

Análisis de Cuadrados para Analizar la Concentración de Igniciones en Áreas Urbanas y Rurales. Los casos del Área Metropolitana de Barcelona y la Comarca del Bages =====

*Anna Badia Perpinyà*¹

*Montserrat Pallarès Barberà*¹

*Josep Piñol Pascual*²

¹ *Departament de Geografia, UAB.*

² *CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals), UAB.*

Resumen

El objetivo de este artículo es demostrar estadísticamente que la distribución de incendios responde a patrones de comportamiento regular, aleatorio o agrupado dependiendo de la tipología del territorio y de sus funciones. La metodología de base consiste en la aplicación del análisis de cuadrados (AC), en el marco de los sistemas de información geográfica (SIG). La distinta distribución espacial que se observa en zonas urbanas, con incendios más concentrados, y en zonas rurales, con incendios más dispersos, es el resultado de comportamientos ignitorios distintos y por lo tanto, las acciones y políticas que se tengan que aplicar, han de resolver situaciones con características específicas y diferenciadas en cada caso. Para definir estos modelos se ha considerado dos ámbitos de la geografía catalana muy distintos en cuanto al uso del territorio y por lo tanto, al comportamiento de los incendios, el Área Metropolitana de Barcelona, zona completamente urbanizada (AMB) y la comarca del Bages, zona con una estructura mucho más rural.

Palabras clave: SIG, análisis de cuadrados, igniciones en áreas urbanas, igniciones en áreas rurales.

1. Introducción

Los incendios forestales son un problema común en numerosas regiones de la cuenca mediterránea. La lucha contra los incendios forestales es pues, uno de los problemas que tiene que afrontar la gestión ambiental de estos países. Son muchos los esfuerzos destinados a la previsión, prevención y extinción de los incendios, traducidos en un gran número de trabajos de investigación en este campo. La disponibilidad de información sobre la distribución espacio-temporal de los incendios es uno de los fundamentos de cualquier estudio empírico. El caso que nos ocupa plantea la aplicación de un método, el análisis de cuadrados (AC), para determinar el grado de concentración de los incendios y establecer pautas de comportamiento que ayuden a predecir y prevenir la posible ocurrencia de los incendios.

El objetivo principal que se plantea es el análisis de la distribución espacial de los incendios a través de la frecuencia de igniciones durante el periodo 1987-1998, como base que permita mostrar, en trabajos posteriores, como la concentración de incendios está influenciada por la tipología del territorio y sus funciones. Para llevar a cabo este objetivo, hemos considerado dos zonas con comportamientos ignitorios distintos: unas zonas con un gran nivel de urbanización, con incendios mucho más concentrados, y unas zonas rurales, con incendios más dispersos. Para definir estos modelos y establecer sus propias características, en este artículo se han considerado los incendios ocurridos en dos ámbitos de Catalunya, durante el periodo 1987-1998, completamente distintos en cuanto a su comportamiento: a) el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), con alto grado de urbanización, donde la incidencia de igniciones es muy acusada; y b) la comarca del Bages, zona rural situada en el centro de Catalunya, afectada por grandes incendios forestales.

2. Ámbito de estudio

El AMB y la comarca del Bages, los dos ámbitos de estudio seleccionados para la aplicación del AC, son un ejemplo de dos modelos de comportamiento de incendios completamente distintos. Aunque es difícil justificar el por qué de dos ámbitos delimitados administrativamente, cuando hablamos de un fenómeno tan dinámico como los incendios forestales (fenómeno que no respeta límites administrativos), creemos que estas dos zonas simbolizan el problema de los incendios en ámbitos urbanos y en zonas rurales. La *Figura 1* muestra la localización de los dos ámbitos de estudio en relación a Catalunya.

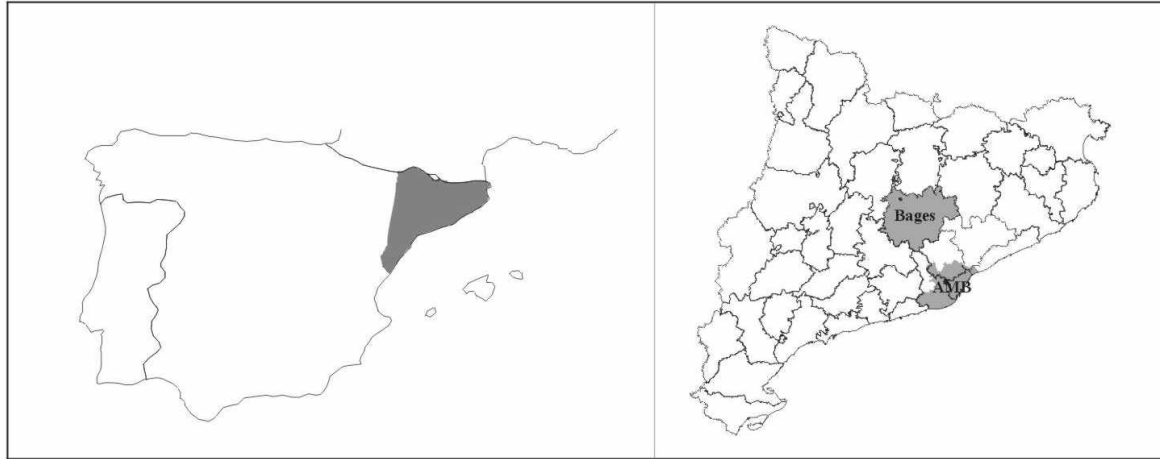


Figura 1. Localización de los ámbitos de estudio

El AMB forma parte de la Mancomunitat de Municipis del Area Metropolitana de Barcelona, MMAMB. En este trabajo se ha considerado la conurbación de Barcelona que agrupa 32 municipios considerando la gestión en relación a los servicios hidráulicos y de tratamiento de residuos (MMAMB, 1995), repartidos entre las comarcas del Barcelonès, Maresme, Vallès Occidental y Baix Llobregat. Ésta es la zona que gestiona, a través de una concesión exclusivamente para la prevención de incendios forestales, el Patronat Metropolità de Collserola, entidad que ha facilitado la mayor parte de los datos de incendios en formato digital. La situación administrativa del Bages, es mucho más simple, en tanto que es una de las 41 comarcas que establece la organización territorial de Catalunya fijada por la Llei 6/1987 del 4 de abril. La importancia de los incendios que han arrasado esta comarca (en cuanto al tamaño) ha motivado, por parte de la administración catalana, un estudio al detalle, por lo que la fiabilidad de los datos ha sido contrastada.

Mientras que en el AMB más del 40% de la superficie (de unas 58.500 ha. en total) está ocupada por usos efectivamente urbanos, con una población que supone el 47,5% de la población total de Catalunya, el Bages, con una superficie aproximada de 128.500 ha, sólo el 3% es zona urbanizada, con una población que supone el 2,5% sobre el total de Catalunya. Otro rasgo a destacar es el porcentaje de superficie forestal en ambas zonas, con aproximadamente un 40% de la superficie total en el AMB y un 70% en el Bages. Así pues, la distribución sobre el territorio de los núcleos de población y de los espacios libres (algunos de ellos bajo figuras de protección) del AMB, juntamente con el denso uso del territorio facilitado por la compleja y extensa red viaria, la convierten en una zona muy fragmentada. Contrariamente, la comarca del Bages, con extensas zonas forestales interrumpidas en ocasiones por algunos viales principales y numerosos caminos secundarios, configuran un territorio caracterizado por la presencia de grandes massas continuas.

3. Metodología

La descripción de la naturaleza de los incendios mediante el modelo de AC, nos permitirá tener un primer indicador del riesgo de ignición, ya que nos da una medida de la probabilidad que en una celda haya o no incendios a partir del análisis de las frecuencias observadas. Se intenta demostrar estadísticamente, si la distribución de los incendios en los dos ámbitos de estudio sigue algún tipo de patrón, ya sea regular, aleatorio o agrupado, con la finalidad de poder obtener más información sobre la tipología de los incendios y explicar así la concentración o no en unas zonas determinadas, justificadas en función de las condiciones humanas y del territorio. Se trata pues de un método de predicción de la probabilidad del riesgo de ignición en función de las observaciones de los focos de incendio que se disponen de l'AMB i de la comarca del Bages, durante el periodo 1987-1998.

La metodología utilizada se puede resumir en los siguientes puntos:

- ✓ captura i verificación de los datos
- ✓ descripción del modelo utilizado, AC, para analizar la naturaleza de la distribución espacial de los incendios
- ✓ aplicación del AC en los dos ámbitos de estudio utilizando los SIG
- ✓ explotación de los resultados

Información necesaria para la aplicación del AC:

- ✓ Base de los focos de incendios del AMB y de la comarca del Bages durante el período 1987-1998. La base del AMB procede del Departamento de Agricultura de la Generalitat de Catalunya para el periodo 1987-1989 y para el periodo 1990-1998 procede del Patronat Metropolità de Collserola; en el caso del Bages, la base procede íntegramente del Departament d'Agricultura de la Generalitat de Catalunya. Como se explicará más adelante, se han manipulado estas bases de origen vectorial para convertirlas en formato ráster a una resolución de 1 km, 2,5 km y 5 km.
- ✓ Malla de 1 km, 2 km i 5 km de lado, digitalizada con AutoCad i estructurada con ArcInfo para asociarle el atributo de frecuencia.
- ✓ Base de las zonas urbanizadas procedente de la base de poblamiento de Catalunya disponible en la web del Departament de Medi Ambient¹ de la Generalitat de Catalunya a escala 1:50.000, del año 1992. De esta base se han extraído las zonas urbanizadas para los dos ámbitos de estudio, posteriormente se han rasterizado, a una resolución de 1km 2,5 km i 5km, i se han reclasificado para convertirlas en una capa de restricción.
- ✓ Máscara de cada ámbito de estudio.

¹ http://www.gencat.es/mediamb/gis/cgis_b9.html

Siguiendo los criterios expuestos, hemos utilizado el modelo de AC, prueba de la aleatoriedad basada en el análisis de frecuencias, para analizar la distribución espacial de los incendios. El término AC engloba una variedad de técnicas estadísticas diseñadas para medir las propiedades de un patrón de puntos. Aunque las primeras aplicaciones tuvieron lugar fuera de la geografía, sus inicios cabe buscarlos en la ecología vegetal, estas técnicas han despertado un gran interés entre los geógrafos porque permiten resolver algunas preguntas sobre las relaciones entre puntos en el espacio (Thomas, 1979).

El AC parte de la distribución de Poisson (distribución aleatoria en el tiempo y en el espacio), la cual proporciona una clasificación de las observaciones entre agrupada, aleatoria i uniforme. La distribución de Poisson toma como premisa que durante la evaluación de un patrón, cada celda tiene la misma oportunidad de recibir un punto. En geografía la distribución de Poisson se utiliza para modelizar los fenómenos que reflejan unos patrones geométricos en el espacio. Describen cuál es la naturaleza de la distribución de puntos, una medida de la dispersión en relación a la distribución de frecuencias, es decir, como la densidad de puntos varía en todo el ámbito de estudio. La finalidad del AC es comparar la frecuencia observada con la frecuencia teórica predicha; si el grado de correspondencia es bajo, se puede utilizar las propiedades teóricas de la distribución de Poisson, para deducir que la distribución de frecuencias observada es agrupada y por lo tanto controlada por un proceso espacial de contagio, o uniforme y por lo tanto controlada por un proceso espacial de competencia. La esencia de este método es que, analizando la distribución de frecuencias de un patrón de puntos podemos inferir el tipo de proceso probabilístico que controla la evolución del patrón (Thomas, 1979, 1985; Thomas i al. 1980)

Siguiendo las formulaciones expuestas por Thomas y al. (1980), hay dos estadísticos de resumen útiles en el AC: la mediana (\bar{x}) i la varianza (s^2) muestrales:

$$\bar{x} = \sum_i^n x_i / n = r / n \quad \text{Fórmula 1}$$

$$S^2 = \sum_i^k (x_i - \bar{x})^2 / n \quad \text{Fórmula 2}$$

r = valor total de observaciones
n = número total de celdas
 x_i = número de puntos en cada celda
k = frecuencia mayor

Cabe considerar que la distribución de Poisson predice la probabilidad P_x que una celda determinada contenga exactamente x puntos, al finalizar un experimento donde r puntos son localizados independientemente dentro de la malla de n celdas de igual tamaño, y donde cada localización tiene $p=1/n$ probabilidades de ocurrencia en aquella celda específica.

$$P_{x=0} = e^{-I} \cdot I^x / x! \quad \text{Fórmula 3}$$

El cálculo de probabilidad de P requiere la estimación de λ , que es la media de las variables aleatorias de Poisson x . En la práctica, λ , se estima por el valor de la media de puntos por celda. Por lo tanto la probabilidad que una celda contenga incendios se obtiene a partir de:

$$(P_{x=0})n = P_x \times n$$

Fórmula 4

El modelo de Poisson asume que todas las celdas tienen la misma probabilidad que haya ocurrencias. Podemos convertir los valores de P_x a frecuencias multiplicando estas probabilidades por n (número total de celdas), por lo tanto los valores P_x dan el número esperado de celdas que contienen x puntos en un patrón aleatorio, lo cual indica que esperemos que haya x celdas con x determinados puntos:

Bondad de ajuste

En definitiva, lo que analiza el AC es la bondad de ajuste de la distribución de Poisson. Este es un test basado en un procedimiento estadístico, para decidir si el modelo de predicción da una representación ajustada de los datos observados para que el modelo se pueda aceptar como adecuado. Para ver si la distribución de Poisson se ajusta a las frecuencias observadas por nosotros, el test estadístico de la bondad de ajuste más apropiado se basa en un índice entre la varianza y la media muestrales:

$$AQ = S_x^2 / \bar{x}$$

Fórmula 5

El índice obtenido por esta fórmula se utiliza para construir el test de bondad de ajuste para analizar si la distribución de frecuencias observadas se debe a un proceso espacial independiente, es decir, aleatorio. Este test deriva de la propiedad teórica de la distribución de Poisson en el cual la media de la variable aleatoria es siempre igual a la varianza de la variable aleatoria. Per lo tanto, si hay correspondencia perfecta entre las frecuencias observadas n_x i les frecuencias que es predicen para la distribución de Poisson el valor de la varianza / media, ha de ser igual a 1; contrariamente el ajuste entre las dos distribuciones de las frecuencias es pobre, el valor de la varianza / media tenderá a 0, porque los patrones observados tenderán a observaciones uniformes; finalmente, tenderán a infinito cuando los patrones observados muestren una agrupación total.

4. Aplicación del AC en el AMB y la comarca del Bages utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los cuadrados, base geométrica sobre la cual se calculará el AC con la finalidad de obtener una medida cuantitativa, son divisiones celulares de una área directamente compatibles con el modelo ráster de un SIG. Es por este motivo que algunos SIG han desarrollado herramientas estadísticas que agilizan análisis de este tipo. Para aplicar el AC en los dos ámbitos estadísticos, hemos adaptado nuestras bases espaciales al formato Idrisi, programa a partir del cual se ha ejecutado el AC.

Lo que nos planteamos en nuestro caso, es si los incendios se localizan en función de la influencia de otros incendios, es decir, si la distribución sigue un proceso de contagio y por lo tanto muestra una tendencia hacia un patrón agrupado, o se distribuyen independientemente unos de los otros y por lo tanto siguen un patrón aleatorio. La hipótesis nula la escribiremos de la siguiente forma:

H_0 = no hay diferencias significativas entre la distribución de frecuencias aleatoria teórica y la distribución de frecuencias observada. La distribución de los incendios en el AMB y el Bages responden a un patrón aleatorio.

$$H_0 = S_x^2 / \bar{x} = 1.0$$

La hipótesis de trabajo la formulamos de la siguiente forma:

H_1 = en el AMB y el Bages hay diferencias significativas entre una distribución de frecuencias aleatoria teórica y la distribución de frecuencias observada, que responden a un patrón agrupado.

$$H_1 = S_x^2 / \bar{x} \neq 1.0$$

Sobre la base a esta hipótesis de trabajo, aplicaremos el modelo del AC para poder aceptarla o rechazarla.

El AC en nuestro caso lo utilizaremos para definir la naturaleza de la distribución espacial de incendios a partir del análisis de frecuencias. En primer lugar es necesario definir los límites de los ámbitos de estudio y posteriormente localizar los incendios². Para obtener una medida cuantitativa, es decir, para calcular las frecuencias, se han dividido los dos ámbitos de estudio en una malla. Para que la decisión del tamaño de la celda no sea un proceso arbitrario, se ha optado por aplicar el modelo con tres tamaños de celda distintos de: 1 km de lado, 2,5 km de lado y 5 km de lado, para observar posibles diferencias en los resultados que mostraran unas conclusiones un tanto sesgadas.³

² La localización de los incendios se ha realizado con un SIG: disponiendo de una base de datos alfanumérica, con dos campos que correspondan a la x y a la y y el resto de atributos, ha sido posible localizar cada uno de los puntos con ArcView, con lo cual hemos elaborado una capa de información espacial con todos los atributos asociados.

³ En el VIII Coloquio del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección se presentó un análisis genérico de la distribución espaciotemporal de los incendios, sólo por el caso del AMB,

La capa de información de las igniciones y la malla estructurada topológicamente permite calcular la frecuencia de incendios en cada celda⁴. Una vez añadido del número de focos por celda como atributo a la malla, es posible rasterizar esta capa con la resolución correspondiente (1 km, 2,5 km i 5 km), asociando como atributo de celda el número de focos. A partir de aquí podemos calcular el AC, modelo ejecutado des de Idrisi v.2 (Eastman, 1997).

En el cálculo hemos añadido una máscara del ámbito⁵, para que no se considere en el número total de celdas la zona fuera del ámbito, ya que Idrisi no considera valor *No Data* y por lo tanto lo habría asignado a la categoría 0 incrementando enormemente esta frecuencia. Por otro lado, es importante tener en cuenta que en el AMB, buena parte de la superficie queda ocupada por zona urbana, por lo tanto en el cálculo de la distribución es necesario eliminar esta zona para que no distorsione los resultados⁶. De todas formas hemos calculado el AC, por un lado, considerando las zonas urbanas y por el otro, discriminándolas con el fin de observar posibles divergencias. La base de poblamiento la llamaremos base de restricción. La *Figura 3* resume mediante un esquema el procedimiento de tratamiento de los datos para poder aplicar el AC.

con una resolución de 1km. Visualmente ya se apreciaba la concentración de los focos en unos cuantos puntos conflictivos (Badia, 1998).

⁴ El procedimiento para el cálculo de frecuencias ha sido el siguiente: des de ArcView, se asocia el código de malla a cada uno de los focos mediante un *join* espacial y se calculan las frecuencias a partir del código de malla, obteniendo como resultado el número de focos por celda. La tabla resultante se añade a la de los atributos de la malla obteniendo como resultado el número de focos por celda como atributo más de la capa de la malla.

⁵ Se ha asignado valor 0 todo lo que es fuera del ámbito y valor 1 lo que está dentro del ámbito.

⁶ Esta capa de restricción la hemos multiplicado a la máscara pageneradapara descartar la zona fuera del ámbito . De este modo descartamos a la vez las urbanizaciones y la zona fure del ámbito. Obtendremos valor 0 todo lo que es fuera del ámbito y urbanizaciones y 1 el resto.

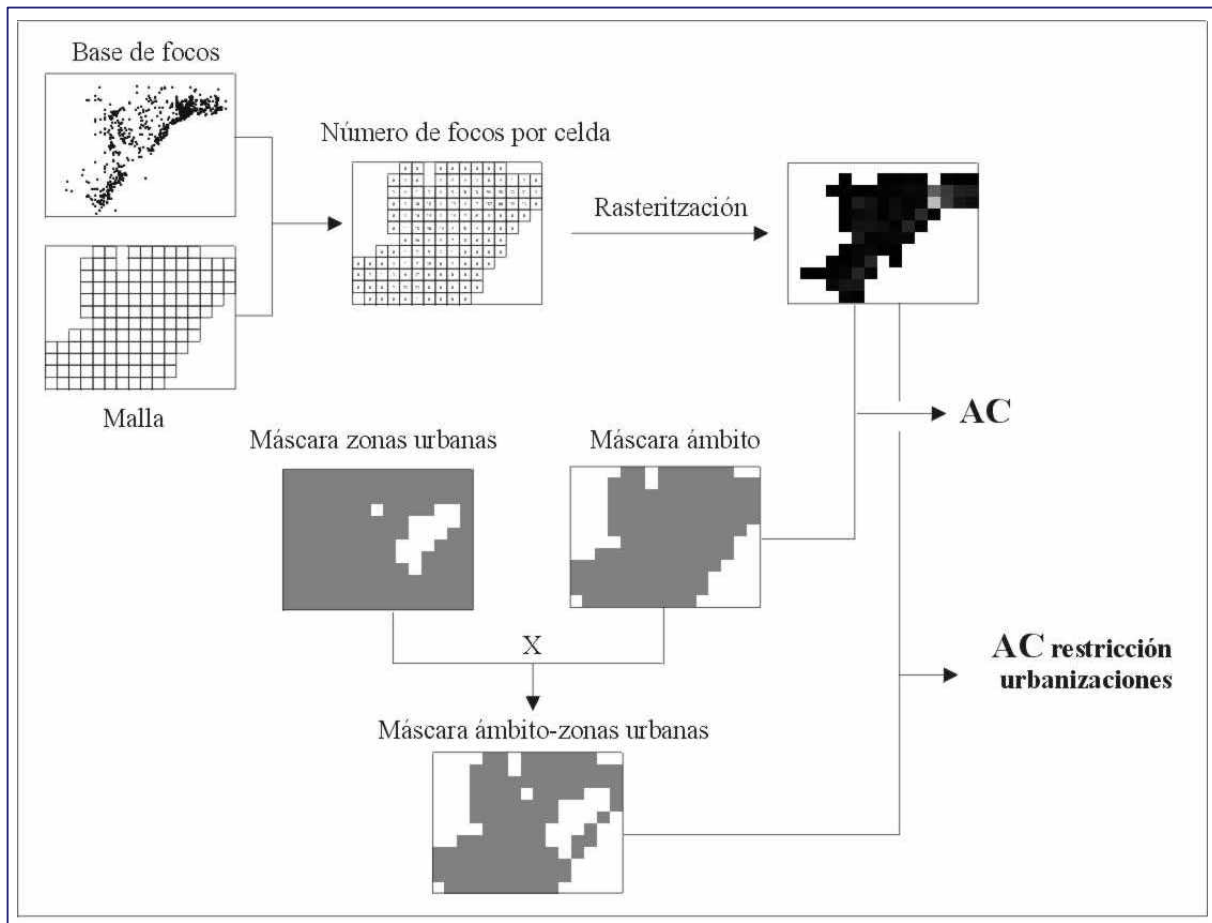


Figura 2: Esquema modelo de tramieo de datos para la aplicación del AC

5. Análisis de los resultados

La *Tabla 1* i la *Tabla 2* muestran los resultados de la aplicación del AC por los dos ámbitos y con distintas resoluciones (en el caso del Bages, al rasterizar las zonas urbanas con una resolución de 5 km, no ha aparecido ninguna celda con presencia de incendios, por eso, en este caso no tenía sentido aplicar la máscara en el cálculo). Una vez finalizado el cálculo del AC para todo el ámbito de estudio, se ha ejecutado nuevamente teniendo en cuenta una capa de restricción, las zonas urbanizadas, al considerar que éstas son zonas en las que no pueden haber incendios forestales. Se verá que las diferencias con y sin capa de restricción.

AMB						
Resolución	Periodo 1987-1998					
	Sin restricción			Con restricción (urbanizaciones)		
	Media	Varianza	Varianza/media	Media	Varianza	Varianza/media
1 km	0.6440	7.7069	11.9677	0.6378	8.9534	14.0372
2.5 km	8.0909	431.9608	53.3847	7.9483	450.1017	56.6288
5km	12.7308	853.1418	67.0141	12.8511	923.6078	71.8701

Tabla 1. Estadísticos resultantes de aplicar el modelo de AC (varianza/media) con Idrisi en el AMB

Bages						
Resolución	Periodo 1987-1998					
	Sin restricción			Con restricción (urbanizaciones)		
	Media	Varianza	Varianza/media	Media	Varianza	Varianza/media
1 km	0.1639	0.1895	1.1562	0.1655	0.1911	1.1546
2.5 km	1.3020	1.9439	1.4931	1.3071	1.9449	1.4879
5km	3.6582	14.5355	3.9734			

Tabla 2. Estadísticos resultantes de aplicar el modelo de AC (varianza/media) can Idrisi en el Bages

La *Figura 3*, muestra para el AMB una clara concentración de los incendios, contrastada y ratificada a partir de la aplicación del AC cuyos resultados (expuestos en la *Tabla 1*), confirman claramente esta agrupación. Aunque existen algunas diferencias en la consideración de las zonas urbanizadas como capa de restricción, éstas no suponen ninguna modificación en las conclusiones: los incendios en el AMB tienen una clara tendencia a la agrupación, por lo tanto hay diferencias muy significativas entre la distribución de frecuencias aleatoria y la observada.

En el caso del Bages, la *Figura 3* muestra una mayor aleatoriedad de la distribución de las igniciones. Es evidente que la utilización de un tamaño u otro de celda influye los resultados, como se

desprende de la Tabla 2. Observando los resultados de la varianza / media por 1 km i 2,5 km el valor se aproxima claramente a 1 -lo que sería el patrón aleatorio- (1,16 y 1,49 respectivamente), y per 5 km se aleja mucho más (3.97). De todas formas, aplicando la t Student, en los tres casos debemos concluir que es significativamente más grande que 1, por lo tanto la tendencia va hacia l agrupación, más clara en el caso de la resolución a 5 km y un poco más ajustada en el caso de 1 km y 2,5 km. Como se puede comprobar, en el caso del Bages, las diferencias en la consideración de las urbanizaciones en la capa restrictiva aún son menos significativas que en el AMB.

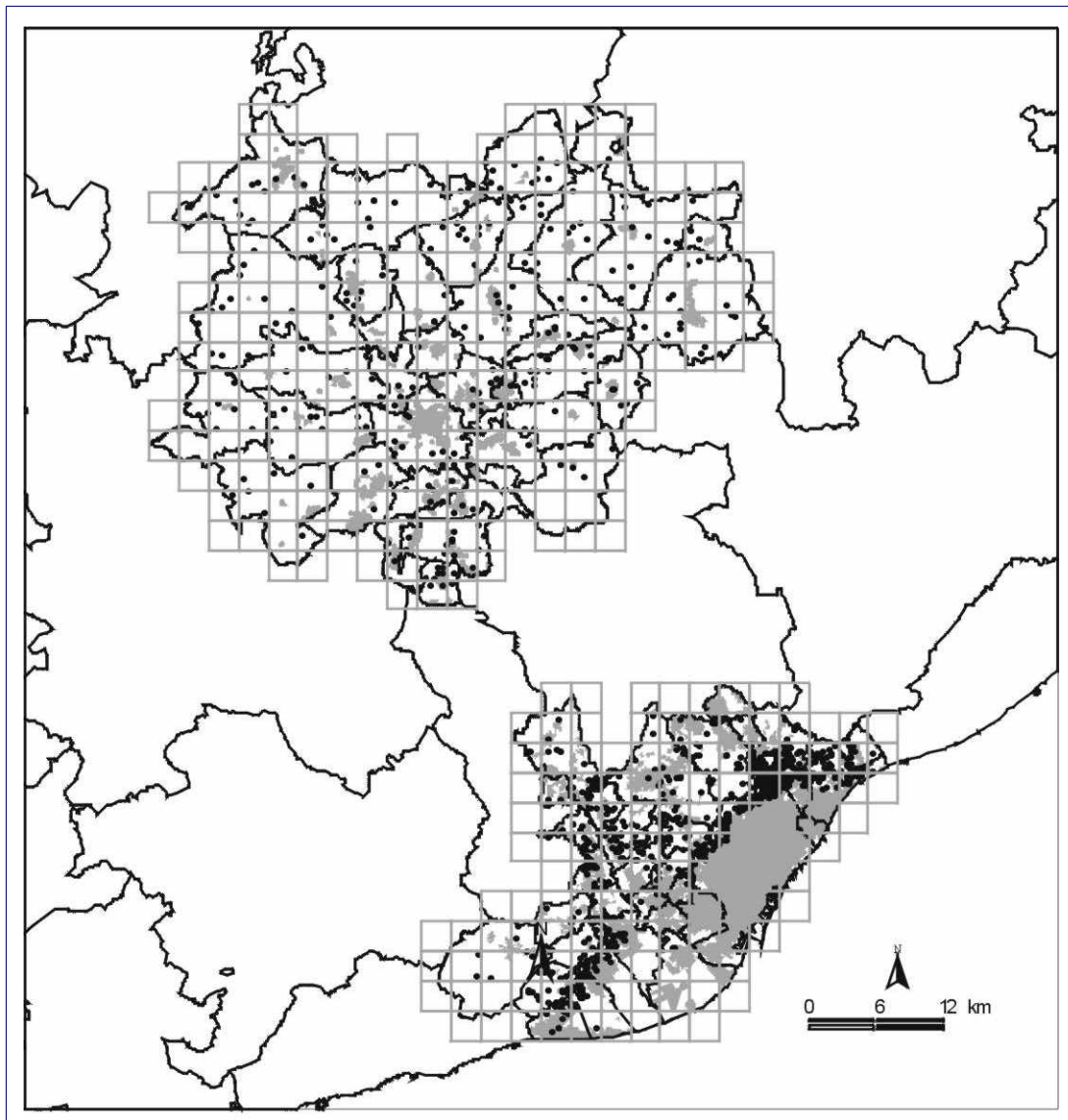


Figura 3. Distribución espacial de los focos de incendios en el AMB y el Bages

6. Conclusiones

La aplicación del modelo de AC ha permitido mostrar dos situaciones distintas en cuanto a la distribución espacial de los incendios. Los valores resultantes de dicha aplicación, en el AMB y en la comarca del Bages, han mostrado una tendencia a la agrupación, por lo que rechazamos, en ambos casos, la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis de trabajo (los incendios siguen una tendencia a la agrupación). De todas formas, es significativo resaltar la gran diferencia en los valores obtenidos en ambos casos. Mientras que en el caso del AMB los valores son claros para afirmar que los incendios se caracterizan por la gran concentración, en el caso del Bages esta concentración no es en ningún modo clara (hemos comentado anteriormente la necesidad de aplicar el test de bondad de ajuste para rechazar la hipótesis nula); y se ha visto en este último caso en la aplicación del AC para cada uno de los años, aceptábamos la hipótesis nula, en la mayoría de los casos, y rechazábamos la hipótesis de trabajo.

Es evidente que no se puede analizar la distribución espacial de los incendios de forma aislada, hay que tener en cuenta las condiciones en que tienen lugar estos incendios. Este artículo se integra en un trabajo mucho más extenso que utiliza el AC como base para establecer dos modelos de distribución espacial de los incendios, a la vez que analiza las condiciones humanas y del territorio donde tienen lugar. Comparativamente pues, podemos afirmar que el gran número de incendios en el AMB, con una superficie del territorio inferior a la de la comarca del Bages y con un alto nivel de urbanización, favorece la concentración de incendios; el Bages, con un número inferior de incendios, una superficie mucho mayor y poco urbanizada, favorece una mayor aleatoriedad de los incendios. La probabilidad de riesgo de ignición en unas zonas determinadas es mayor en el AMB que en la comarca del Bages.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración y a los datos facilitados por el Patronat Metropolità de Collserola, por el Consell Comarcal del Bages y por el Departament d'Agricultura Ramadaria i Pesca de la Generalitat de Catalunya.

8. Bibliografía

- Badia, A. (1998), Distribución espacio-temporal de los incendios en el Area Metropolitana de Barcelona, *VIII Coloquio de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, Asociación de Geógrafos Españoles, 17-19 de setembre de 1998, Departament de Geografia, UAB, Bellaterra.
- Eastman, J.R. (1997), *Idrisi Manual on line*, Clark University.
- Mancomunitat de Municipis de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (MMAMB), (1995), *Dinàmiques metropolitanes a l'Àrea i la Regió de Barcelona*, Àrea Metropolitana de Barcelona, Mancomunitat de Municipis.
- Thomas R.W. and Hugget, R.J. (1980), *Modelling in geography*, London (UK), Harper & Row.
- Thomas, R.W. (1979), An introduction to quadrat analysis, *Concepts and techniques in modern geography*, Quantitative Methods, Institute of British Geographers, London.
- (1985), Point pattern analysis in Wrigley, N. and Bennett, R.J. (eds) *Quantitative Geography*, London, (UK), Routledge & Kegan Paul.
- Unwin, D. (1981), *Introductory Spatial Analysis*, Methuen, London.

