

Desarrollo de un SIG para el análisis de patrones espaciales de incendios en viviendas

Celestino Ordóñez Galán, María Rosa Varela González, Aimara Reyes Pantoja

Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente (IRNMA), Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, Rúa Torrecedeira, 86, 36208 Vigo (España)
cgalan@uvigo.es, mariavargon@gmail.com, aimarareyes@yahoo.com

RESUMEN

Los servicios de extinción de incendios en las ciudades se ven obligados a realizar su tarea cada vez con mayor rapidez y eficiencia, pero sin que exista a menudo un equilibrio entre el aumento de las exigencias en su trabajo y el correspondiente incremento de los recursos tanto materiales como humanos. Por eso se hace cada vez más imprescindible contar con nuevas técnicas y herramientas que faciliten su labor, permitiéndoles mejorar sus prestaciones con los mismos recursos. Una de las herramientas emergentes que puede ayudar a los servicios de extinción de incendios a optimizar su funcionamiento son los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En este artículo se presentan los trabajos desarrollados hasta el momento por los autores para construir una herramienta informática basada en la tecnología SIG que pueda ser utilizada por los servicios de extinción de incendios tanto para prevenirlos como para responder de manera más rápida, eficaz y económica ante una emergencia por incendio en una vivienda o edificio. La herramienta desarrollada está orientada fundamentalmente al análisis de la distribución espacio-temporal de los incendios, con el objetivo de determinar los puntos calientes, esto es, aquellos lugares y/o momentos en los que existe una concentración atípica de incendios en el espacio y/o en el tiempo. Dicha herramienta ha sido desarrollada utilizando como base los programas gvSIG y R, ambos de acceso libre. El primero proporciona la funcionalidad de los SIG para trabajar con información geográfica, mientras que del segundo se aprovecha su capacidad para realizar análisis estadísticos. El sistema desarrollado se está utilizando para estudiar puntos calientes de incendios ocurridos en el municipio de Vigo entre los años 2005 y 2008

Palabras clave: SIG, incendios en viviendas, estadística espacial, software libre, GVSIG, R.

ABSTRACT

The fire services in cities are forced to perform their task with increasing speed and efficiency, but often there is a balance between increasing demands at work and the corresponding increase in resources, both material and human. So it is increasingly imperative to have new techniques and tools to facilitate their work, enabling them to enhance their performance for the same money. One of the emerging tools that can assist fire fighting services to optimize its operation is Geographic

Information Systems (GIS). This article presents the work developed so far by the authors to build a software tool based on GIS technology can be used by fire services both to prevent and to respond quickly, efficiently and economically to an emergency fire in a house or building. The developed tool is mainly oriented to the analysis of spatial-temporal distribution of fires, with the aim of identifying hot spots, places and times when there is an unusual concentration of fires in space and time. This tool has been developed using programs based on gvSIG and R, both free access. The first provides GIS functionality for working with geographic information, while the second takes advantage of its ability to perform statistical analysis. The developed system is being used to study hot spots of fire incidents in the town of Vigo between 2005 and 2008

Keywords: GIS, house fires, spatial statistics, free software, GVSIG, R

INTRODUCCION

Los incendios que se producen en viviendas localizadas en áreas urbanas están a menudo condicionados por factores socioeconómicos como la densidad de población, la edad, el poder adquisitivo o el nivel cultural de los inquilinos, o por factores ambientales como la localización geográfica y la climatología [1,2]. En los últimos años se ha comenzado a utilizar la tecnología SIG (Sistemas de Información Geográfica) en combinación con técnicas estadísticas tradicionalmente utilizadas en estudios epidemiológicos para identificar características de individuos y comunidades vulnerables frente a los incendios en viviendas [3]. En el año 1997 la Asociación para la Información Geográfica [4] realizó una investigación para determinar las ventajas y las barreras y obstáculos para adoptar los SIG en los servicios de emergencias, y encontró que la mayoría de las aplicaciones se utilizaban para control y planificación de emergencias y que dos de cada tres paquetes de programas SIG funcionando se habían comprado a partir del año 1995. Desafortunadamente la utilización práctica de estas tecnología por los servicios de extinción de incendios en España es inexistente, y mientras algunos autores ya han descrito el empleo de estas y otras herramientas informáticas para el análisis de los incendios en otros países [5], en España la mayoría de los parques de bomberos apenas cuentan con medios informáticos, los partes de incendios siguen almacenándose en papel y no se ha planteado hacer un estudio encaminado a establecer patrones de distribución de los incendios y sus posibles causas.

Las técnicas clásicas de análisis de datos espaciales para estudiar patrones de distribución espacio-temporal en áreas urbanas se emplean en estudios como epidemiología [6], criminología [7] o econometría [8]; tal es el caso del análisis de autocorrelación espacial [9], las técnicas de análisis de agrupaciones de puntos (análisis clúster) [10], o los modelos de autorregresión espacial [11]. En los últimos años se han empezado a utilizar otro tipo de técnicas para el análisis de patrones de distribución espacio-temporal, como los mapas de densidad [3, 12] o nuevas técnicas de representación visual de variaciones en espacio y el tiempo de dichos patrones [13,14].

Los primeros trabajos [15,16] en los que se trataba de relacionar los incendios en viviendas con factores socioeconómicos data de los años ochenta del siglo pasado, pero en estos trabajos todavía no se utilizaban los SIG como herramienta para el estudio de los incendios. En el año 1996 Dodge [17] presentó un trabajo en el que ya hacía uso de estos sistemas para analizar y visualizar incidentes por incendios. En el año 2001 Merrall [4] publica un artículo en el que utiliza los SIG para realizar estudios de análisis espacial de incendios y su relación con factores de riesgos sociales, económicos y ambientales. A este trabajo han seguido algunos otros en la misma línea, aunque son bastante escasos, siendo en los últimos años Corcoran, de la

Universidad de Quesland, junto con otros investigadores, los que más han activamente han trabajado en la utilización de los SIG y las técnicas de estadística espacial para el estudio de los incendios en viviendas [3, 18, 19, 20, 21].

El objetivo de este artículo es presentar los resultados hasta ahora obtenidos del diseño de SIG de incendios en viviendas empleando las características que ofrecen gvSIG y R (ambas de libre acceso), para disponer de una herramienta que permita el análisis de patrones espaciales de incendios en cuanto a su distribución espacio-temporal, con el fin de determinar los puntos calientes, esto es, aquellos lugares y/o momentos en los que existe una concentración atípica de incendios en el espacio y/o en el tiempo. Tales resultados podrán ser usados por los servicios de extinción de incendios de nuestra ciudad, tanto para prevenirlos, como para responder de manera más rápida, eficaz y económica ante una emergencia por incendio en una vivienda o edificio.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio y características de los datos

El trabajo se ha desarrollado en el municipio de Vigo, ubicado en la costa Atlántica, en la Comunidad Autónoma de Galicia (España). El municipio posee, según cifras de INE (Instituto Nacional de Estadística) para el año 2009, 297.332 habitantes y una superficie de 109,1 Km². La densidad de población es de 2.710 hab/Km². La mayor parte de la población urbana se concentra en la parroquia de Vigo con el 72% con respecto al total.

Los datos empleados para el análisis son los incendios en viviendas acaecidos en Vigo en el periodo 2005-2008 y las unidades censales (proporcionadas por el INE) en las que se divide el municipio (en total 240). Los incendios en viviendas se obtuvieron a partir de los registros suministrados por los bomberos de Vigo. Los incendios se ubicaron sobre las unidades censales partiendo de la dirección postal, esto es, la calle y el número de la vivienda. Los incendios se agregaron a las secciones censales para realizar análisis a nivel de área.

Métodos de medida de la autocorrelación espacial

Con la herramienta hasta ahora diseñada con gvSIG y R se han implementado algunos métodos globales y locales de análisis de autocorrelación, en concreto los índices: Moran Global (I), Geary (C) y Moran Local (I_i).

Moran Global (I), es un índice de co-variación entre diferentes zonas, por lo general el índice varía entre -1 a 1. Un valor 0 indica que no existe autocorrelación por el contrario habría autocorrelación. Si el valor es positivo indica que hay autocorrelación espacial positiva y en general podría existir concentración, mientras que un valor negativo indica que existe correlación negativa, que se interpreta como una dispersión superior a la que resultaría si se distribuyeran aleatoriamente [22].

La expresión matemática del Índice de Moran Global es la siguiente:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_i \sum_j w_{ij}) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad [1]$$

Donde N es el número de casos, x_i es el valor de la variable en un lugar determinado y x_j el valor de la variable en otro lugar (donde $i \neq j$), \bar{x} es la media de la variable y w_{ij} es un peso aplicado a la comparación entre la localización i y la localización j .

El índice de Geary (C) es un índice de comparaciones por pares entre las diferentes zonas, por lo general el índice varía de 0 a 2. Teóricamente, un valor de 1 indica ausencia de autocorrelación, es decir, que los valores de una zona no están relacionados con los valores de zonas cercanas. Los valores inferiores a 1 indican autocorrelación espacial positiva, mientras que valores superiores a 1 indican autocorrelación espacial negativa [23]

La expresión del Índice de C Geary se describe a continuación:

$$C = \frac{(N-1) \left[\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - x_j)^2 \right]}{2 \left(\sum_i \sum_j w_{ij} \right) \sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad [2]$$

Donde N es el número de casos, x_i es el valor de la variable en un lugar determinado y x_j el valor de la variable en otro lugar (donde $i \neq j$), \bar{x} es la media de la variable y w_{ij} es un peso aplicado a la comparación entre la localización de i y la localización j .

Estos índices (Moran Global y Geary) van acompañados de una prueba de hipótesis, bajo el supuesto de normalidad. La hipótesis nula (H_0) establece que no hay autocorrelación espacial.

Para calcular los índices es necesario, en primer lugar, obtener una lista de vecinos para cada una de las áreas, que posteriormente se utilizará para obtener una matriz de pesos. Los criterios de vecindad o contigüidad en que se basan los índices están referidos a fronteras comunes entre las áreas. Los criterios mencionados en la literatura, a semejanza de la localización de las piezas de un tablero de ajedrez y relacionadas con sus movimientos son: reina, torre, alfil. Existen otros criterios relacionados con rangos de distancia, o k-vecinos, entre otros [24]

Dos áreas serán o no vecinas según el criterio seleccionado. Los criterios utilizados son:

- Reina (*queen*): considera vecinas a aquellas unidades espaciales que comparten un vértice o arista.
- Torre (*rook*): es más restrictivo, considera vecinas a aquellas unidades espaciales que comparten una arista.
- k-vecinos: considera vecinas a un número k de unidades, que son las más cercanas.
- Intervalo de distancia: considera vecinas a las áreas que se encuentren a una distancia comprendida dentro de un intervalo dado.

Además se da la posibilidad de considerar una vecindad simétrica, es decir, que no se consideren influencias no recíprocas.

También se han empleado criterios de pesos que vienen dados por la importancia y/o ponderación de acuerdo a la intensidad de las variables seleccionadas [25] Si además se tiene en cuenta la distancia, se calculan los pesos según un criterio de proximidad física.

Por otra parte, el índice de Moran Local (I_i) es un índice de Moran aplicado a cada zona individualmente, considerando las demás áreas. Valores altos y bajos de I_i se identifican como puntos calientes y fríos, respectivamente (hot spot y cold spot). También se pudiera identificar valores extremos o atípicos (outliers), ya que su comportamiento rompe con la tendencia observada entre sus vecinos [26].

La expresión del Índice de Moran Local (I_i) se describe a continuación:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sum S_i^2} \cdot \sum_{j=1}^N w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad [3]$$

Donde \bar{x} es la intensidad de la media para todas las observaciones, x_i es la intensidad de la observación i ; x_j es la intensidad para todas las demás observaciones, (donde $i \neq j$), S_i^2 es la diferencia al cuadrado de todas las observaciones y w_{ij} es el peso a distancia para la iteración entre las observaciones i y j . El primer término x_i se refiere únicamente a la observación i , mientras que el segundo término x_j es la suma de los valores ponderados para todas las observaciones (sin incluir i).

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema resultante de este trabajo consiste en una extensión, añadida a la herramienta gvSIG, que se comunica con el motor estadístico R para permitir al usuario hacer uso de la estadística espacial, aplicándola, en este caso, a la gestión de incendios. Las funcionalidades que contiene la nueva extensión permiten obtener medidas de autocorrelación espacial, concretamente los tres índices comentados en el apartado anterior.

gvSIG es una herramienta orientada al manejo de información geográfica de código abierto que ha sido desarrollada pensando en su extensibilidad, por lo que permite ampliar su funcionalidad fácilmente. Se trata de una herramienta multiplataforma (Windows, Linux,...) que ha sido plenamente desarrollada en el lenguaje de programación Java.

R es un proyecto de software libre (también multiplataforma) que constituye un conjunto integrado de utilidades para manipulación de datos, cálculos estadísticos y visualización gráfica. R es también un lenguaje de programación que permite al usuario desarrollar sus propias funciones y existe un repositorio oficial de paquetes mediante el cual se puede contribuir al proyecto.

Más concretamente, para el desarrollo de este trabajo se han usado las versiones 1.1.2 de gvSIG y 2.9.2 de R bajo el sistema operativo Windows XP.

Para conseguir la comunicación entre las herramientas anteriormente descritas se ha utilizado JRI. JRI (*Java/R Interfaz*) forma parte del proyecto *rJava* y es una API (Application Programming Interface) que permite ejecutar las funciones de R dentro de aplicaciones Java como un hilo. Define un modelo de comunicación pregunta-respuesta entre Java y R.

Por otro lado se dispone de un servidor de bases de datos con PostgreSQL donde se almacena parte de la información geográfica disponible. PostgreSQL es un SGBD (*Sistema de Gestión de Bases de Datos*) objeto-relacional con una licencia *BSD*, que es un tipo de licencia para software libre. Se ha seleccionado este software porque, además de ser libre, permite el almacenamiento y mantenimiento de información espacial mediante una extensión denominada PostGIS.

A continuación se muestra un esquema de los elementos que componen el sistema:

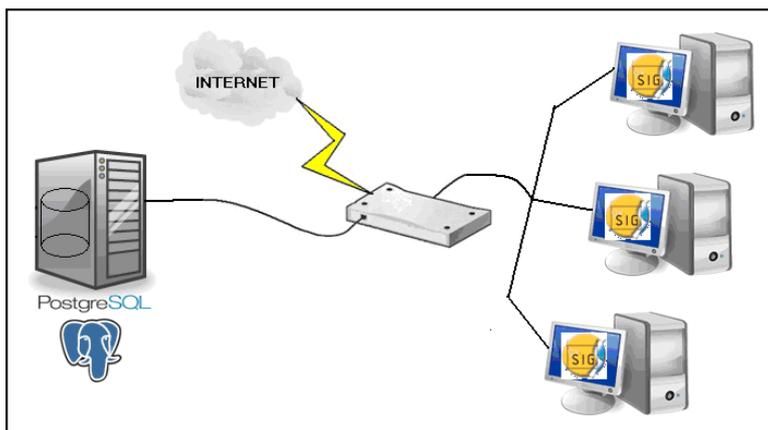


Figura 1: Representación del Sistema

La extensión desarrollada (*extR*) se carga al ejecutar gvSIG y es en ese momento cuando intenta establecer la comunicación con R y cargar los paquetes de R necesarios para un correcto funcionamiento. Al inicializarse la extensión, se instancia la clase *Engine* de *JRI*, la cual establece un puente de comunicación entre R y Java utilizando *JNI* (*Java Native Interface*). Además de los paquetes básicos de R, se están usando tres paquetes adicionales: *rgdal* (tratamiento de datos geoespaciales), *spdep* (dependencia espacial: sistemas de ponderación, estadísticos y modelos) y *pgirmess* (análisis de datos en ecología).

Por otro lado, la extensión se divide en seis paquetes, pensando en que, en un futuro, sea sencillo incorporar nuevas funcionalidades relacionadas con estadística espacial: *em.r.engine* (contiene lo necesario para cargar la extensión y establecer la comunicación con R), *em.r.gui* (contiene lo relacionado con la interfaz gráfica de usuario que podría ser reutilizada para nuevas funcionalidades), *em.r.autocorrelation.gui* (contiene lo relacionado con la interfaz gráfica de usuario exclusiva de la autocorrelación espacial), *em.r.autocorrelation.settings* (en donde se encuentra lo referente a la configuración de los análisis o entradas), *em.r.autocorrelation.outputs* (en donde se encuentra lo referente a la elaboración de las salidas) y *em.r.util* (que contiene algunos elementos que han sido útiles para el desarrollo pero no están relacionados con nada exclusivamente). (Figura 2)

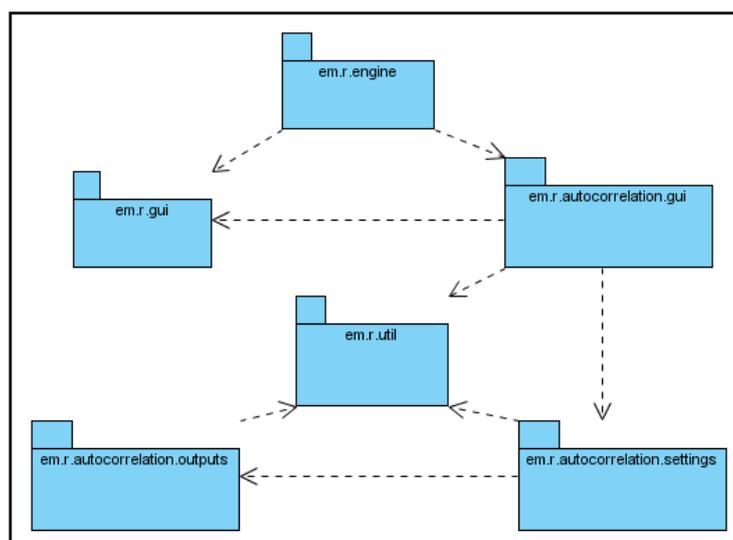


Figura 2: Diagrama de paquetes de la extensión implementada.

INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

Cada uno de los índices de autocorrelación de Moran Global (I), Geary (C) y Moran Local (I_i) aparece como una opción de menú y barra de herramientas, con diferentes variantes para cada uno de ellos.

Al pulsar sobre una opción se abre un diálogo compuesto por dos pestañas: una para configurar las entradas a la prueba y otra para seleccionar el tipo de prueba que se desea obtener como salida. En la *Figura 3* se muestra el cuadro de diálogo para estudiar la autocorrelación espacial mediante el índice de Moran Global.

La pestaña “Entrada” coincide para los tres índices y en ella, además de seleccionarse la capa y la variable a pasar a la prueba, han de especificarse los métodos para el cálculo de vecinos y pesos.

La pestaña “Salida” permite seleccionar entre varios tipos de prueba del índice que se desee obtener. Dependiendo de la prueba seleccionada se activarán unos parámetros u otros.

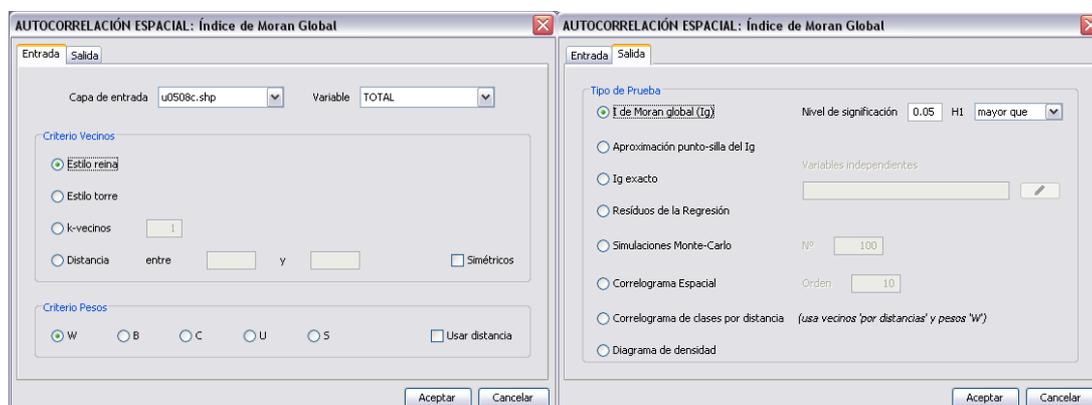


Figura 3: Diálogo de configuración para el Índice de Morán Global.

Al finalizarse la ejecución del programa se abre una ventana a la que se le añade una pestaña mostrando el resultado. En esta pestaña se muestra una tabla que indica, además de los resultados, el método seleccionado, la capa y variables seleccionadas, criterios de vecinos y pesos, etc. Dependiendo del tipo de prueba seleccionado también puede mostrar una gráfica de apoyo a la interpretación de los resultados. En la *Figura 4* se muestra el aspecto que presenta la ventana de resultados.

AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL: Índice de Moran Global			
Método	Prueba I de Moran bajo randomización		
Origen	Capa	Variable	Nº Muestras
	u0508c.shp	FREQ	240
Configuración	Criterio vecinos		Criterio pesos
	Reina sin simetría		W
RESULTADOS			
Desviación típica	3.1718		
p-valor	8.0E-4		
Estimaciones de la muestra	I de Moran	Esperanza	Varianza
	0.1155	-0.0042	0.0014
	Planteamiento		
PRUEBA DE HIPÓTESIS:	H0: I=0		
	H1: I>0		
	α=0.05		
	Resultado		
	I=0.1155, p-valor= 8.0E-4		
	Decisión		
	p-valor<α ► H0 se rechaza		
	I>0 ► EXISTE AUTOCORRELACIÓN POSITIVA		

Figura 4: Resultado de la ejecución del Índice de Moran Global.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el cálculo de los índices Moran Global (I) y Geary (C) se eligieron los siguientes criterios de entrada: de vecinos, el estilo reina; de pesos, el método W. Las salidas fueron: el índice Moran Global (I), Geary (C), para 100 simulaciones con el método de Monte Carlo, y los correlogramas de distancias para cada índice. Para ambos índices los resultados se muestran en tablas y en graficas.

Por su parte, el cálculo del índice de Moran Local (I_i), se hizo con el estilo reina para el criterio de vecinos y W para el peso. Las salidas de este índice se representan en un mapa, siendo los resultados para cada polígono el índice Moran Local, la varianza, el valor esperado, Z y la probabilidad. La aplicación también permite seleccionar los valores (I, varianza,...) a añadir a la tabla de atributos de la capa de entrada en forma de campos.

Para el análisis se partió de la visualización e interpretación en un mapa de la distribución espacial de los números de incendios por secciones censales. De acuerdo a la distribución espacial para el número de incendios en el periodo de estudio se observó que existe un mayor número de incendios localizados en la zona central del municipio, esta área corresponde a la parroquia Vigo, que concentra 72% de la población en una superficie del 10% del total, adicionalmente el municipio concentra el 45% de las edificaciones y coinciden con las viviendas más antiguas. (Figura 5).

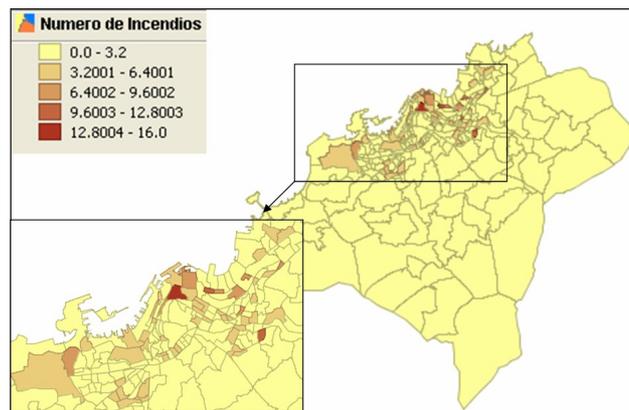


Figura 5: Distribución espacial del número de incendios por secciones censales

Dada la distribución del número de incendios y sus características asociadas, es fácil intuir que puede existir autocorrelación positiva en esas zonas y por lo tanto agrupamiento de incendios.

Cálculo del Índice Moran Global

Al aplicar el índice de Moran Global con los criterios establecidos para un nivel de significación igual al 5%, arroja como resultado que existe autocorrelación y que a su vez es positiva, rechazándose la hipótesis nula.

El correlograma del índice Moran Global se determina considerando vecinos a las zonas situadas a diferentes distancias, que son establecidas por el usuario. En este caso se emplearon 7 intervalos de distancia. Los valores de "I" se ubican en una franja aproximada entre 0,1 hasta -0,1, con una distancia de 0 a 11 Km., luego el valor de I se incrementa hasta llegar a 0,3 a una distancia de 13 Km. Se interpreta que la autocorrelación es positiva y que podría existir concentración (Figura 6).

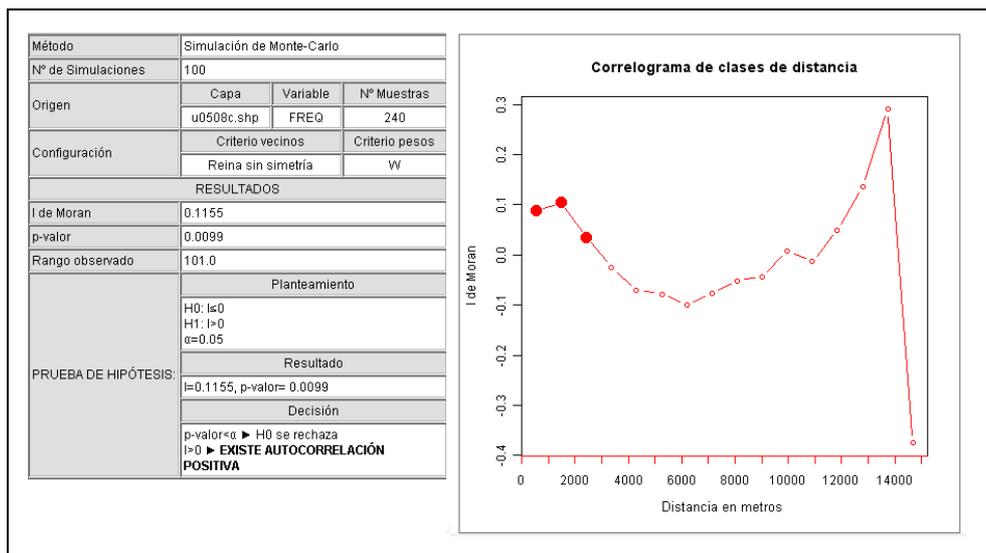


Figura 6: Índice de Moran Global y Correlograma de índice de Moran Global

Los índices globales solo proporcionan una aproximación a la realidad de la autocorrelación de los valores y su grado de concentración o dispersión. Otras técnicas que se están implementando actualmente permitirán especificar donde se encuentran localizados dichos grupos o cluster.

Cálculo Índice Global Geary

El índice de Geary (C) se calculó utilizando el criterio de vecino estilo la reina y criterio de peso W, con 100 simulaciones para un nivel de significancia igual al 5%. Al igual que en el caso del índice de Moran, el resultado indica que existe autocorrelación positiva, rechazándose la hipótesis nula. En la figura 7 se observa la tabla de resultados y el correlograma, con una interpretación análoga a la vista para el índice de Moran.

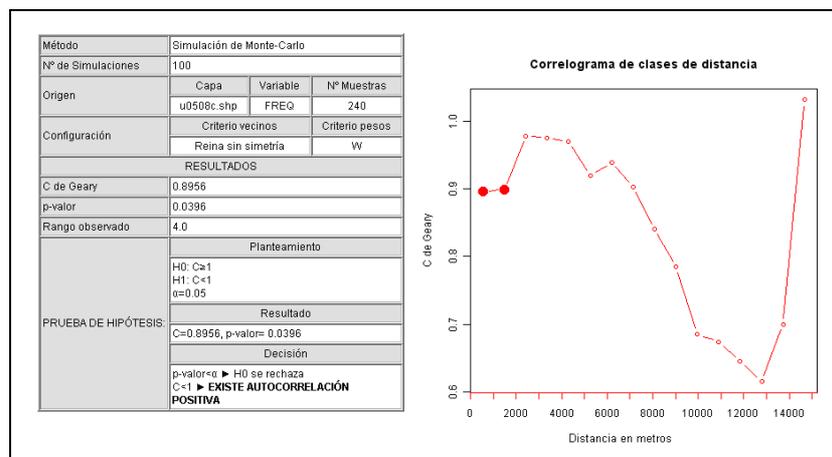


Figura 7: Salidas gráficas del índice de Geary

Cálculo del Índice Moran Local

Los valores del índice de Moran Local obtenidos oscilan entre -2,12 y 5,55. El intervalo de clase de -0,58 a 0,94 se corresponde con la mayor parte de las secciones censales. Por el contrario, existe una anomalía de unas pocas secciones, en la cual los valores van de 2,48 y 5,55, estas se ubican en la zona del Puerto de Vigo y Centro Urbano. Las secciones con valores altos y positivos de I_i se asocian a puntos calientes (hotspot); a la vez estas áreas coinciden con el mayor número de incendios.

(Figura 8)

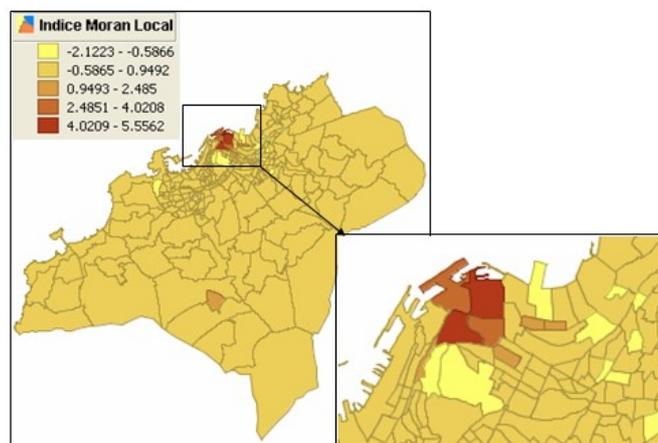


Figura 8: Distribución espacial del Índice Local Moran en el municipio Vigo

CONCLUSIONES

Los sistemas información geográfica combinados con los métodos de estadística espacio-temporal, constituyen herramientas de gran utilidad para la resolución de diferentes problemas, entre ellos los relacionados con la identificación de riesgos, tanto naturales como antrópicos.

En este trabajo se muestran los primeros trabajos dirigidos a la obtención de una aplicación informática para el estudio de la distribución espacio-temporal de los incendios en viviendas y su relación con factores socioeconómicos y ambientales. Esta aplicación se está desarrollando combinando dos paquetes de software libre, uno es una herramienta SIG, gvSIG, y el otro un programa de estadística de difusión libre llamado R.

Las funciones programadas hasta el momento permiten al usuario visualizar gráficamente la distribución de los incendios y estudiar si existe agrupación o dispersión espacial de los incendios.

Las pruebas realizadas en el municipio de Vigo han permitido establecer que existe correlación espacial positiva, lo que indica que las zonas con mayor incidencia de incendios están cercanas a otras con tasas elevadas de incendios, y a la inversa (zonas con baja incidencia de incendios están próximas a otras con pocos incendios).

Por otro lado, el análisis local realizado mediante el índice Moran Local, revela que existe una zona de incidencia de incendios anómala en la zona del Puerto de Vigo y Centro Urbano, que es una de las áreas de más antigüedad de la ciudad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos nuestro agradecimiento a los bomberos de Vigo, que nos han dado acceso al registro de incendios ocurridos en esa ciudad.

REFERENCIAS

- [1] JENNINGS, C. (1999). Socioeconomic characteristics and their relationship to fire incidence: a review of the literature. *Fire technology* 35 (1), 7-34.
- [2] DUNCANSON, M.; WOODWARD, A. AND REID, P. (2002). Socio-economic deprivation and fatal unintentional domestic fire incidents in New Zealand 1993-1998. *Fire Safety Journal*, 37, 165-179.
- [3] CORCORAN, J.; HIGGS, G.; BRUNSDON, C.; WARE, A. AND NORMAL, P. (2007). The use of spatial analytical techniques to explore patterns of fire incidence: A South Wales case study. *Computers, Environment and Urban Systems* 31 (6), 623-647.
- [4] Association for Geographic Information (AGI). (1997). Emergency services GI survey. AGI, London.
- [5] MERRALL, S. (2001). GIS for spatial analysis of fire incidence; Identification of social, economic and environmental risk indicators. In A. Hirschfield & K. Bowers (Eds.), *Mapping and analysing crime data – Lessons from research and practice*, pp. 156–183, Taylor and Francis, London and New York.
- [6] GATRELL, A.; BAILEY, T.; DIGGLE, P.; ROWLINGSONT, B. (1996). Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology. *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series* 21 (1), 256-274.
- [7] CRAGLIA, M.; HAINING, R.; WILES, P. (2000). A comparative evaluation of approaches to urban crime pattern analysis. *Urban Studies*, 37 (4), 711–729.

- [8] ANSELIN, L.; BERA, A. (1998). Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics. In Ullah, A. and Giles, D. E. Editors, *Handbook of Applied Econometrics*, pp. 237-289, Marcel Dekker, New York.
- [9] ANSELIN, L. (1996). Local Indicators of Spatial Association- LISA, *Geographical Analysis* 27, 93-115.
- [10] KULLDORFF, M.; NAGARWALLA, N. (1995). Spatial disease clusters: detection and inference. *Statistics in Medicine*, 14, 799-810.
- [11] SMIRNOV, O.; ANSELIN, L. (2001). Fast maximum likelihood estimation of very large spatial autoregressive models: A characteristic polynomial approach. *Computational statistics and Data Analysis* 35, 301-319.
- [12] KLOOG, I.; HAIM, A.; BORIS, A.; PORTNOV, B. (2009). Using kernel density function as an urban analysis tool: Investigating the association between nightlight exposure and the incidence of breast cancer in Haifa, Israel. *Computers, Environment and Urban Systems* 33, 55-63.
- [13] CHEN, J.; ROTH, R.; NAITO, A.; LENGERICH, E.; MACEACHREN, A. (2008). Geovisual analytics to enhance spatial scan statistic interpretation: an analysis of U.S. cervical cancer mortality. *International Journal of Health Geographics* 7 (57), 1-18.
- [14] PEBEMA, E.; DE JONG, K.; BRIGGS, D. (2007). Interactive visualization of uncertain spatial and spatio-temporal data under different scenarios: an air quality example. *International Journal of Geographical Information Science* 21 (5), 515-527.
- [15] GUNTHER, P. (1981). Fire cause patterns for different socio-economic neighborhoods in Toledo, Ohio. *Fire Journal*, 75 (3), 52-58.
- [16] CHANDLER, S. E.; CHAPMAN, A.; HALLINGTON, S. J. (1984). Fire incidence, housing and social conditions – The urban situation in Britain. *Fire Prevention*, 172, 15-20.
- [17] DODGE, M. (1996). The visualisation and analysis of fire incidents using GIS. In Joint European conference and exhibition on geographical information, Barcelona.
- [18] CORCORAN, J. (2003). Survey of GIS uptake in UK Brigades. Unpublished mimeo. Available from jj.corcoran@uq.edu.au.
- [19] CORCORAN, J.; HIGGS, G.; BRUNSDON, CH.; WARE, A. (2007) The Use of Comaps to Explore the Spatial and Temporal Dynamics of Fire Incidents: A Case Study in South Wales, United Kingdom. *The Professional Geographer* 59 (14), 521-536.
- [20] CHHETRI, P.; CORCORAN, J.; STIMSON, R. (2009). Exploring the spatio-temporal dynamics of fire incidence and the influence of socio-economic status: a case study from south east queensland, Australia. *Journal of Spatial Science* 54 (1), 79-91.
- [21] ROHDE, D.; CORCORAN, J.; CHEETRI, P. (2010). Spatial forecasting of residential urban fires: A Bayesian approach. *Computers, Environment and Urban Systems* 34 (1), 58-69.
- [22] The National Institute of Justice Washington, 2009, *CrimeStat Manual: Chapter.4 Spatial Description*. Pp 4.48-4.56.
- [23] The National Institute of Justice Washington, 2009, *CrimeStat Manual: Chapter.4 Spatial Description*. Pp 4.57-4.63.
- [24] SÁNCHEZ SIMON, (2004) “El estudio econométrico de la concentración espacial de la industria: Ejemplo de aplicación en Madrid, Toledo y Guadalajara”, *Anales de Geografía*, numero 24 207-227. ISSN: 0211-9803.
- [25] BIVAND, ROGER, PEBESMA EDZER (2008) “Applied Spatial Data Analysis with R *Springer* pp 21-268.
- [26] The National Institute of Justice Washington, 2009, *CrimeStat Manual: Chapter.7 ‘Hot Spot’ Analysis II* pp 7.32-7.40