

**UN INTENTO DE APLICACION DEL DISEÑO
FACTORIAL 2⁴ AL ESTUDIO DE LOS
INCENDIOS FORESTALES: EL CASO DE LA
SIERRA DE GATA (CACERES).**

Angel PANIAGUA MAZORRA
Instituto de Economía y Geografía Aplicadas.
C.S.I.C.
Calle Pinar, 25
E-28006 Madrid

Jesús PANIAGUA MAZORRA
E.T.S.I.I.
Madrid

INTRODUCCION.

Las causas e implicaciones que concurren en la aparición de un incendio forestal son múltiples y variadas. Desde la situación socioeconómica de toda la zona donde se producen hasta la motivación personal del individuo que prende fuego al monte (VELEZ MUÑOZ, R., 1986). Los efectos son de carácter ecológico, económico, a la propia pérdida de un espacio de uso social (I.C.O.N.A, 1981).

La solución, en su caso, debe venir del análisis de los condicionantes y características del área estudiada. El fenómeno de los incendios forestales viene, por tanto, a compendiar toda la problemática que aqueja al sector forestal.

En el presente trabajo, se trata de analizar los incendios forestales ocurridos en la Sierra de Gata, mediante un diseño factorial determinado. Se ha escogido esta área, por ser una comarca del Sistema

Central y de la propia provincia de Cáceres, donde se enclava, con una mayor siniestrabilidad.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y MODELIZACION.

El diseño factorial realizado es el llamado 2^4 (cuatro factores a dos niveles) (PEÑA SANCHEZ DE RIVERA, D., 1987, p. 134 y ss; GEORGE, E. P. B. ET AL, 1978), utilizado en biología para modelizar comportamientos de bacterias (FINNEY, D. J., 1957). Se ha escogido éste, y no otro como el 5^2 por la favorable relación optimización de tiempo de evaluación estadística con los 5 resultados del diseño del experimento estadístico (el diseño 2^4 supone la utilización de 32 observaciones), y además porque la estructura de datos disponible de una forma correcta no era muy potente.

Los cuatro factores escogidos para el análisis, después de un estudio preliminar de los datos entre 1.981 y 1.987, son la titularidad de la propiedad (pública o privada), la especie forestal (conífera u otras), el número de hectáreas quemadas por incendio (menos de 5 Has. o más) y la causa del incendio (intencionado o fortuito-desconocido), de los 73 incendios forestales ocurridos en la Sierra de Gata durante 1.987 (la estructura de los datos era en este año la más completa).

Con los factores elegidos pretendemos averiguar cuales son los que tienen mayor incidencia en la aparición de los incendios forestales, y que comportamiento tienen éstos, o lo que es lo mismo, en términos estadísticos se pretende averiguar que factores, o en su caso interacciones, son significativos dentro del experimento.

Se trata, por tanto de plantear una herramienta de análisis estadístico, que supere las explicaciones netamente descriptivas.

Clasificamos los diferentes incendios según los siguientes factores:

- | | |
|---------------|------------------------|
| A Propietario | - Público |
| | + Particular |
| B Especie | - Conífera |
| | + Otros |
| o | - < 5 |
| C N de Hc. | + > 5 |
| D Causa | - Intencionado |
| | + Fortuito-desconocido |

Pasamos a describir la lista de observaciones (número de incendios que responden a una lógica).

A	B	C	D	
-	-	-	-	6
+	-	-	-	11
-	+	-	-	3
-	-	+	-	10
+	-	+	-	4
-	+	+	-	2
+	+	+	-	9
-	-	-	+	2
+	-	-	+	9
-	+	-	+	0
+	+	-	+	5
-	-	+	+	1
+	-	+	+	2
-	+	+	+	1
+	+	+	+	8

En primer lugar vamos a averiguar los distintos efectos e interacciones (la estimación de las interacciones se obtiene sumando la columna de observaciones según el vector de signos que indica).

$$\hat{\alpha} = 1/8 (-6 + 11 \dots -1 + 8) = 4'875$$

$$\hat{\beta} = 1/8 (-6 - 11 \dots \dots \dots) = -0'125$$

$$\hat{\gamma} = -2'375 \quad \hat{\theta} = -2'125 \quad \hat{\alpha}\hat{\beta} = 2'125 \quad \hat{\alpha}\hat{\gamma} = -1'125$$

$$\hat{\alpha}\hat{\theta} = 0'125 \quad \hat{\beta}\hat{\gamma} = 2'375 \quad \hat{\beta}\hat{\theta} = 0'125 \quad \hat{\gamma}\hat{\theta} = 1'37$$

$$\hat{\alpha}\hat{\beta}\hat{\gamma} = 2'12 \quad \hat{\alpha}\hat{\gamma}\hat{\theta} = 0'125 \quad \hat{\alpha}\hat{\beta}\hat{\theta} = -1'125 \quad \hat{\beta}\hat{\gamma}\hat{\theta} = 0'625$$

$$\hat{\alpha}\hat{\beta}\hat{\gamma}\hat{\theta} = 0'125$$

Para hacer el contraste de si los parámetros del modelo son nulos necesitamos realizar una estimación de , para ello se ha supuesto que las interacciones iguales o superiores a 3 son nulas.

Entonces:
$$\hat{S}_\theta^2 = \frac{2'125^2 + \dots + 0'125^2}{5} = 1'24 \quad \hat{S}_\theta = 1'11$$

El gráfico 1 representa los puntos respecto a la distribución de referencia, que sería una curva normal con media y desviación típica

Los datos sugieren que únicamente los efectos principales $\alpha\gamma$, y la interacción $\beta\gamma$ son significativas. Para evitar errores calcularemos un estimador robusto de la variabilidad.

La mediana de las once interacciones es 0'125. Las desviaciones absolutas son: 2'2 2 2 1'250 1'250 1'250 0'5 0 0 0 0 la mediana es 1'250 y la estimación θ_θ es:

$$\hat{\theta}_\theta = \frac{1'250}{0'68} = 1'83$$

Como puede observarse las interacciones de orden tres y cuatro son nulas.

Ahora estimaremos θ con 5 grados de libertad por medio de los residuos. La desviación típica estimada para los estimadores de los parámetros es

$$\hat{S} = \frac{5}{\theta \sqrt{2^{k-2}}} = \frac{S}{2} = \frac{2'23}{2} = 1'11$$

que como vemos es igual a la obtenida anteriormente.

El cálculo de S es:
$$S = \frac{\sum \sum \sum \sum e^2_{ijke}}{5}$$
 siendo

$$e_{ijke} = g_{ijke} - \hat{g}_{ijke} - \hat{y}_{ijke}$$

tiene en cuenta todos los efectos que aparecen en la tabla siguiente.

Efecto	S/2	t - ratio
4'875	1'11	4'39
0'125	"	-0'10
2'375	"	-2'12
2'125	1'11	-1'90
2'125	"	1'90
1'125	"	-1
0'125	"	0'1
2'375	"	2'12
0'125	"	0'1
1'375	"	1'22

$$\text{Así: } y = 4'56 + 2'43 X_1 - 0'0625X - 1'18 X_2 - 1'0625 X_3 + 1'0625X X_4 - 0'56X_1 X_3 + 0'0625X_1 X_4 + 1'18X_2 X_3 + 0'0625X_2 X_4 + 0'68X_3 X_4$$

Y	y	Residuos
6	6'92	-0'92
11	10'65	0'35
3	2'18	0'82
10	10'16	-0'16
4	1'96	2'04
2	3'45	-1'45
0	1'94	-1'94
9	7'68	1'32
2	3'18	-1'18
9	7'16	1'84
0	-1'29	1'29
5	6'93	-1'93
1	0'94	0'06
2	2'68	-0'68
1	1'18	-0'18
8	7'04	-0'96

$$\text{Así } S^2 = \frac{25'024}{5} = 5'0048$$

$$S = \sqrt{5'0048} = 2'23$$

El gráfico 1' visto representa una campana centrada en cero y con una desviación de 1'11. Es una t_s , si hacemos el contraste al 95%, de acuerdo con la tabla de la t_s de Student tenemos

$$t_s(0'975) = 2'57$$

el intervalo para el contraste será: $0 \pm 2'57 \cdot 1'11$

$$(-2'85, 2'85)$$

Vemos que existe un efecto claramente significativo y otros dos valores que están cerca. A las

mismas conclusiones podría haber llegado comprobando que la columna t-ratio es menor en valor absoluto que 2'57.

$$\text{Siendo t-ratio} = \frac{\hat{\theta}_i}{S / \sqrt{2^{k-2}}}$$

En un gráfico probabilístico normal (gráfico 2) dibujamos los efectos, vemos que $\alpha\gamma\beta\gamma$ se separan de la línea por lo que se puede pensar que no pertenecen a la misma población $N(0, \sigma/2)$.

Del mismo modo dibujamos en el gráfico 3 los residuos para saber si siguen una distribución normal, que si se produce como se puede apreciar.

Por último en el gráfico 4 contestamos a la pregunta: ¿tienen los residuos media cero? Deben estar en el intervalo $0 \pm 1'96 S$ siendo $S = 2'23$

$$(-4'37, 4'37)$$

se puede apreciar que si se verifica.

Para disminuir el error experimental, eliminamos el factor causa que hemos observado que no afecta.

El modelo pasa de un 2^4 a un 2^3 con una replicación, debido a la distorsión que introduce el factor causa, por lo que hay que plantear el problema de nuevo.

Vamos a poner los nuevos valores de la desviación estimada y de la columna t-ratio.

Efecto	S/2	t-ratio
4'875	1'005	4'85
0'125	"	-0'124
2'375	"	-2'36
2'125	"	2'11
1'125	"	-1'11
2'375	"	2'36
2'125	"	2'11

Comparando la columna t-ratio con el valor $t_8(0'975) = 2'31$ vemos que son significativos el propietario, el número de hectáreas y la interacción especie-número de Has.

Los residuos utilizados para calcular S son los de la siguiente tabla.

$$S_0^2 = \frac{32'5}{8} = 4'06 \quad S_0 = 2'01$$

Y	Y	Residuos
6	4	2
11	10	1
3	1'5	1'5
10	7'5	2'5
4	2'5	1'5
2	2	0
0	0'5	-0'5
9	8'5	0'5
2	4	-2
9	10	-1
0	1'5	-1'5
5	7'5	-2'5
1	2'5	-1'5
2	2	0
1	0'5	0'5
8	8'5	-0'5

Se ha realizado un nuevo gráfico (Gráfico 5) para comprobar los efectos con respecto a su distribución de referencia t_8 .

Si hacemos el contraste al 95% mirando en la tabla de la t de 8 grados de libertad tenemos $t_{8,(0'975)}=2'31$ el intervalo es $0 + 2'31 \cdot 1'005$ $(-2'32, 2'32)$

Los gráficos 6,7 y 8 vienen a representar respectivamente:

Gráfico 6. Son los efectos, viendo claramente aquellos que son significativos.

Gráfico 7. Representan los residuos, como se puede observar siguen una distribución normal.

Gráfico 8. Viene a responder si los residuos tienen media cero. Se obtiene el intervalo $0 + 1'96 S$ siendo $S= 2'01$ $(-3'93, 3'93)$ luego se verifica la media cero.

CONCLUSIONES.

En definitiva, considerando todo lo dicho se pueden apuntar ciertas conclusiones, tanto sobre la validez del método estadístico y de la estructura de datos utilizada, como en relación a los efectos principales y las interacciones que se obtienen del análisis estadístico.

La mayor virtualidad del método estadístico utilizado es que permite obtener unos resultados con un margen de error estadísticamente aceptable, con los datos de un sólo año. No admite en cambio el factor causa del incendio, debido a que en principio se incluyó en un mismo nivel los intencionados y los de causa desconocida, lo que no responde a las exigencias del diseño (ver análisis de residuos), hecho que es extrapolable a prácticamente todo el territorio nacional. El resto de los factores utilizados se adecúan al diseño realizado.

Los efectos principales obtenidos del experimento son:

- el factor propietario, 2'5-----7. Esta diferencia de incendios de una a tres, entre los que se producen en propiedad pública y particular, indica un alto grado de siniestrabilidad de estos últimos. De esta forma el factor propietario, aparece como uno de los primeros en la aparición de incendios. Hay que investigar, en este sentido, que elementos socio-económicos determinan esta diferencia, ya que no hay una exacta relación distribución de superficie según tipo de propietario-incendio. La causa puede residir en que, en la economía rural tradicional los terrenos municipales suponían unos recursos complementarios a la economía familiar, que al verse repoblados se han perdido, sin obtener unos beneficios compensatorios.

- el factor extensión 6-----3'5 vienen a indicar que los incendios menores de 5 Has. son los que se producen en mayor cuantía, aunque no en una diferencia excesivamente apreciable, en relación a los importantes efectos ecológicos que acarrearán los incendios de un tamaño grande.

- la única interacción estadísticamente apreciable es la que se refiere a la especie-número de hectáreas.

	4'5-----5	Otros
		Esp.
	2'5-----7	Pinos
Sup.	>5	<5

Como se puede ver hay más incendios menores de 5 Has. pero existe una gran variabilidad en la extensión de los incendios de coníferas, que no aparece en el resto de especies en las que, en cambio, el tamaño de los incendios suele ser superior. Este hecho depende del estado de conservación de los montes y en especial de las labores de limpieza, más frecuente en montes públicos y en consorciados que entre particulares, sin depender tanto de la combustibilidad del material como repetidamente se ha escrito.

BIBLIOGRAFIA CITADA.

FINNEY, D. J.: Técnica y teoría estadística en el diseño de experimentos. Madrid, Instituto de Investigaciones Estadísticas, 1957, 163 pp.

GEORGE, E. P. et al.: Statistics for experiments: an introduction to design, data analysis and model building. New York, 1978, 653 pp.

I.C.O.N.A.: Técnicas para la defensa contra incendios forestales. Madrid, I.C.O.N.A., 1981, 200 pp.

PEÑA SANCHEZ DE RIVERA, D.: Estadística, modelos y métodos. 2. Modelos lineales y series temporales. Madrid, Alianza Universidad Textos, 1987, 691 pp.

VELEZ MUÑOZ, R.: "Incendios forestales y su relación con el medio rural". Revista de Estudios Agrosociales, n. 136, 1986, pp. 195-224.

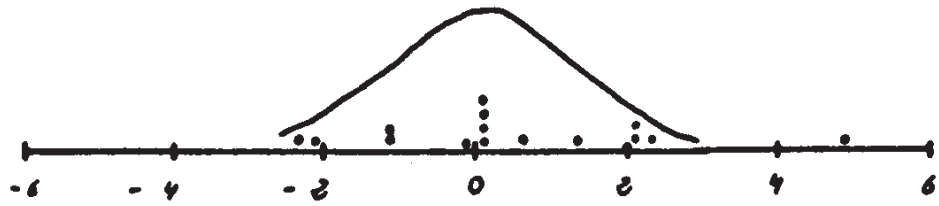


Gráfico 1. Efecto respecto a la distribución de referencia.



Gráfico 4. Representación de residuos 2^4 .

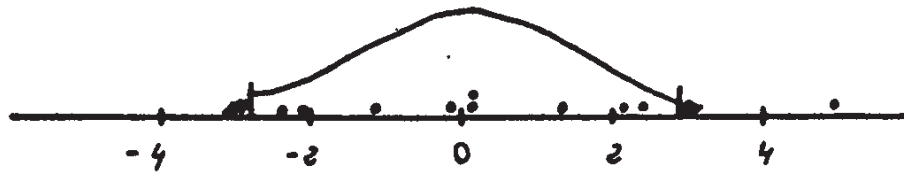


Gráfico 1'. Efecto respecto a la distribución t_5 .

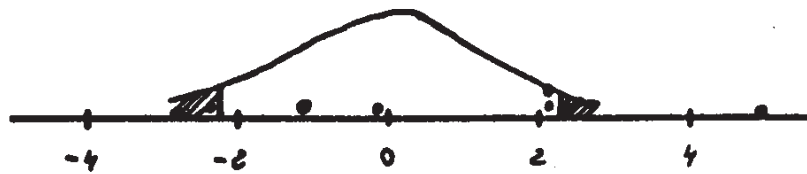


Gráfico 5. Efectos con respecto a la distribución t_8 .



Gráfico 8. Representación de residuos 2^3 .

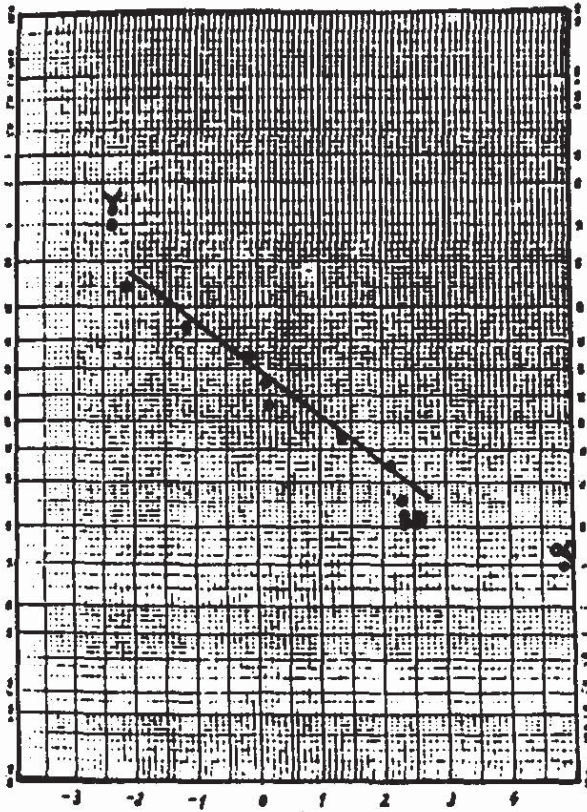


Gráfico 2. Efecto respecto a la distribución normal.

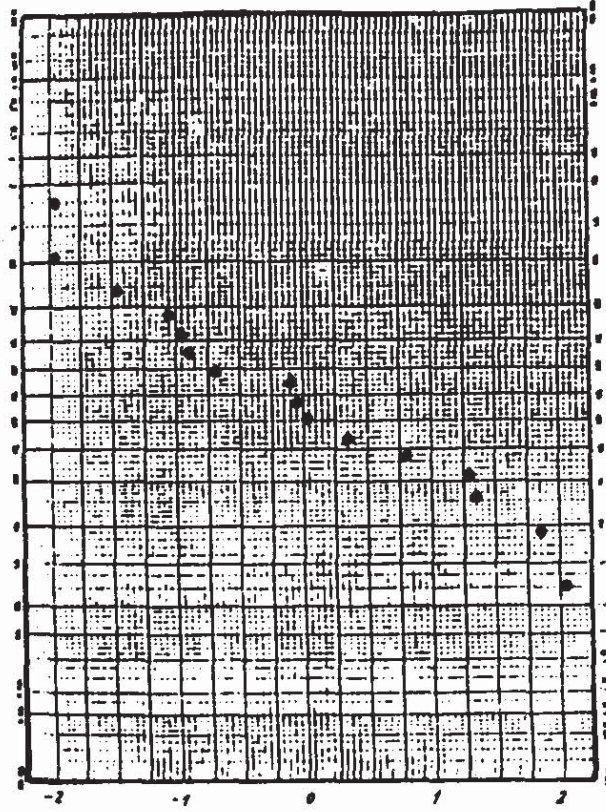


Gráfico 3. Residuos respecto a la distribución normal.

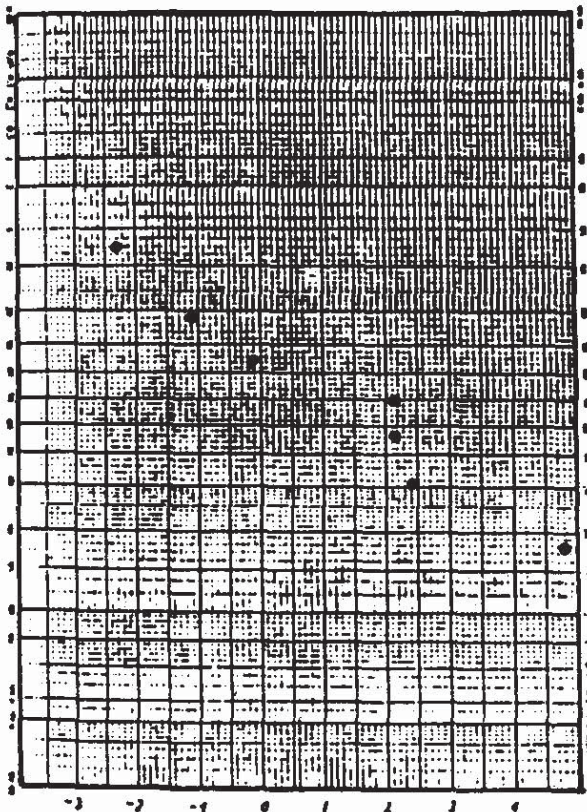


Gráfico 6. Efectos respecto a la distribución normal.

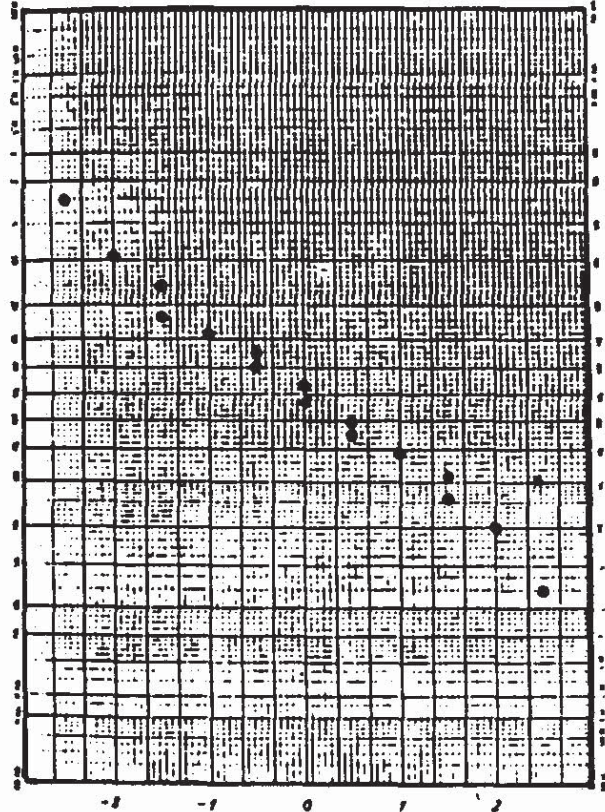


Gráfico 7. Residuos respecto a la distribución normal.