



ID de la contribución : 19

Tipo : no especificado

## Autocorrelación espacial con RStudio de la recolección de residuos en las fracciones censales de la ciudad de Mar del Plata (2010)

### Introducción

En la Argentina el 91% de las personas reside en ciudades y los residuos constituyen el principal problema ambiental que enfrentan cotidianamente las ciudades. Su recolección y disposición final es una discusión recurrente a nivel mundial. La relevancia de este problema ambiental necesita de herramientas y mediciones para conocer su situación a escala urbana en todas las ciudades del país. Es por ello que en los últimos dos censos nacionales (2001 y 2010) se ha relevado la variable con la siguiente pregunta: ¿Hay servicio regular de recolección de residuos (al menos dos veces por semana)? Esta variable se encuentra en el cuestionario censal ampliado, es decir que no se realiza esta indagación en todos los hogares, sino en uno solo correspondiente al segmento censal relevado por un censista. La variable, conjuntamente con otras, es necesaria para evaluar la calidad habitacional de los hogares; es la que refiere a las características del entorno en el que viven y es el insumo principal del presente trabajo.

Este esfuerzo para obtener información a partir de censos es particularmente destacable ya que el relevamiento de la información ambiental se encuentra relegada en relación a otras variables socioeconómicas. Esto se debe a que las variables ambientales poseen escalas de análisis y características diferenciales respecto de las sociales, además de tener fuentes de información más dispersas dificultando, entonces, la tarea de compatibilizar la información ambiental con la socioeconómica. En muchos casos, las fuentes de información, y en particular los datos de tipo ambiental, no existen o están dispersos, o no son comparables o accesibles, de manera que sería necesario establecer nuevos sistemas de información ambiental que permitan obtener una mirada más compleja y abarcadora del fenómeno permitiendo interpretar, e incluso visualizar, las tendencias en la producción urbana y sus posibles impactos socioambientales (Carballo, 2005).

Aunque el problema de los residuos sólidos municipales ha sido identificado desde hace varias décadas, especialmente en las áreas metropolitanas, las soluciones parciales que hasta ahora se han logrado no abarcan a todos los países de la región ni a la mayoría de las ciudades intermedias y menores, y se convierte en un tema político permanente que en la mayoría de los casos genera conflictos sociales (Acurio et al., 1997:10).

La realidad urbana demuestra que en la generación de residuos se encuentra uno de sus problemas más acuciantes. Para América Latina y el Caribe el adecuado manejo de sus servicios de recolección, transporte, tratamiento y disposición de los residuos sólidos sigue siendo un objetivo prioritario que debe ser complementado con programas de reducción de residuos generados, así como de reutilización y reciclaje de residuos desechados. La tasa promedio de recolección de residuos en grandes ciudades es 89%, y desciende a entre 50% y 70% en ciudades intermedias y pequeñas. Este servicio es en general responsabilidad de las municipalidades, que lo pagan con sus propios fondos.

Las regiones metropolitanas y las grandes ciudades resuelven sus problemas de recolección de residuos aplicando cada vez con mayor frecuencia las concesiones y los contratos con el sector privado, organizando en ocasiones este servicio a través de empresas públicas que abarcan varias jurisdicciones locales. Las ciudades pequeñas y medianas tienden a utilizar formas de administración de tipo municipal (Otero, 1997).

Una de las maneras de estudiar el estado de la recolección de residuos en el interior de las ciudades es por medio del análisis espacial, más específicamente utilizando la técnica conocida como autocorrelación espacial. La utilidad de la autocorrelación espacial se encuentra en su capacidad para estudiar la forma en que un fenómeno se propaga a través de las unidades espaciales y si tal comportamiento corresponde a algún modelo de difusión conocido o bien para estudiar la segregación espacial de alguna característica. En definitiva, refleja el grado en que objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a los objetos o actividades en unidades geográficas próximas (Vilalta y Perdomo, 2005: 326).

El concepto de autocorrelación espacial parte del principio de Tobler que plantea que en el espacio geográfico todo se encuentra relacionado con todo, pero los espacios más cercanos están más relacionados entre sí. Por lo tanto, se intenta medir la correlación que una misma variable tiene en diferentes unidades espaciales contiguas en una perspectiva horizontal dando lugar a una de estas tres posibilidades:

- Autocorrelación espacial positiva: las unidades espaciales vecinas presentan valores próximos. Indica una tendencia al agrupamiento de las unidades espaciales.
- Autocorrelación espacial negativa: las unidades espaciales vecinas presentan valores muy disímiles. Indica una tendencia a la dispersión de las unidades espaciales.
- Sin autocorrelación: no ocurre ninguna de las dos situaciones anteriores. Por lo tanto, los valores de las unidades espaciales vecinas presentan valores producidos en forma aleatoria.

El índice I de Moran es el cálculo más antiguo -data de 1950- y típico que se utiliza para la detección y medición de la autocorrelación espacial comparando los valores de cada localización con los valores de las localizaciones vecinas. Los resultados de este índice varían del  $-1$  al  $1$  representando las mayores correlaciones mínimas (máxima dispersión) y máximas (máxima concentración) respectivamente y donde el cero significa un patrón espacial totalmente aleatorio. Para definir si una autocorrelación espacial es significativa se realiza un test de hipótesis nula, y así poder comprobar si la configuración espacial de la variable se produce aleatoriamente, es decir si se cumplen o no los supuestos del modelo a partir de estimar si un estadístico muestral difiere significativamente de lo esperado aleatoriamente.

Esta prueba se efectúa al ubicar el coeficiente de Moran dentro de una curva normal de probabilidades (Vilalta y Perdomo, 2005; Buzai y Baxendale, 2006). Al realizar este tipo de test en el campo del análisis socioespacial, inicialmente hay que definir la hipótesis nula que responde a la afirmación la configuración espacial se produce de manera aleatoria, y la alternativa la configuración espacial no se produce de manera aleatoria.

Además, se puede profundizar en este método por medio de la descomposición del valor global (I de Moran) y conocer cómo contribuye cada unidad espacial en la formación del mismo (LISA, en inglés), y que permite obtener un mapa llamado cluster o de agrupamiento, donde cada unidad espacial se diferencia de acuerdo al tipo de autocorrelación espacial que posee en relación a sus unidades espaciales vecinas (alto-alto; bajo-bajo; alto-bajo y bajo-alto). Esas cuatro posibilidades también son visualizadas en el Plot con los valores de I de Moran para cada unidad espacial (Figura 1). En este caso se realizó un análisis univariado para la variable en cuestión.

Figura 1: Plot de la I de Moran de las unidades espaciales. Fuente: elaboración personal.

#### Objetivos

El presente trabajo tiene dos finalidades:

- Obtener el índice I de Moran global y valores locales para la ciudad de Mar del Plata por medio del software RStudio para la recolección de residuos a escala de fracción censal (78 unidades espaciales).
- Realizar una breve interpretación de los resultados de la recolección de residuos en la ciudad a partir de la interpretación de los datos de salida del RStudio.

#### Materiales y métodos

La variable ¿Hay servicio regular de recolección de residuos (al menos dos veces por semana)? Proveniente de Censo Nacional de Población, Vivienda y Hogares del año 2010 se obtuvo a través del programa REDATAM (Recuperación de Datos para Áreas pequeñas por Microcomputador). El mismo es un sistema computacional amigable e interactivo que facilita el procesamiento, análisis y disseminación web de la información de censos, encuestas, registros administrativos, indicadores nacionales/regionales y otras fuentes de datos. En este caso, para conocer las fracciones con los valores más bajos se obtuvo la tabla con los porcentajes de NO recolección de residuos (al menos dos veces por semana).

RStudio es un entorno de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación estadística, gráficos y mapas. Es particularmente útil cuando se trabaja con grandes bases de datos. Entre sus múltiples funcionalidades se encuentra la de estimar el índice I de Moran sin la necesidad de utilizar un Sistema de Información Geográfica (SIG). Además, se contrastó el valor global con otro programa (GeoDa) para ver si existen diferencias.

#### Resultados

Inicialmente se obtuvo el mapa con el porcentaje de recolección de residuos para la ciudad (Figura 2). En el mismo se observa la típica conformación espacial de las ciudades argentinas y de América Latina en donde una variable (socioeconómica o ambiental) tiene un comportamiento negativo desde el centro y hacia la periferia de la localidad. Por lo tanto, en este caso, la recolección de residuos tiende a disminuir desde el centro hacia la periferia de Mar del Plata.

Figura 2: Porcentaje de NO recolección de residuos en la ciudad de Mar del Plata, 2010. Fuente: elaboración personal con RStudio.

La aplicación de la autocorrelación univariada de la variable en cuestión a través del índice I de Moran en RStudio arroja el siguiente resultado:

```
Moran I statistic Expectation Variance  
0.692107469 -0.012987013 0.004906428
```

El mismo es la pendiente de regresión del siguiente gráfico en el que se distribuyen la totalidad de las unidades espaciales (Figura 3). En el eje x se localizan los valores estandarizados de cada fracción censal, y en el eje y los valores estandarizados de los promedios de los vecinos de cada fracción censal. Una interpretación visual simple muestra que la mayoría se localiza en los cuadrantes alto-alto y bajo-bajo.

Figura 3: Plot de la autocorrelación espacial para las fracciones censales y el promedio de los vecinos para la variable Porcentaje de NO recolección de residuos en la ciudad de Mar del Plata, 2010. Fuente: elaboración personal con RStudio.

A modo de corroborar el resultado también se obtuvo el mismo gráfico a través del programa GeoDa, que, como se observa, posee la misma pendiente positiva, además de igual distribución de las fracciones censales, con el valor del I de Moran ubicado en la parte superior (Figura 4).

Figura 4: Plot para la variable Porcentaje de NO recolección de residuos en la ciudad de Mar del Plata obtenido con el GeoDA, 2010. Fuente: elaboración personal con GeoDA.

Para evaluar si la pendiente es significativamente diferente de cero, se pueden permutar aleatoriamente los valores de recolección de residuos en todas las fracciones (es decir, no estamos imponiendo ninguna estructura de autocorrelación espacial) y luego ajustar un modelo de regresión a cada conjunto de valores permutados. Los valores de la pendiente de la regresión nos dan la distribución de los valores I de Moran que podríamos esperar obtener bajo la hipótesis nula de que los valores de recolección de residuos se distribuyen aleatoriamente entre las fracciones censales.

Para probar la significancia se puede recurrir al método de simulación Monte Carlo:

Monte-Carlo simulation of Moran I

data: fraccion\$POR\_BASURA

weights: rswm\_q

number of simulations + 1: 600

statistic = 0.69211, observed rank = 600, p-value = 0.001667

alternative hypothesis: greater

A partir de 600 simulaciones, se obtiene un p-valor de 0.001667 y se desecha la hipótesis nula y se acepta la alternativa en la cual los valores no se distribuyen de manera aleatoria y, por lo tanto, hay autocorrelación espacial. El p-valor sugiere que existe una pequeña posibilidad de estar equivocado al afirmar que los valores de ingresos no están agrupados a nivel de fracción censal.

Consideraciones finales

La gestión de los residuos sólidos urbanos es un tema sensible para la sociedad en la medida que representa un servicio indispensable para la población dadas sus repercusiones en la salud pública, pero a la vez es considerado un objeto de rechazo. Los gobiernos locales enfrentan día a día crecientes desafíos para atender a la diversidad de problemáticas urbanas cada vez más complejas que caracterizan a las ciudades actuales.

El uso de herramientas como el RStudio y procedimientos como la autocorrelación son de gran utilidad para obtener y presentar variables socioambientales en mapas temáticos, lo cual facilita el análisis de las diferenciaciones espaciales. Así, para el presente trabajo que los porcentajes de recolección de residuos disminuyen progresivamente desde el centro hacia la periferia de la localidad y que hay una alta autocorrelación espacial (0.69) de la variable en cuestión. Los porcentajes más altos se agrupan en el centro de la ciudad y zonas adyacentes, mientras que los más bajos se encuentran en la mayor parte de la periferia de la localidad. Los tomadores de decisiones deberían focalizarse en este último sector donde el servicio parece ser más escaso con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de los vecinos.

A futuro queda por explorar la desagregación del valor global de I de Moran a partir de los aportes locales de cada unidad espacial para poder obtener el mapa clsuter o de agrupamientos. También, es para destacar que por el momento el Rstudio no puede realizar análisis bivariado, función que sí existe en otro programa similar denominado PySAL basado en código Python. Asimismo, también sería interesante que la variable analizada esté disponible a escala de radio censal, ya que aporta un grado mayor de desagregación territorial, tal como ocurrió con en el Censo Nacional de 2001.

Bibliografía

Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F., & Zepeda, F. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington: Inter-American Development Bank.

Buzai, G. D. & Baxendale, C. A. (2006). Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica. Buenos Aires: Lugar Editorial.

Carballo, C. (2005). Espacio verde y ciudad. En Velázquez, Guillermo y Gómez Lende, Sebastián (comps.) Desigualdad y Calidad de Vida en la Argentina (1991-2001). Aportes empíricos y metodológicos (pp. 181-198). Tandil: Editorial REUN.

Gimond, M. (2021). Intro to GIS and Spatial Analysis. <https://mgimond.github.io/Spatial/index.html> (consultado 5/5/2021).

Otero, F. (1997). Un proceso dinámico de mejoramiento continuo. Hacia una actitud responsable. En Durán de

la Fuente, H. (comp.). Gestión ambientalmente adecuada de residuos sólidos. Un enfoque de política integral. Santiago: CEPAL/ GTZ.

Vilalta & Perdomo, C. J. (2005). Cómo enseñar autocorrelación espacial. Economía Sociedad y Territorio. V (18): 323-333.

**Primary author(s):** Dr CELEMÍN, Juan Pablo (IGEHCS - CONICET - UNICEN); Prof. ARIAS, Maria Eugenia (IGEHCS - CONICET - UNICEN)

**Presenter(s):** Dr CELEMÍN, Juan Pablo (IGEHCS - CONICET - UNICEN); Prof. ARIAS, Maria Eugenia (IGEHCS - CONICET - UNICEN)

**Clasificación de temáticas :** E-3. TIG aplicada a procesos físico-ambientales