

DESARROLLO DE UN SIG PARA EL ANÁLISIS DE PATRONES ESPACIALES DE INCENDIOS EN VIVIENDAS

CELESTINO ORDÓÑEZ GALÁN¹, MARÍA ROSA VARELA GONZÁLEZ²,
AIMARA REYES PANTOJA³.

Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente (IRNMA), Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, Rúa Torrecedeira, 86, 36208 Vigo (España)

¹cgalan@uvigo.es, ²mariavargon@gmail.com, ³aimarareyes@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. En este artículo se presenta una herramienta informática basada en la tecnología SIG que podría ser utilizada por los servicios de extinción de incendios, tanto para prevenirlos como para responder ante una emergencia por incendio en una vivienda o edificio. La herramienta ha sido desarrollada utilizando como base los programas gvSIG y R, ambos de acceso libre. Con el primer programa se hace uso de la capacidad de los SIG para trabajar con información geográfica, mientras que del segundo se aprovecha su capacidad para realizar análisis estadísticos. El sistema desarrollado se utilizó para estudiar la autocorrelación espacial de incendios en viviendas y para detectar puntos calientes que representan áreas con riesgo de incendio, entre los años 2005 y 2008, en el municipio de Vigo (España)

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

DEVELOPMENT OF A GIS FOR SPATIAL PATTERN ANALYSIS OF HOUSING FIRE

ABSTRACT

The fire services in cities are forced to perform their task with increasing speed and efficiency, but often a balance does not exist between increasing demands at work and the corresponding increase in both material and human resources. This article presents a software tool based on GIS technology that can be used by fire services to prevent and to respond to an emergency fire in a house or building. 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 system developed was used to study the autocorrelation of house fires and to detect hot spots representing areas at risk of fire during the years 2005 and 2008 in the city of Vigo (Spain).

Keywords: GIS, dwelling fires, spatial statistics, free software, gvSIG, R

1. Introducción

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 (Jennings, 1999; Duncanson *et al.*, 2002). 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 (Corcoran *et al.*, 2007a). En el año 1997, la Asociación para la Información Geográfica (AGI, 1997) realizó una investigación para determinar las ventajas, 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 utilizados se habían comprado a partir del año 1995. En España no es habitual, según lo que los autores hemos podido constatar, el uso de tecnologías SIG y de técnicas de análisis de datos espaciales por parte de los servicios de extinción de incendios en áreas urbanas, mientras que algunos autores ya han descrito el empleo de estas y otras herramientas informáticas para el análisis de los incendios urbanos en otros países (Merrall, 2001). En el caso particular de Galicia (España) la mayoría de los parques de bomberos apenas cuentan con medios informáticos y los partes de las emergencias que incluyen incendios en viviendas urbanas siguen almacenándose en papel. Sin embargo, los incendios en viviendas cada día cobran más importancia ya que se producen con mayor frecuencia y representan un problema ambiental y de seguridad en las ciudades, llegando en ocasiones a provocar la pérdida de vidas humanas y bienes materiales.

Las técnicas clásicas de análisis de datos espaciales para estudiar patrones de distribución espacial en áreas urbanas, que se han empleado en campos como la epidemiología (Gatrell *et al.*, 1996), criminología (Craglia *et al.*, 2000) o econometría (Anselin y Bera, 1998), son principalmente el análisis de autocorrelación espacial (Anselin, 1996), las técnicas de análisis de agrupaciones de puntos o análisis clúster (Kulldorff y Nagarwalla, 1995) o los modelos de autorregresión espacial (Smirnov y Anselin, 2001). En los últimos años se han empezado a utilizar otro tipo de técnicas para el análisis de patrones de distribución espacial, como los mapas de densidad (Corcoran *et al.*, 2007a; Kloog *et al.*, 2009) o nuevas técnicas de representación visual de variaciones en espacio y el tiempo de dichos patrones (Chen *et al.*, 2008; Pebema *et al.*, 2007).

Los primeros trabajos (Gunther, 1981; Chandler *et al.*, 1984) en los que se trataba de relacionar los incendios en viviendas con factores socioeconómicos datan de los años ochenta del siglo pasado, pero en ellos todavía no se utilizaban los SIG como herramienta para el estudio de los incendios. Posteriormente, Dodge (1996) presentó un trabajo en el que ya hacía uso de estos

sistemas para analizar y visualizar incidentes por incendios. En el año 2001, Merrall (2001) 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 Queensland, junto con otros investigadores, los que más han trabajado en la utilización de los SIG y las técnicas de estadística espacial para el estudio de los incendios en viviendas (Corcoran *et al.*, 2007a; Corcoran, 2003; Corcoran *et al.*, 2007b; Chhetri *et al.*, 2009; Rohde *et al.*, 2010).

El objetivo de este artículo es presentar los conceptos, métodos y resultados obtenidos hasta el momento en un proyecto que persigue desarrollar un SIG para el análisis de incendios en viviendas, empleando como base los programas *gvSIG* y *R* (ambos de libre acceso). Mediante dicho SIG se podrán delimitar zonas y/o períodos de tiempo con una concentración anómala de incendios y su relación con variables de tipo socioeconómico. Esta información será de utilidad para 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. Hasta el momento, la aplicación desarrollada permite estudiar la autocorrelación de los valores de los incendios en viviendas de forma global, así como determinar las áreas bajo riesgo de incendios a través de la detección de puntos calientes.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: en el apartado segundo se describen el área de estudio, los datos recogidos y las técnicas de análisis de autocorrelación espacial implementadas hasta el momento en el SIG. Posteriormente, en el apartado 3, se describen los resultados obtenidos de la aplicación de dichas técnicas al área de estudio. Finalmente, se establecen las conclusiones que se extraen del análisis de los resultados.

2. Materiales, datos y métodos

2.1. Caracterización del área de estudio.

El área de estudio en este trabajo corresponde al municipio de Vigo, ubicado en la costa atlántica de la Comunidad Autónoma de Galicia (España). Se caracteriza por ser una zona altamente industrializada, con importantes empresas de los sectores automovilístico y naval, y por contar con uno de los principales puertos de pescado de Europa. También tiene atractivos turísticos notables, entre los que destacan la ría de Vigo y las islas Cíes. Tiene, según cifras del 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% del total. Alberga aproximadamente 32.362 viviendas, de las cuales la parroquia Vigo concentra el 53%.

Desde el punto de vista urbanístico, el desarrollo del municipio de Vigo a lo largo de décadas presenta un crecimiento desordenado que se manifiesta con una elevada densidad de la población en el área central y una ocupación dispersa en la periferia, en las áreas rurales. Existe una

mezcla de usos en el área central, tales como residencial, comercial, financiero y administrativo; asociados a estos espacios se identifican problemas como el deterioro de las viviendas abandonadas, problemas de saneamiento, dificultad de accesos a vías secundarias y carencias de servicios públicos, entre otros.

2.2. Descripción de los datos.

Los datos seleccionados para realizar este trabajo corresponden a los incendios ocurridos en viviendas entre los años 2005 al 2008 (ambos incluidos). Los datos de los incendios se obtuvieron a partir de los registros en papel suministrados por los bomberos de Vigo. Para llevar a cabo la ubicación en un plano en formato digital se procedió a utilizar el programa *gvSIG* (Consellería de Infraestructuras y Transporte de la Generalitat de Valencia, 2009) que permite acceder a información vectorial y ráster, así como a servidores de mapas *WMS (Web Map Service)*, *WFS (Web Feature Service)* y *WCS (Web Coverage Service)*. La [figura 1](#) muestra uno de los partes de incendios en los que se proporciona información sobre una emergencia, junto con una vista del servidor de mapas de la Dirección del Catastro, visualizada con *gvSIG*, correspondiente a un sector del área de estudio.

La cartografía base empleada para ubicar los lugares donde hubo incendios es el plano topográfico disponible en el servidor de mapas de la Dirección General del Catastro¹ y visualizado con *gvSIG*. Los incendios se situaron sobre el plano topográfico de forma aproximada, empleando coordenadas UTM referidas al sistema ED50. La localización geográfica es, no obstante, aproximada, ya que en el parte de incendios sólo se recoge la calle y el número de la vivienda en la que se produjeron los incendios.

La transcripción de los atributos de los incendios al SIG de los incendios en viviendas se hizo a través de una herramienta diseñada con el programa *Oracle* para la actualización y carga de datos. Los datos se almacenaron en una tabla relacional con 559 filas, una para cada incendio, y 14 columnas, cada uno de ellos correspondiente a una característica del incendio. Los campos de cada incendio en vivienda son: identificación (Id, N° calle, piso, letra), tipo de edificio, origen, hora de salida y regreso a la estación de los bomberos, fecha (día, mes, año), gravedad e intencionalidad.

Para realizar el análisis de autocorrelación con la extensión diseñada de *gvSIG* se agregó un campo con el número total de incendios por sección censal a la capa de polígonos de las secciones censales del municipio. Por definición, según el INE, las secciones censales son un referente geográfico de carácter estadístico, cuya actualización se asocia a los trabajos preliminares de todo Padrón municipal de habitantes o Censo de población.

2.3. Definición de los índices de autocorrelación.

Los índices globales y locales de análisis de autocorrelación espacial que se han implementado en la extensión de gvSIG con R son: *Moran Global (I)*, *Geary (C)* y *Moran Local (I_i)*.

El índice *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. Un *I* mayor que 0 indica autocorrelación espacial positiva, es decir, las zonas (en nuestro caso secciones censales) con valores (número de incendios) similares están próximas entre sí (más de lo que correspondería a una distribución aleatoria de los incendios), mientras que un valor de *I* inferior a 0 indica autocorrelación espacial negativa, esto es, las zonas tienen diferentes valores que los correspondientes a sus vecinos (Anselin, 1988).

La expresión matemática del índice *Moran Global* es la siguiente:

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

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* ≠ *j*), \bar{x} es la media de la variable y *w_{ij}* es un peso que depende de la localización relativa entre las observaciones *i* y *j*.

El índice de *Geary (C)* es un índice de comparaciones por pares entre las diferentes zonas; por lo general varía entre 0 y 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 (Griffith, 1987).

La expresión del índice de *Geary (C)* es:

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

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* ≠ *j*), \bar{x} es la media de la variable y *w_{ij}* es un peso que depende de la localización relativa entre las observaciones *i* y *j*.

Estos índices (*Moran Global* y *Geary*) van acompañados de una prueba de hipótesis, bajo el supuesto de normalidad. La hipótesis nula (**H₀**) 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 (Sánchez, 2004).

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 (Bivand y Pebesma, 2008). Si además se tiene en cuenta la distancia, se calculan los pesos según un criterio de proximidad física.

Por otra parte, el índice *Moran Local* (I_i) es básicamente un índice de *Moran* aplicado a cada zona individualmente, que da idea del grado de similitud o diferencia entre el valor de la observación en esa área con respecto al valor en las zonas vecinas. Los valores positivos de I_i se corresponden con agrupamiento (*clusters*), mientras que los valores negativos se corresponden con valores extremos o atípicos (*outliers*), indicando que su comportamiento rompe con la tendencia observada en sus vecinos, lo que permite identificar zonas calientes (*hot spots*) o frías (*cold spots*). (Anselin, 1995).

La expresión matemática del índice *Moran Local* (I_i) es:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sum S_{x_i}} \cdot \sum_{j=1}^N w_{ij} (x_j - \bar{x})$$

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 $i \neq j$), $S_{x_i}^2$ es la diferencia al cuadrado de todas las observaciones y w_{ij} es el peso en función de la distancia para las

interacciones entre las observaciones i y j . El primer factor en el numerador se refiere únicamente a la observación i , mientras que el segundo es la suma, respecto de la media, de los valores ponderados para todas las observaciones (sin incluir i).

3. Resultados.

3.1. 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 las funciones de 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*. En la [figura 2](#) se muestra un esquema de los elementos que componen el 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 *Reengine* 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). La [figura 3](#) indica la distribución de los paquetes que permiten la funcionalidad relacionada con los índices de autocorrelación.

3.2 Interfaz gráfica de usuario

Cada uno de los índices de autocorrelación *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 4](#) 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.

Al finalizar la ejecución del programa se abre una ventana mostrando el resultado. Por defecto muestra una tabla que indica, además de los resultados del cálculo del índice, el método seleccionado, la capa y variables seleccionadas, el criterio de vecindad utilizado para el cálculo de los pesos, etc. Dependiendo del tipo de prueba seleccionado también puede mostrar una gráfica de apoyo a la interpretación de los resultados. En la [figura 5](#) se muestra el aspecto que presenta la ventana de resultados.

3.3. Aplicaciones de la extensión diseñada

Una vez diseñada la extensión se procedió a su aplicación para el análisis de la distribución de los patrones espaciales de los incendios en viviendas en el área de estudio. Para ello se partió de la visualización e interpretación en un mapa de la distribución espacial de los números de incendios por secciones censales. De acuerdo con la distribución espacial del 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. En la [figura 6](#) se puede ver la distribución espacial del número de incendios en viviendas en el municipio Vigo para el periodo comprendido entre los años 2005 al 2008. 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.

Para el cálculo de los índices *Moran Global (I)* y *Geary (C)* con la extensión diseñada, 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)*, el de *Geary (C)*, ambos para 100 simulaciones por el método de Monte Carlo (para estudiar su significación estadística), y los correlogramas de distancias para cada índice. Los resultados para ambos índices se muestran en forma de tablas y de gráficos.

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

Al aplicar el índice *Moran Global* con los criterios establecidos, para un nivel de significación igual al 5%, arroja como resultado que existe autocorrelación 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, para una distancia de 0 a 6 Km., luego el valor del índice se incrementa hasta llegar a 0,3 a una distancia de 13 Km. De este gráfico se interpreta que existe autocorrelación positiva significativa a una distancia inferior a los 3 Km. (puntos rojos), lo cual podría indicar concentración de los incendios en viviendas a esta distancia. La [figura 7](#) muestra la salida del índice *Moran Global* y el correlograma correspondiente, al ejecutar la extensión diseñada de *gvSIG*.

El índice de *Geary (C)* se calculó utilizando el criterio de vecindad estilo 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 Global*, el resultado indica que existe autocorrelación positiva, rechazándose la hipótesis nula. En la [figura 8](#) se observa la tabla de salida de resultados y el correlograma, en éste se muestra que la autocorrelación es positiva y que es significativa hasta una distancia de 2 Km.

Los índices globales solo proporcionan una aproximación a la realidad de la autocorrelación de los valores y su grado de concentración o dispersión. Otro índice, el *Moran Local*, especifica dónde se encuentran localizados dichos grupos o *cluster*. Los valores del índice *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 las cuales los valores van de 2,48 y 5,55, que se ubican en la zona del Puerto de Vigo y en el Centro Urbano. Las secciones con valores altos y positivos de I_i se asocian a puntos calientes (*hot spot*); a la vez estas áreas coinciden con las de mayor número de incendios. La [Figura 9](#) muestra la distribución espacial del índice *Moran Local*.

4. Conclusiones

Los Sistemas Información Geográfica, combinados con métodos de estadística espacial, 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 artículo se muestran los primeros trabajos dirigidos a la obtención de una aplicación informática para el estudio de la distribución espacial de los incendios en viviendas en el periodo correspondiente del 2005 al 2008. 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*. Estos trabajos iniciales forman parte de un estudio más extenso encaminado a realizar análisis de los patrones de distribución espacio-temporal de los incendios en viviendas y su relación con variables socioeconómicas, empleando técnicas de estadística espacial y aplicaciones SIG.

Las funciones programadas hasta el momento permiten al usuario visualizar gráficamente la distribución de los incendios y determinar índices que dan idea de la existencia de agrupación o dispersión espacial de los incendios.

Las pruebas realizadas en el municipio de Vigo han permitido establecer que existe correlación espacial positiva en la localización de incendios, 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 que engloba el Puerto de Vigo y el Centro Urbano, que es una de las áreas con los edificios más antiguos, algunos de ellos abandonados, lo que podría indicar que ambos factores, antigüedad y abandono, influyen en la aparición de los incendios.

Referencias bibliográficas

- Anselin, L. (1988): *Spatial econometrics: Methods and models*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Anselin, L. (1995): "Local indicators of spatial association - LISA". *Geographical Analysis*, 27, 2, pp. 93 - 115.
- Anselin, L. y 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.
- Anselin, L. (1996): "Local Indicators of Spatial Association- LISA", *Geographical Analysis*, 27, pp. 93-115.
- Association for Geographic Information (AGI) (1997): Emergency services GI survey. AGI, London.
- Bivand, R y Pebesma, E. (2008): "Applied spatial data analysis with R". *Springer*, pp. 21-268.
- Chandler, S., Chapman, A. y Hallington, S. (1984): "Fire incidence, housing and social conditions – The urban situation in Britain". *Fire Prevention*, 172, pp. 15–20.
- Chen, J., Roth, R., Naito, A., Lengerich, y Maceachren, A. (2008): "Geovisual analytics to enhance spatial scan statistic interpretation: an analysis of U.S. cervical cancer mortality". *International Journal of Health Geographic*, 7 (57), pp. 1-18.
- Chhetri, P., Corcoran, J. y Stimson, R. (2009): "Exploring the spatial -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), pp. 79-91.
- Corcoran, J. (2003): *Survey of GIS uptake in UK Brigades*. Unpublished mimeo. Available from jj.corcoran@uq.edu.au.
- Corcoran, J., Higgs, G., Brunsdon, C., Ware, A. y Normal, P. (2007a): "The use of spatial analytical techniques to explore patterns of fire incidence: A South Wales case study". *Computers, Environment and Urban Systems*, 31 (6), pp. 623-647.
- Corcoran, J., Higgs, G, Brunsdon, Ch. y Ware, A. (2007b): "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), pp. 521-536.
- Craglia, M., Haining, R. y Wiles, P. (2000): "A comparative evaluation of approaches to urban crime pattern analysis". *Urban Studies*, 37 (4), pp. 711–729.
- Dodge, M. (1996): The visualizations and analysis of fire incidents using GIS. In *Joint European conference and exhibition on geographical information*, Barcelona.
- Duncanson, M., Woodward, A. y Reid, P. (2002): "Socio-economic deprivation and fatal unintentional domestic fire incidents in New Zealand" 1993-1998. *Fire Safety Journal*, 37, pp. 165-179.
- Gatrell, A., Bailey, T., Diggle, P. y Rowlingson, B. (1996): "Spatial point pattern analysis and its application in geographical epidemiology". *Transactions of the Institute of British Geographers*, New Series 21 (1), pp. 256-274
- Griffith, D. (1987): *Spatial Autocorrelation: A Primer*. Resource Publications in Geography, The Association of American Geographers: Washington, DC.
- Gunther, P. (1981): "Fire cause patterns for different socio-economic neighbourhoods in Toledo, Ohio". *Fire Journal*, 75 (3), pp. 52–58

Ordóñez Galán, C., Varela González, M., Reyes Pantoja, A. (2011): “Desarrollo de un SIG para el análisis de patrones espaciales de incendios en viviendas”, *GeoFocus (Artículos)*, n° 11, p. 1-18. ISSN: 1578-5157

Jennings, C. (1999): “Socioeconomic characteristics and their relationship to fire incidence: a review of the literature”. *Fire technology*, 35 (1), pp. 7-34.

Kloog, I., Haim, A., Boris, A. y 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, pp. 55- 63.

Kulldorff, M. y Nagarwalla, N. (1995): “Spatial disease clusters: detection and inference”. *Statistics in Medicine*, 14, pp. 799–810.

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 analyzing crime data – Lessons from research and practice*, pp. 156–183, Taylor and Francis, London and New York.

Pebema, E., De Jong, K. y Briggs, D. (2007): “Interactive visualization of uncertain spatial and spatial-temporal data under different scenarios: an air quality example”. *International Journal of Geographical Information Science* 21 (5), pp. 515-527.

Rohde, D., Corcoran, J. y Cheetri, P. (2010): “Spatial forecasting of residential urban fires: A Bayesian approach”. *Computers, Environment and Urban Systems* 34 (1), pp. 58-69.

Sánchez, S. (2004): “El estudio econométrico de la concentración espacial de la industria: Ejemplo de aplicación en Madrid, Toledo y Guadalajara”, *Anales de Geografía*, número 24, pp.207-227. ISSN: 0211-9803.

Smirnov, O. y Anselin, L. (2001): “Fast maximum likelihood estimation of very large spatial autoregressive models: A characteristic polynomial approach”. *Computational Statistics and Data Analysis* 35, pp. 301-319.

Ordóñez Galán, C., Varela González, M., Reyes Pantoja, A. (2011): "Desarrollo de un SIG para el análisis de patrones espaciales de incendios en viviendas", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 1-18. ISSN: 1578-5157

FIGURAS

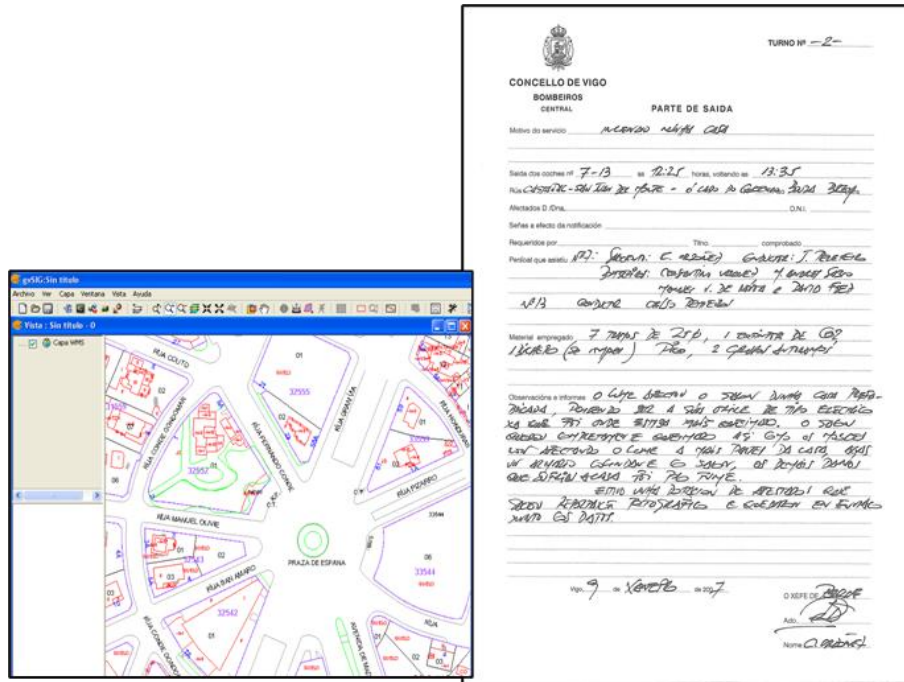


Figura 1. Vistas del servidor de mapas con gvSIG y ejemplo de un parte de incendios.

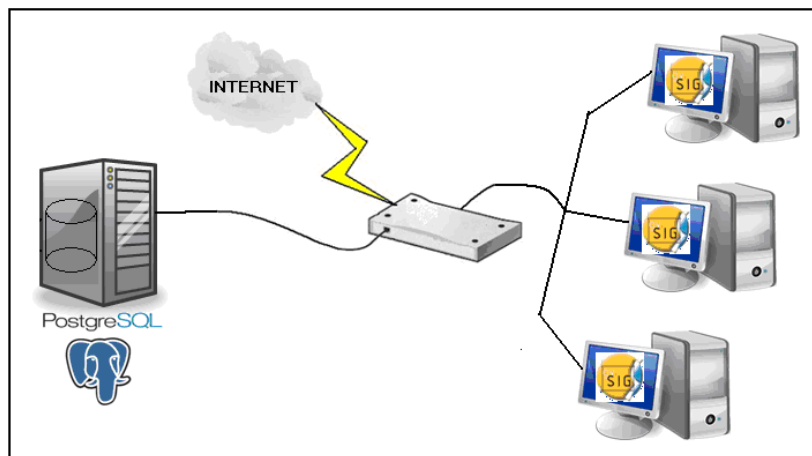


Figura 2. Esquema de funcionamiento del SIG.

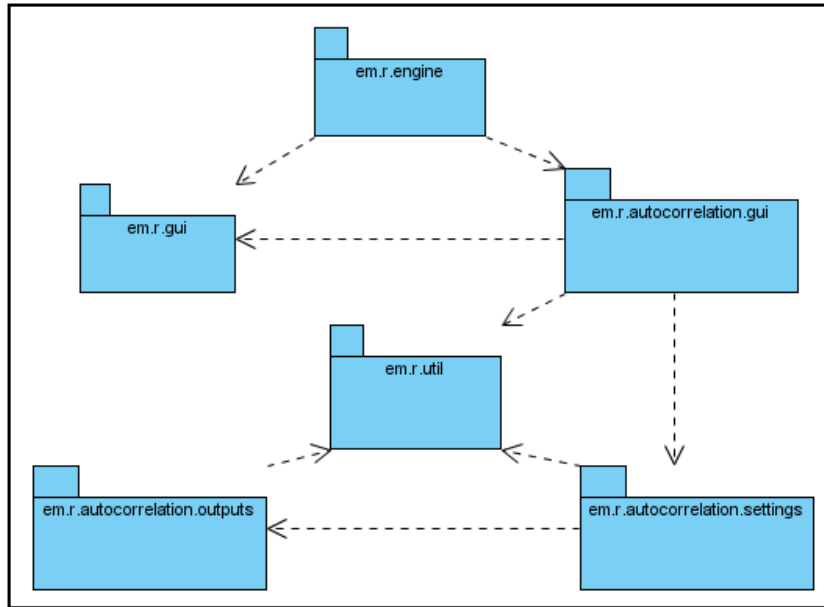


Figura 3. Diagrama de paquetes de la extensión implementada.

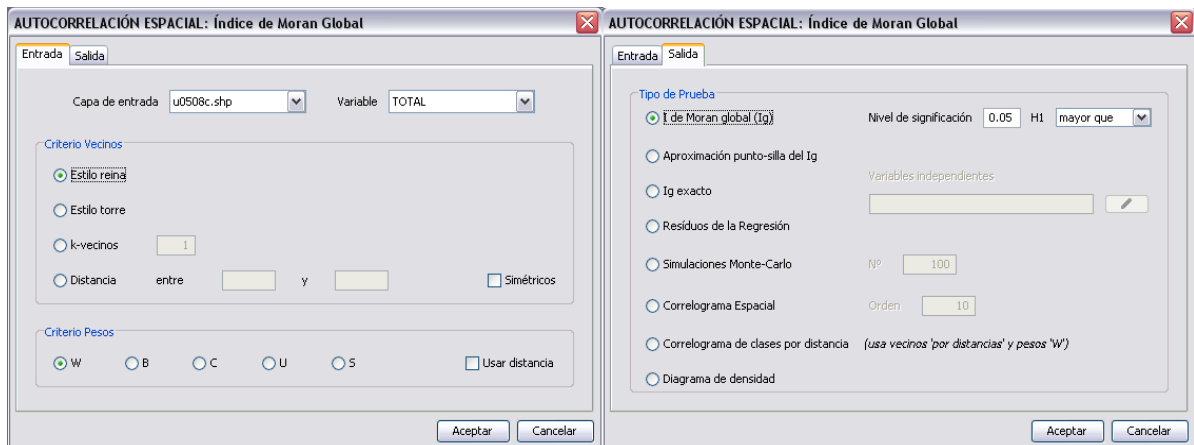


Figura 4. Cuadro de diálogo para el índice Morán Global.

Ventana de Resultados

Resultado 1 Resultado 2

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
PRUEBA DE HIPÓTESIS:	Planteamiento		
	H0: $I \leq 0$		
	H1: $I > 0$		
	$\alpha = 0.05$		
	Resultado		
	$I = 0.1155$, p-valor = 8.0E-4		
Decisión			
p-valor $\leq \alpha$ ► H0 se rechaza			
$I > 0$ ► EXISTE AUTOCORRELACIÓN POSITIVA			

Figura 5. Resultados de la ejecución del cálculo del índice *Moran Global*.

Ordóñez Galán, C., Varela González, M., Reyes Pantoja, A. (2011): "Desarrollo de un SIG para el análisis de patrones espaciales de incendios en viviendas", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 1-18. ISSN: 1578-5157

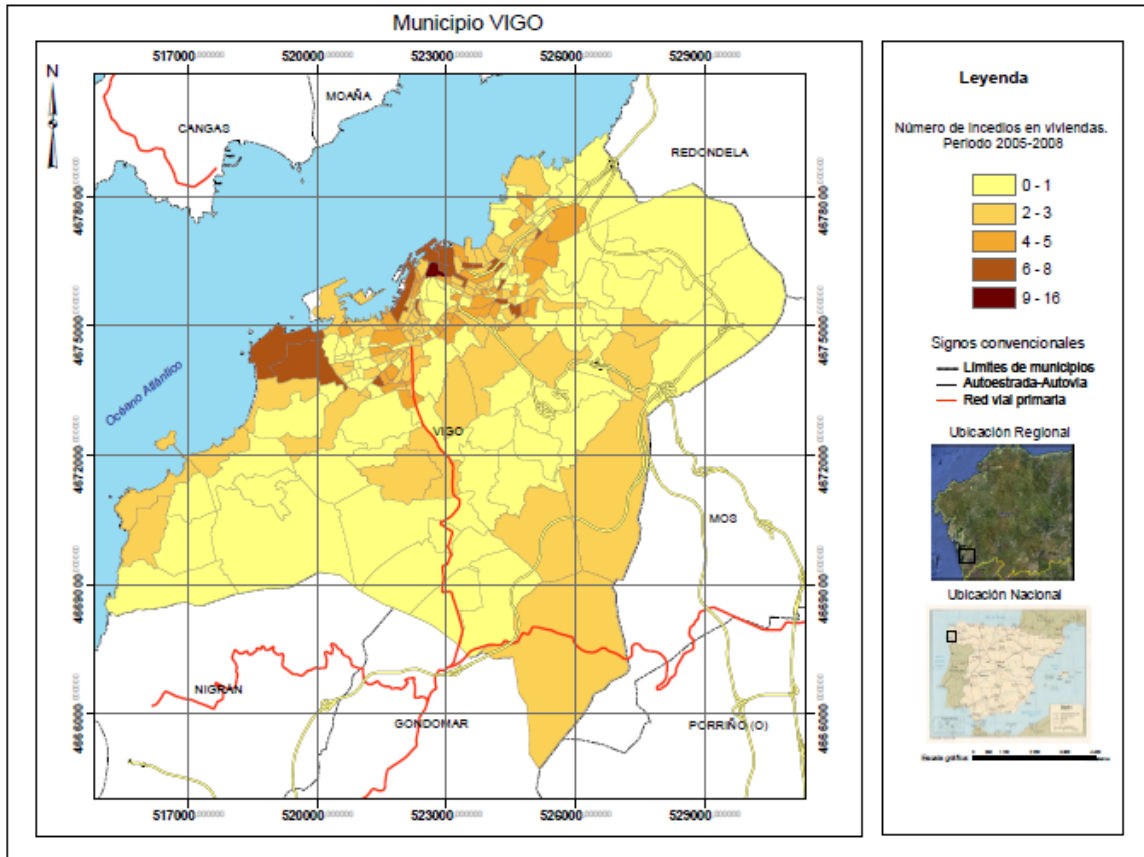


Figura 6. Distribución espacial del número de incendios por secciones censales (2005-2008).

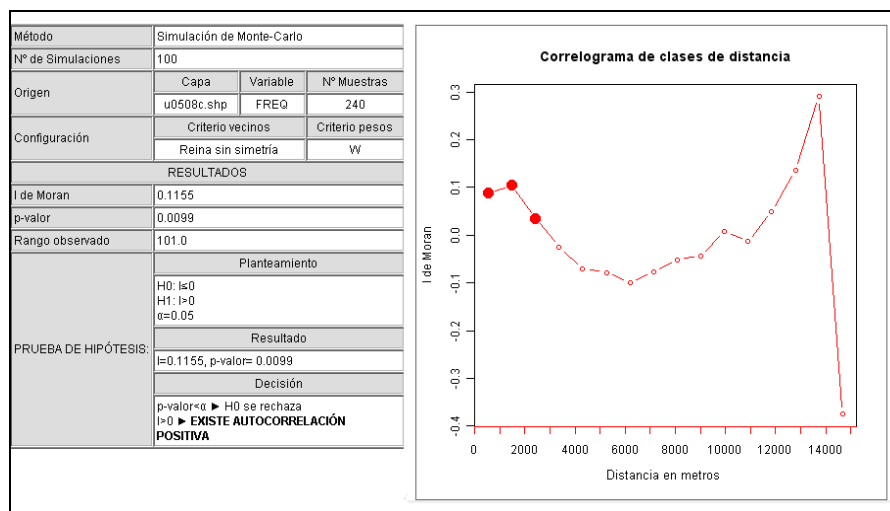


Figura 7. Índice *Moran Global* y correlograma correspondiente.

Ordóñez Galán, C., Varela González, M., Reyes Pantoja, A. (2011): "Desarrollo de un SIG para el análisis de patrones espaciales de incendios en viviendas", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 1-18. ISSN: 1578-5157

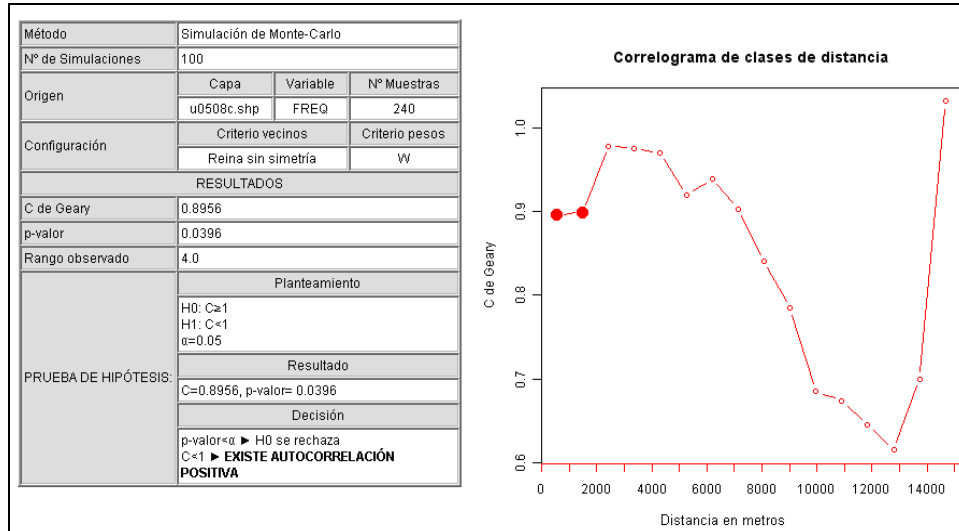


Figura 8. Índice de Geary y correlograma correspondiente.

Ordóñez Galán, C., Varela González, M., Reyes Pantoja, A. (2011): "Desarrollo de un SIG para el análisis de patrones espaciales de incendios en viviendas", *GeoFocus (Artículos)*, nº 11, p. 1-18. ISSN: 1578-5157

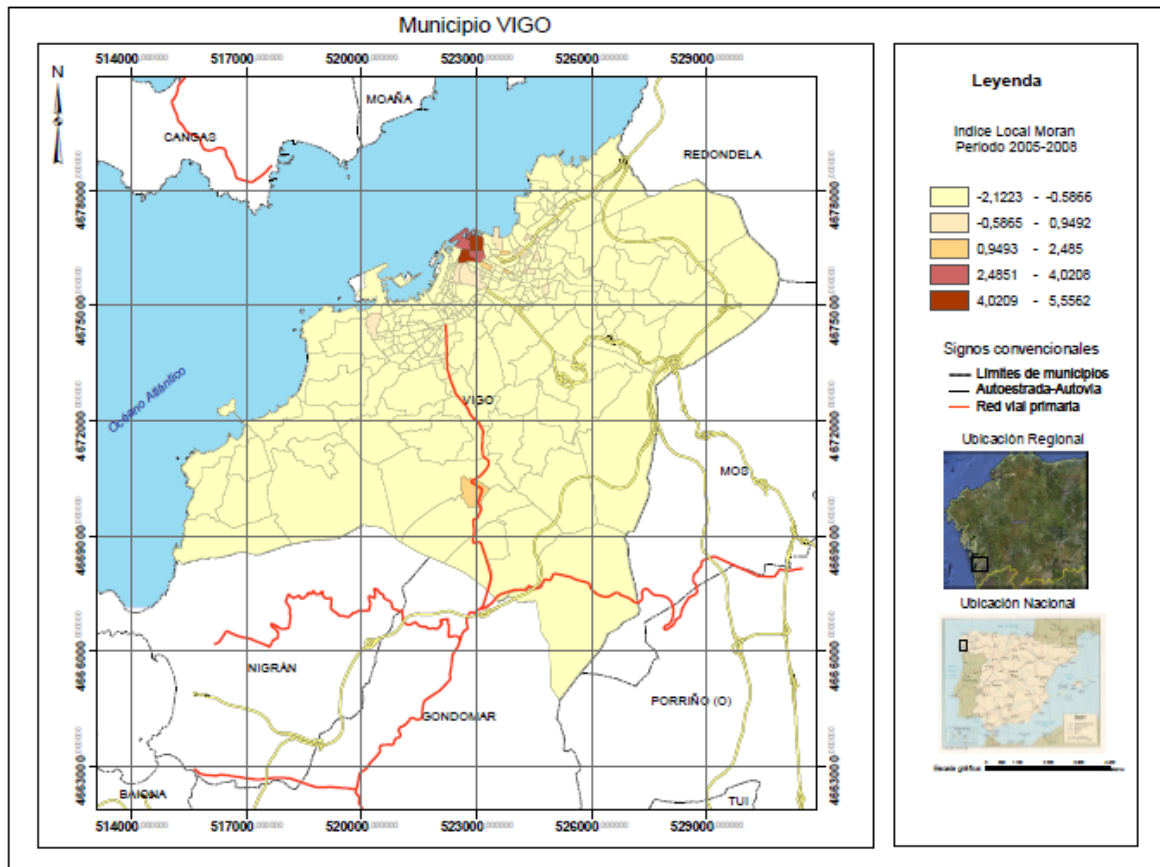


Figura 9. Distribución espacial del índice *Moran Local* en el municipio de Vigo.

¹ <http://ovc.catastro.meh.es/Cartografia/WMS/ServidorWMS.aspx>