

INDICES DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES APLICADOS A LOS ESPACIOS PROTEGIDOS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

Autores: **Álvaro Mascaraque Sillero, Joaquín Solana Gutiérrez, Silvia Merino de Miguel.**
 Dirección: **E.T.S.I. Montes, C/ Ciudad Universitaria s/n, 28040, Madrid**
 E-mail: **amascaraque@montes.upm.es, jsolana@upm.es, smerino@inia.es**

Mesa Temática: n° 6 Protección contra incendios forestales.

RESUMEN

Se presenta una metodología para confeccionar una cartografía de riesgos de incendios forestales de origen no meteorológico en la Comunidad de Madrid. Esta cartografía está basada en modelos de riesgo frecuenciales y en modelos de riesgo causales que tienen como fin último su utilización en la planificación territorial. Los n mapas de riesgo se ha aplicado a la Comunidad de Madrid y muy particularmente a los Espacios Naturales Protegidos y sus entornos, elaborándose una ficha de cada uno de ellos donde se incluye el riesgo actual y causal, y los factores y actividades con más peso en su contribución al riesgo.

OBJETIVOS

El trabajo desarrolla una metodología para elaborar una cartografía de riesgos de incendios forestales de origen no meteorológico en la Comunidad Autónoma de Madrid, prestando especial atención a las zonas legalmente protegidas de esta comunidad. El estudio se limita a los riesgos de ignición de origen antrópico no considerando otros factores como los climáticos o de estado del combustible.
 La metodología utilizada es similar a la aplicada en epidemiología. Se considera que el incendio es una enfermedad de el territorio y que la frecuencia de incendio es diferente para cada grupo de riesgo (prevalencia). Los grupos se definen según factores que se obtienen mediante un primer análisis frecuencial de los factores de riesgo y una segunda fase de estimación del riesgo global suponiendo la actividad de los factores de riesgo.
 La finalidad de los índices de riesgo es su utilización en la planificación territorial, siendo el resultado último una cartografía automática.

INVENTARIACION DE ELEMENTOS

La información territorial procedente del Sistema de Información sobre Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid y del Segundo Inventario Forestal Nacional (esta información se recibió en formato digital, algunas capas como *Shapefile*, *SHP* y otras como *ASF*). A esta información se ha añadido la información estadística de los incendios forestales en la Comunidad de Madrid durante los últimos tres años recopilada por la Consejería de Medio Ambiente.
 La base de datos georeferenciada contiene los siguientes epígrafes:

Nombre	Prevalencia	Tipo de capa
Áreas recreativas	S.I Medio Ambiente	Punto
Modelos de combustible	S.I Medio Ambiente	Poligonos
Cotos de caza	S.I Medio Ambiente	Poligonos
Entornos protegidos	S.I Medio Ambiente	Poligonos
Red viaria	S.I Medio Ambiente	Líneas
Red ferroviaria	S.I Medio Ambiente	Líneas
Vertederos	S.I Medio Ambiente	Punto
Carvas de agua	S.I Medio Ambiente	Líneas
Ortopantógrafos	Proyos	Raster
Pendientes	Proyos	Raster
Vegetación	S.I Medio Ambiente	Poligonos
Propiedad del terreno	Inventario Forestal Nacional	Poligonos
Incendios	Consejería de Medio Ambiente	Punto

METODOLOGÍA: MODELO DE RIESGO CAUSAL

La probabilidad de ignición para un lugar concreto se obtiene a partir de la frecuencia, se puede decir que la frecuencia del suceso incendio a lo largo de un periodo de tiempo es el mejor estimador del riesgo de repetición. En consecuencia, los mapas de riesgo de incendio en un cierto periodo son mapas de frecuencia relativa de incendio.
 El territorio no es solamente un espacio geométrico donde acontecen ciertos fenómenos y catástrofes, sino que además está definido por sus características y atributos que le son propios, a su vez puede haber riesgos derivados (riesgos de caza, pastoreo, etc.). El análisis de las frecuencias en función de las características del medio conduce a la descomposición del riesgo global en riesgos asociados a factores territoriales. Se supone una descomposición aditiva del riesgo, así el riesgo de ignición es la suma de todos los riesgos factoriales (VEGA GARCÍA et al., 1995).

La información disponible se ha sistematizado según cuadrículas de 1 km de lado, por tanto, la unidad inventarial tienen una extensión de 100 hectáreas.
 La metodología a aplicar está muy extendida en la investigación biomédica sin embargo no se conoce ningún estudio sobre incendios donde se haya utilizado. Por ser los ejemplos de las ciencias de la salud más intuitivos, se utilizarán para explicar los índices e indicadores de trabajo.
 CORNFIELD (1951) establece que el efecto de un factor de riesgo (en nuestro caso se considerarían factores de riesgo la caza, la existencia de carreteras, ferrocarriles, zona de pinos, aprovechamientos agrícolas y forestales, etc.) puede ser estimado mediante la diferencia de la frecuencia de enfermedad (entiéndase el incendio) entre un grupo de personas al factor de riesgo y la frecuencia de enfermedad en las personas no expuestas. Desde entonces los parámetros riesgo relativo y diferencia de riesgos se han usado como medidas del riesgo del factor, sin embargo ninguno de estos dos índices toma en cuenta el número (frecuencia absoluta) de incendios, lo que nos proporcionaría una estimación de la magnitud del problema. Por ejemplo, la exposición de operarios a diversos compuestos químicos a menudo acarrea un alto riesgo relativo de cáncer de pulmón, que a veces alcanza un aumento de 40 o 50 veces respecto a los trabajadores no expuestos (DOLL, 1959), fumar, con índices de riesgo relativo mucho más bajos (generalmente del orden de 5 a 10) es, no obstante, responsable de muchos más casos de la enfermedad, simplemente porque la fracción de población expuesta es mucho mayor, entre el 50 y el 90 por ciento (LEVIN, 1953).
 Un ejemplo similar a los incendios forestales sería la comparación del riesgo de incendio provocado por los ferrocarriles en comparación con las carreteras: el riesgo relativo de ignición de una frenada de tren es mucho mayor que el asociado a una colisión sin embargo dado que el territorio cubierto por los rales (exposición al riesgo) es mucho más pequeño que el de carreteras la incidencia de estas en los incendios es mucho más importante.
 Por esta razón, cuando investigamos diferentes factores de riesgo con diversos riesgos relativos y prevalencias, no parece adecuado comparar la importancia de estos factores usando tan sólo riesgos relativos. Los epidemiólogos han propuesto algunas medidas de riesgos atribuibles que intentan solventar estas limitaciones de los riesgos relativos, y algunas de ellas son utilizadas en este estudio para analizar el riesgo de incendios en territorios expuestos a diferentes factores de riesgo (FEINSTEIN, 1973).
 Suponemos que la distribución de un incendio y la presencia de un factor de riesgo en el territorio es determinada por las probabilidades π_j , donde $j = 1$ indica la presencia del factor de riesgo e $j = 2$ indica la ausencia, así mismo $j = 1$ y $j = 2$ indican la aparición o la ausencia del incendio respectivamente. Antes de incidir sobre los índices de riesgo conviene definir dos conceptos:

- Se define como prevalencia θ o factor de riesgo de una característica la frecuencia de la característica sobre el total de la población.
- Se define como incidencia ϕ de un evento (incendio) la proporción del evento sobre el total de la población.

Las prevalencias o probabilidades condicionadas a la existencia de factor de riesgo son θ_1 para casos con factor y θ_2 para casos control, la formulación de las prevalencias es $\theta_1 = \frac{\pi_{11}}{\pi_{11} + \pi_{12}}$ y $\theta_2 = \frac{\pi_{21}}{\pi_{21} + \pi_{22}}$; estos índices también son conocidos como el factor prevalente.

La incidencia es la probabilidad condicionada a la causa de enfermedad ϕ o incendio, por lo tanto es el cociente de cuadrículas incendiadas expuestas a riesgo entre cuadrículas incendiadas totales (expuestas y no expuestas). $\phi_1 = \frac{\pi_{11}}{\pi_{11} + \pi_{12}}$ y $\phi_2 = \frac{\pi_{21}}{\pi_{21} + \pi_{22}}$.

La incidencia global ϕ es la suma de incidencias marginales y la prevalencia del factor de riesgo θ es la suma de las prevalencias.

$$\theta = \pi_{11} + \pi_{21} = \theta \cdot \phi + (1 - \theta) \cdot \phi_2$$

$$\theta = \pi_{11} + \pi_{21} = \theta \cdot \phi_1 + (1 - \theta) \cdot \phi_2$$

Se define riesgo relativo $\psi = \frac{\phi_1}{\phi_2}$ y compara mediante razón la incidencia entre casos expuestos y no expuestos al factor de riesgo. Se considera que $\psi > 1$, de forma que el factor siempre es adverso o al menos neutro.

Dado que la probabilidad de incendio de una unidad territorial para una cierta exposición es pequeña $\pi_{11} \rightarrow 0$ y que el número de no incendiados bajo el factor es también pequeño π_{21} en relación con el número de no incendiados y no expuestos, se puede estimar el riesgo relativo mediante la razón cruzada $\psi = \frac{\pi_{11}}{(\pi_{11} + \pi_{12})} \cdot \frac{\pi_{21} + \pi_{22}}{\pi_{21}}$. Una estimación de este riesgo relativo es $\psi = \frac{a \cdot d}{b \cdot c}$, siendo a, b, c, d los conteos del análisis de contingencias.

BERKSON (1958) propone como indicador del efecto del riesgo la diferencia de riesgos entre la clase activa de factor y la clase control; así establece la **diferencia simple de Berkson** $\delta = \phi_1 - \phi_2$.

SHEPES (1959) mejora el índice buscando la actividad de los efectos; así expresa la incidencia en los expuestos como la incidencia en los no expuestos más una cantidad adicional que indica la contribución neta sobre de los expuestos, así $\phi_1 = \phi_2 + \delta' (1 - \phi_2)$.

El término $\delta' (1 - \phi_2)$ es la diferencia simple y $\delta' = \frac{\phi_1 - \phi_2}{1 - \phi_2}$ es el ratio entre los casos atribuibles a la exposición "per se" entre los casos no atribuibles a los no expuestos (esta cantidad acumulará los casos atribuibles al factor más casos no atribuibles). A este indicador porcentual δ' es conocido como la **diferencia relativa de Sheps**.

Siguiendo razonamientos similares a los precedentes, MACMAHON en 1970 establece el indicador $\lambda = \frac{\phi_1 - \phi_2}{\phi_2}$. Partiendo de que la proporción de casos entre los expuestos atribuidos al factor de riesgo es el exceso de riesgo entre los expuestos es $\phi_1 - \phi_2$. lo que supone un número de casos para una población de tamaño n de $n(\phi_1 - \phi_2)$. Por otra parte, el total de casos esperados entre los expuestos es $n \cdot \phi_2$, así la razón $\lambda = \frac{n(\phi_1 - \phi_2)}{n \cdot \phi_2} = \frac{\phi_1 - \phi_2}{\phi_2}$ es un indicador de riesgo relativo.

Otro de los indicadores utilizados es la Fracción Causal o **Fracción Etiológica** λ (LEVIN, 1953), definido como la proporción de casos atribuibles al factor. La fracción causal se calcula dividiendo el número de casos que son debidos al factor de riesgo entre el número de casos en la población:

$$\lambda = \frac{\phi_1 - \phi_2}{\phi_1} = \frac{\frac{\pi_{11}}{\pi_{11} + \pi_{12}} - \frac{\pi_{21}}{\pi_{21} + \pi_{22}}}{\frac{\pi_{11}}{\pi_{11} + \pi_{12}}}$$

O de otra forma: $\lambda = 1 - \frac{1}{\theta(\psi - 1) + 1}$

CALCULO DE LOS INDICES EN LA COMUNIDAD AUTONOMA DE MADRID

Se han calculado para la Comunidad de Madrid los diferentes índices de riesgo causal mediante tablas 2x2 para cada atributo, considerando como unidades inventariables cuadrículas de 1 km2 y estimándose mediante las frecuencias muestrales (PLACKETT, 1981).

		Incendio		Total
		Positivo	Negativo	
Factor de Riesgo	Presente	$\pi_{11} = \frac{a}{n}$	$\pi_{12} = \frac{b}{n}$	$n_1 = a+b$
	Ausente	$\pi_{21} = \frac{c}{n}$	$\pi_{22} = \frac{d}{n}$	$n_2 = c+d$
Total		$n_1 = a+c$	$n_2 = b+d$	$n = a+b+c+d$

Los distintos elementos de esta matriz son:

- **a**: número de retículas con el factor estudiado presente en las que ha habido incendio.
- **b**: número de retículas con el factor estudiado presente en las que no ha habido incendio.
- **c**: número de retículas con el factor estudiado ausente en las que ha habido incendio.
- **d**: número de retículas con el factor estudiado ausente en las que no ha habido incendio.
- **n1**: número de retículas con el factor estudiado presente.
- **n2**: número de retículas con el factor estudiado ausente.
- **n**: número de retículas en las que ha habido incendio.
- **n2**: número de retículas en las que no ha habido incendio.

Los factores de riesgo analizados han sido: tipos de áreas recreativas, modelos de combustibles, cotos de caza, tipos de espacios protegidos, caminos y carreteras, ferrocarriles, vertederos, orientaciones y pendientes, formaciones vegetales y propiedad del suelo.
 Se ha considerado que el riesgo causal total de una retícula es la suma de los riesgos de cada factor.
 Para cada espacio natural de la Comunidad de Madrid se han obtenido los índices principales: riesgo relativo, diferencias de riesgos, diferencia relativa, índice de MacMahon y Fracción causal y se han confeccionado fichas de trabajo como la que se adjunta (FIGURA 1).

CONCLUSIONES

- Del análisis de los índices de riesgo factorial y de su distribución geográfica expresada en mapas se extraen las siguientes conclusiones:
 - La base de datos de la Comunidad de Madrid es un instrumento esencial en el estudio de los incendios forestales y muy especialmente en el análisis factorial de la causalidad. La información existente y su actualización son claves para el posterior análisis técnico y toma de decisiones.
 - La traslación al ámbito de los incendios forestales de los índices estadísticos utilizados en epidemiología es factible y se ha mostrado muy útil para analizar la causalidad y los factores de riesgo de incendio forestal. La experiencia realizada ha resultado muy positiva y abre la puerta al futuro uso de nuevos índices estadísticos en el análisis de los riesgos ambientales.
 - Los índices de riesgo estudiados (el riesgo relativo, la diferencia de riesgos, la diferencia relativa y el índice de MacMahon) dan mapas de riesgo muy similares. Sin embargo, el mapa de riesgo generado a partir de la fracción etiológica de Levin no tiene tanta similitud con los demás.
 - El índice de MacMahon discrimina los montes propiedad del Estado o las Comunidades Autónomas; la mayoría de las zonas con este tipo de propiedad tienen un riesgo de incendio forestal bajo al aplicar dicho índice.
 - El mapa de riesgo elaborado a partir de la fracción etiológica de Levin es muy sensible al procedimiento de clasificación; esto es debido a una marcada distribución asimétrica del índice.
- Se han obtenido las medidas de riesgo de todos los espacios naturales:
 - El espacio protegido de la Comunidad de Madrid más amenazado por el riesgo de incendio forestal es el Paisaje Pintoresco del Pirar de Abantos y Zona de La Herrería. Prácticamente la totalidad de su superficie tiene riesgo alto o muy alto de incendio.
 - El Parque Regional en torno a los ejes de los Cursos Bajos de los Ríos Manzanares y Jarama (Parque del Sureste) tiene un riesgo de incendios alto o muy alto en la mayoría de su extensión, exceptuando su tercio Oeste en el que el riesgo es muy bajo.
 - En el Parque Regional de la Cuenca Alta del Manzanares se encuentra separado del Parque Regional del curso medio del Río Guadarrama el mayor riesgo de incendios se encuentra en su cuadrante: Noreste en los términos municipales de Manzanares y Soto del Real.
 - El Parque Regional del Curso Medio del Río Guadarrama y su Entorno no tiene un gran riesgo de incendios a excepción de la zona de Torre Norte, donde el riesgo es de alto a muy alto.
 - El resto de espacios protegidos de la Comunidad de Madrid necesitarían un estudio a escala más pequeña debido a su poca extensión.
 - La distribución geográfica de los riesgos potenciales debería ser la base para una planificación de las medidas de prevención y medios de extinción.

BIBLIOGRAFÍA

BERKSON, J.: 1958. Smoking and lung cancer, some observations on two recent reports. *Journal of the American Statistical Association* 53, 28-38.
 CORNFIELD, J.: 1951. A method of estimating comparing rates from clinical data. *Journal of Cancer Institute* 11, 1269-1275.
 DOLL, R.: 1959. Occupational lung cancer: a review. *British Journal of Industrial Medicine* 16, 181-190.
 FEINSTEIN, A.R.: 1973. Clinical biostatistics: the epidemiologic "ad hoc" risk ratio and retrospective research. *Clinical Pharmacology and Therapeutics* 14, 291-307.
 LEVIN, M.L.: 1953. The occurrence of lung cancer in man. *Acta Oto Laryngologica Contra Cancerum* 19, 531-541.
 MACMAHON, B.: 1970. *Epidemiology: Principles and methods*. Little, Brown and Co. Boston.
 PLACKETT, R.L.: 1981. *The Analysis of Categorical Data*. Ed. Griffin's Statistical Monographs. London.
 SHEPES, M.C.: 1959. An examination of some methods of comparing several rates or proportions. *Biometrics* 15, 87-97.
 VEGA GARCÍA, C.; WOODARD, P.M. & LEE, B.S.: 1995. How GIS can help in human risk rating and daily human-caused forest fire occurrence prediction. *European Association of Remote Sensing Laboratories*. Universidad de Alcalá.

PARQUE REGIONAL DEL SURESTE (FIGURA 1)

