misma variación espacial sistemática en los cuadrantes.

Se identificaron 18 municipios involucrados con cuadrantes vulnerables: Maipú, Pudahuel, Cerrillos, Cerro Navia, El Bosque, La Cisterna, La Florida, La Granja, La Pintana, Lo Espejo, Lo Prado, Macul, Ñuñoa, Pedro

Aguirre Cerda, Peñalolén, San Ramón, Puente Alto y San Bernardo. De este total, 7 agrupan el 70% de los cuadrantes identificados como vulnerables. Esta situación es el clúster del sector sur del AMS. En este sector podemos identificar los barrios comprendidos para: Comuna de El Bosque: Población El Sauce, Población Santa Elena, Barrio Lo Moreno, Barrio Los Carolinos, Barrio Los Cóndores, Población Los Acadios, entre otros. Comuna de La Pintana: Barrio El Roble, Población 6 de Mayo, Población Pablo de Rokha y Población Raún del Canto. Comuna de San Ramón: Población La Bandera, Barrio Paraguay y Barrio Fernández Albano. Comuna de La Cisterna: Barrio Nueva España y Barrio Lo Biaut. Comuna de San Bernardo: Villa Eduardo Anguita, Barrio Oriente, Barrio San Bernardo Centro, Población La Portada y Población El Olivo. Comuna de La Granja: Población Malaquías Concha y Población San Gregorio. Comuna de Puente Alto: Villas situadas en ex Fundo Las Rosas.

4. Discusión

Pese a que la bacteria no discrimina a la población desde un punto de vista biológico (edad, género, u otra característica biológica), si se observa una susceptibilidad a contraer la enfermedad de la población más vulnerable socialmente y más expuesta a un ambiente contaminado. Esta situación, como ya hemos caracterizado, se desarrolla en sectores puntuales del AMS, principalmente en el sector sur del área de estudio que concentra un clúster de cuadrantes; lo que también se encuentra en menor extensión en el centro oriente y centro poniente del AMS. Este contexto logra exhibir los frutos de la fragmentación social reflejados en la segregación territorial de la población.

5. Conclusiones

En el Área Metropolitana de Santiago podemos identificar que la distribución espacial de la Tos Ferina en cierta medida está condicionada por las determinantes sociales de la salud, tanto desde una perspectiva socioeconómica de la población, como también bajo el análisis del medio ambiente contaminado al cual esta población se expone. Esta cercanía, estadística y matemáticamente comprobada, es una consecuencia de la configuración urbana de los modelos que estructuran la capital del país, logrando con esto, grandes desigualdades en la población, ya sea desde un punto de vista de la injusticia ambiental, como también cuando observamos la sectorización de ciertos grupos socioeconómicos agrupados en determinados lugares.

La adopción de los cuadrantes como unidad espacial regular de análisis, permite una mejor explotación de las técnicas de autocorrelación espacial en los trabajos en epidemiología, ya que cuadrantes ad hoc de 1 km², faculta evaluar vecindad a distancias regulares, y por ende dar más pertinencia a la Ley de Tobler. Asimismo, romper con la imposición de trabajar con unidades político administrativas de forma irregular (i.e. municipio), en especial con aquellas que poseen una vasta extensión y que aglutinan distintos modelos de distribución territorial para las dimensiones de análisis, proporciona imputar dependencia espacial en aquellos lugares donde efectivamente el fenómeno se da con más fuerza.

Agradecimientos

Trabajo realizado en el marco del proyecto FONDECYT N° 11121354, financiado por el Programa Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Chile.

Referencias

- Arcaya, M., Brewster, M., Zigler, C. & Subramanian, S.V. (2012). Area variations in health: A spatial multilevel modeling approach. *Health & Place*, Vol. 18, pp 824 -831
- Barcellos, C. (2003). Unidades y escalas en los análisis espaciales de la salud. *Rev. Cubana de Salud Pública*, 29 (4), pp.307-313.
- Borrell, C. & Malmusi, D. (2010). La investigación sobre los determinantes sociales y las desigualdades en salud: Evidencias para la salud en todas las políticas. Informe SESPAS 2010. *Gaceta Sanitaria*, Vol. 24, pp.101-108.
- Cañada, R. (2007). Técnicas de interpolación espacial deterministas y exactas: media ponderada por el inverso de la distancia y funciones de base radial, en Moreno Jiménez, A. (Coord.): *Sistemas y análisis de la información geográfica*. Madrid, Ra-Ma, 781-809
- Castaño-Vinyals, G., Cantor, KP., Villanueva, CM., Tardon, A., Garcia-Closas, R., Serra, C., Carrato, A., Malats, N., Rothman, N., Silverman, D. & Kogevinas, M. (2011). Socioeconomic status and exposure to disinfection by-products in drinking water in Spain. *Environ Health*, Mar 16;10:18.
- Fuenzalida, M. & Gatica, L. (2011). El mapa social del área metropolitana de Santiago de Chile a partir de clasificación ascendente jerárquica. *GEOSIG*, N° 3, pp. 231-243.
- Kearns, R. & Joseph, A. (1993). Space in its place: developing the link in medical geography. *Social Science & Medicine*, Vol. 37, N° 6, pp 711 - pp 717.
- Pearce, J. (2012). The 'blemish of place': Stigma, geography and health inequalities. A commentary on Tabuchi, Fukuhara & Iso. *Social Science & Medicine*, Vol. 75, pp 1921-1924.