

# **VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA DE LOS ESPACIOS FORESTALES FRENTE AL IMPACTO DE LOS INCENDIOS, APROXIMACIÓN METODOLÓGICA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS (PROYECTO FIREMAP).**

**Rodríguez y Silva, F. <sup>1</sup>; Molina Martínez J. R. <sup>2</sup>; Herrera Machuca, M. <sup>3</sup> y Zamora Díaz, R. <sup>4</sup>.**

## **Resumen**

La creciente demanda por parte de las administraciones con responsabilidades en la gestión del territorio de productos cartográficos con integración de variables descriptoras del medio forestal, está implicando a su vez un incremento en la investigación y desarrollo de herramientas y productos basados en sistemas de información geográficos. Las capacidades operacionales que brinda la disponibilidad de cartografía temática para su aplicación en la toma de decisión, y la facilidad de inclusión de modificaciones y adaptaciones según las necesidades y tipo de gestión de los recursos naturales, convierte a la información cartográfica digital en una herramienta de trabajo de gran utilidad en los programas de defensa contra incendios forestales.

El reconocimiento y valoración de los ecosistemas forestales, es básico cuando se aborda la planificación espacio temporal de las medidas para la defensa contra incendios forestales en un territorio. En este sentido y extendiendo el estudio de diagnóstico desde la perspectiva conceptual de la vulnerabilidad, se presenta en este trabajo el procedimiento metodológico desarrollado para reconocer, evaluar, calcular e integrar los resultados en términos económicos del conjunto de los recursos forestales existentes en el área de estudio, analizando dicha valoración bajo el efecto de los niveles potenciales de intensidad de fuego que pueden llegar a generar la presencia de incendios. La integración de los algoritmos de cálculo con las herramientas de interpolación y procesamiento cartográfico, facilita la elaboración de mapas que permiten realizar el seguimiento espacial y temporal, tanto diferenciado por cada uno de los recursos identificados en el área, como del valor integral de los existentes en cada una de las unidades espaciales de evaluación.

El resultado analítico de la vulnerabilidad socioeconómica, se integra dentro del marco de trabajo del proyecto de investigación FIREMAP (CGL2004-06049-C04-03/CLI financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España), en el que junto a los

---

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Avd. Menendez Pidal s/n. 14071, e-mail: [ir1rosif@uco.es](mailto:ir1rosif@uco.es).

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Avd. Menendez Pidal s/n. 14071, e-mail: [o92momaj@uco.es](mailto:o92momaj@uco.es)

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Avd. Menendez Pidal s/n. 14071, e-mail: [mherrera@uco.es](mailto:mherrera@uco.es)

<sup>4</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Avd. Menendez Pidal s/n. 14071, e-mail: [ir1zadir@uco.es](mailto:ir1zadir@uco.es).

algoritmos que proporcionan la probabilidad de ocurrencia y la vulnerabilidad ecológica, se determina el índice de riesgo sintético de incendios forestales, mediante el análisis integrado de herramientas de evaluación económica, ecológicas, SIG y teledetección.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad. Nivel de intensidad de fuego. Sistemas de información geográficos. Teledetección. Planificación de la defensa contra incendios forestales. Diagnóstico del riesgo.

## Introducción

La determinación de la vulnerabilidad socioeconómica frente al impacto de los incendios forestales, se aborda en el presente trabajo, dentro del contexto del proyecto de investigación denominado “Análisis Integrado del Riesgo de Incendios Forestales, Mediante el Uso de Sistemas de Información Geográficos (financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, España). Dicho proyecto responde a la modalidad de proyecto coordinado siendo su objetivo de trabajo, la integración mediante un índice de riesgo sintético de un conjunto de variables sensibles al impacto de los incendios forestales, pudiéndose citar entre ellos la vulnerabilidad ecológica, la vulnerabilidad socioeconómica, la variabilidad de la humedad de los combustibles analizada mediante índices derivados del tratamiento de imágenes de satélite, la ocurrencia de rayos, el riesgo de incendio por efecto antrópico y la caracterización del comportamiento del fuego. La determinación de un algoritmo integrador de todos ellos y la automatización de cálculo y gestión mediante sistemas de información geográfica, se constituye como eje central del proyecto en la idea de proporcionar una herramienta de gran versatilidad para su uso en la gestión operacional de las administraciones e instituciones públicas con responsabilizadas en la defensa contra incendios forestales. El esquema y relaciones entre las variables consideradas se muestran en la figura nº:1.

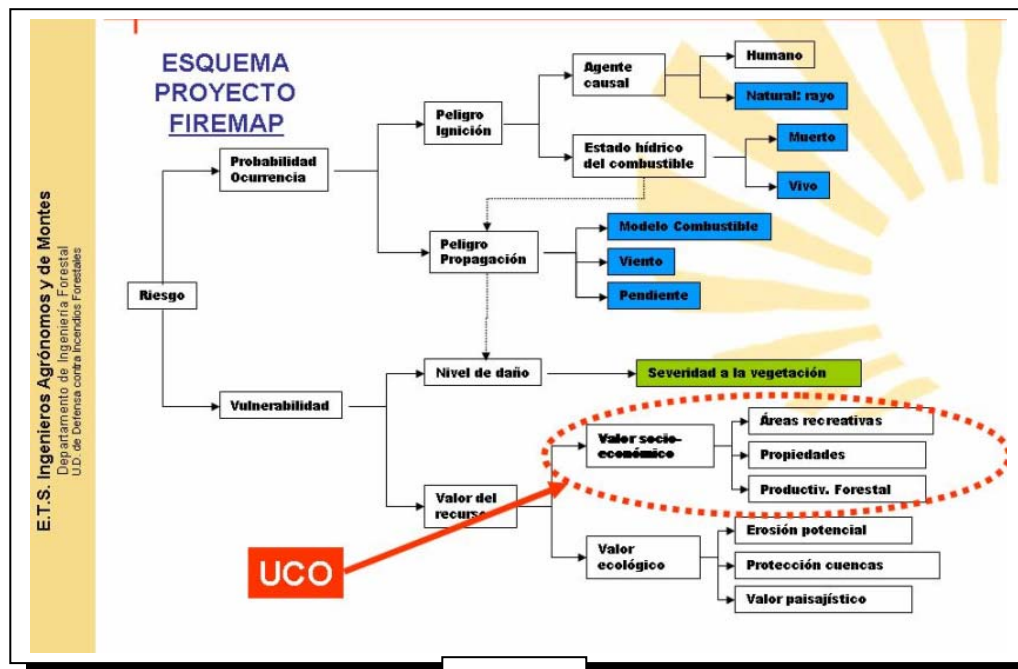


Figura nº: 1

Procedimiento y esquema metodológico desarrollado, para obtener la vulnerabilidad socioeconómica frente a los incendios forestales.

La determinación de la vulnerabilidad socioeconómica se ha planteado mediante el desarrollo de un conjunto de algoritmos que permiten evaluar las repercusiones de los incendios forestales en los recursos naturales, tanto de naturaleza tangible como intangibles. La unidad espacial definida para la determinación geográficamente referenciada de las variables interpretativas de la valoración económica, ha sido la celda de 10x10km, pudiéndose posteriormente rasterizarse la información en celdas menores de 1x1km. La decisión del tamaño de la celda de 10 km, se justifica por la conexión con la base de datos nacional de la estadística de incendios forestales, que usa esta dimensión para referenciar espacialmente la ocurrencia de incendios forestales.

El esquema general seguido ha sido en primer lugar la toma de contacto e identificación del conjunto de variables que son necesarias para el desarrollo de los algoritmos, simultáneamente han sido identificadas las coberturas digitales existentes que permiten obtener, relacionar e interpolar las variables que han sido seleccionadas para el cálculo de las variables dependientes que proporcionan la solución de los algoritmos desarrollados. Con posterioridad se ha integrado el conjunto de variables explicativas de la valoración socioeconómica en un modelo de vulnerabilidad representativa de la celda estudiada, finalmente el volcado cartográfico ha proporcionado el mapeo de la vulnerabilidad socioeconómica ante el impacto de los incendios forestales en cada una de las unidades territoriales estudiadas, el modelo operacional y la arquitectura de cálculo seguida ha estado dirigida a facilitar la adaptación y aplicabilidad del procedimiento en otras áreas diferentes de las seleccionadas como experimentales para el desarrollo del modelo (figura nº:2).



Figura nº: 2

Fases de los trabajos

1.- En una primera fase se ha procedido a realizar la revisión bibliográfica del estado del arte en cada uno de los bloques (1 a 5):

1.1.-[Valoración socio-económica del paisaje y de las capacidades de recreo.](#)

1.2.-[Valoración socio-económica de la producción de sistemas forestales](#)

1.3.-[Análisis de las interrelaciones ambientales y de la protección que proporcionan los sistemas forestales](#)

1.4.-[Valoración socio-económica de los servicios que ofrecen los sistemas forestales](#)

1.5.-[Valoración socio-económica de la propiedad presente en el medio forestal](#)

2.- En una segunda fase se analizó la viabilidad del empleo de los métodos de evaluación de mayor aceptación, afrontando cuando ello fu necesario la adaptación o desarrollo de herramientas y/o expresiones de cálculo que mejor aproximen la valoración económica al recurso natural objeto del análisis. En este sentido y para el caso de los recursos de naturaleza intangible han sido contrastados métodos de evaluación económica tales como “valoración contingente” y “método de costos de viaje” con aplicación a los bloques (1 a 5).

3.- En una tercera fase se procedió a delimitar e inventariar las variables requeridas en el área de estudio, considerándose para ello que en el recinto definido exista una representación variada de los recursos forestales, a fin de fortalecer el modelo integrador de las diferentes valoraciones, permitiendo ello, la aplicabilidad del método en áreas diferentes a la definida para acometer las experimentaciones objeto del presente proyecto.

4.- En una cuarta fase se procedió a determinar los niveles de intensidad de los incendios de acuerdo a la ocurrencia histórica y las características espaciales por donde potencialmente puedan originarse y evolucionar, a fin de establecer las correlaciones necesarias entre emisiones energéticas y efectos en los recursos forestales afectados. Simulaciones mediante el programa “Visual Cardin-Nuatmos” permitieron conocer el comportamiento espacializado de los incendios potenciales, empleándose como herramientas complementarias, los antecedentes en incendios acaecidos y al análisis de impactos mediante el tratamiento de imágenes de satélite La disponibilidad geográficamente referenciada de los impactos permitió evaluar de forma cualificada el alcance económico de los daños y perjuicios potenciales.

5.- En una quinta fase se determinó para la zona de estudio y experimentación, la evaluación económica de la renta que produce el medio forestal y la evaluación económica de los daños y perjuicios por nivel de intensidad de incendio potencial y para cada uno de los bloques temáticos indicados, con excepción del bloque (5).

6.- En una sexta fase se procedió a integrar las evaluaciones socioeconómicas obtenidas, tal que mediante un índice sintético se facilitó la incorporación junto a la valoración ecológica de los efectos (PT4) y la severidad de los daños (PT5), la graduación de la vulnerabilidad desde el punto de vista socio-económica.

En la valoración socioeconómica por celda se han considerado de forma diferenciada la determinación cualitativa y cuantitativa de los aspectos ambientales, de ocio y recreo, de los recursos naturales, del paisaje y de las propiedades presentes. En el grupo de los recursos naturales han sido considerados e integrados en el modelo los siguientes bloques: madera, corcho, frutos, leña, recursos cinegéticos y piscícolas, productos menores (apicultura, setas,...). La presencia de especies catalogadas con rangos de protección y monumentos naturales, de igual modo han sido reconocidos, valorados y localizados en el modelo.

En el bloque de los aspectos ambientales, han sido analizados y valorados las particularidades inherentes a la fijación y pérdida de carbono, erosión y el no uso. La creciente importancia que en la actualidad presenta el recurso paisaje, ha motivado que éste haya sido tenido en cuenta, desarrollándose un algoritmo de evaluación y valoración socioeconómica, que reconoce la consideración que hoy la sociedad le presta y considera. Para ello se han analizado los siguientes aspectos: calidad y fragilidad, realizándose el análisis en tres fases, el paisaje intrínseco, el entorno inmediato y el fondo escénico (figura nº: 3).

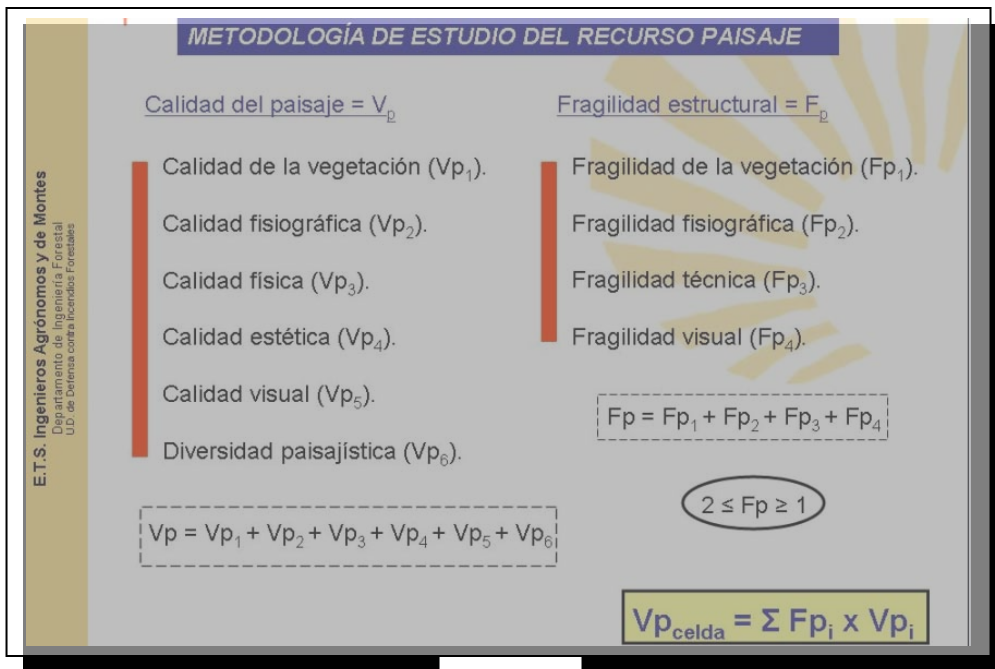


Figura nº:3

La asignación de la valoración cuantitativa del recurso paisaje ha sido obtenida mediante el uso de técnicas econométricas de valoración contingente (figura nº:4).

**Valoración cualitativa**

$V_{p_{celda}} = \sum F_{p_i} \times V_{p_i}$

Vp	Vpe
30 - 35.....	1
35 - 40.....	2
40 - 42.....	3
42 - 45.....	4
45 - 50.....	5
50 - 55.....	6
55 - 60.....	7
> 60.....	8

Figura nº: 4



El estudio y valoración del recurso ocio y recreo ha sido obtenido integrando la representatividad y calidad del paisaje con la aplicación del método del “coste-viaje” (Riera, A., 2000), para de esta forma obtener la función de demanda que permite valorar económicamente las preferencias de los ciudadanos en relación con la mayor o menor capacidad que el entorno natural presenta (figura nº: 5). La valoración económica obtenida mediante la función de demanda ha sido ponderada con un factor que relaciona la calidad del paisaje cuya valoración se analiza en relación con la calidad de la comarca a la que pertenece.

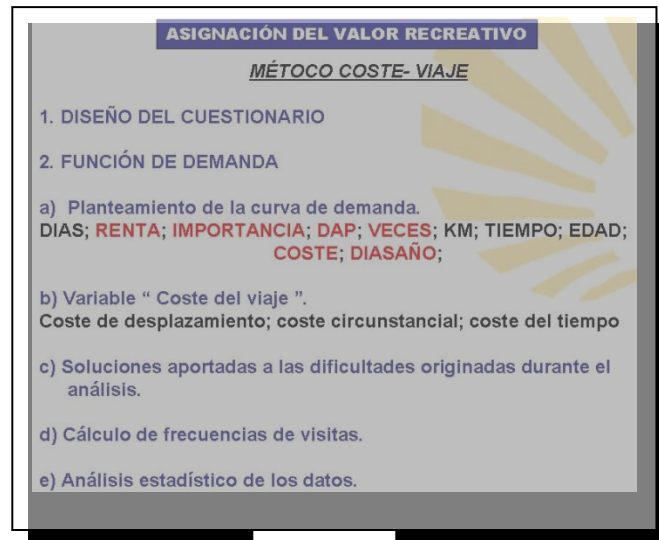


Figura nº: 5

La función de demanda usada es la siguiente:

$$D_{ij} = f(C_{ij}, R_{ij}, V_{ij}, E_{ij}, I_{ij})$$

Donde:

**D:** es el número de días al año que el visitante “i” pasa en el lugar “j”.

**C<sub>ij</sub>:** es el coste que le supone a la persona “i” el viaje “j”.

**R:** es la renta del visitante “i”, que adopta 4 valores obtenidos de la encuesta.

**V<sub>ij</sub>:** son las veces al año que el visitante “i” va al lugar “j”.

**E:** es una variable ficticia que toma el valor 1 si el encuestado esta dispuesto a pagar una entrada y el valor 0 si no lo esta.

**I:** representa la importancia que el individuo “i” concede a las áreas forestales, toma el valor 4 si es una importancia máxima y 1 si es una importancia mínima.

Una vez conocida la curva de demanda el cálculo del valor económico del lugar puede estimarse a partir de la siguiente fórmula (Bishop R.C. 1983):

$$VET = \frac{DIAVISITA^2}{2 \times \alpha}$$

Donde:

**VET:** es el valor económico total.

**DIAVISITA:** es el tiempo en días medio que dura la visita.

**$\alpha$ :** es el coeficiente estimado en la ecuación de regresión para la variable coste.

Utilizando esta fórmula para cada unas de las zonas de influencia planteadas se obtiene un valor económico total por zona y visitante. Finalmente, se utilizó la frecuencia de visitantes de cada una de las zonas, para la ponderación del valor definitivo por visitante, y se multiplicó éste por el número de visitas al año.

La valoración de los productos forestales ha sido realizada teniendo en consideración el grado de madurez de la masa así como los productos tanto mediatos como inmediatos, realizándose mediante el uso de cartografía digital la revisión pormenorizada de las coberturas existentes. Los productos utilizados para ello son los siguientes:

- Mapa Forestal Español
- Mapa Forestal de Andalucía
- Usos y Coberturas Vegetales Landcover (revisión 2003)
- II Inventario Forestal Nacional
- Ortofotografía Digital
- Modelo Digital del Terreno

La valoración ha sido determinada según la catalogación de los productos forestales (Martínez Ruiz, E. 2005) aplicándose un algoritmo genérico al que se le ha ido incorporando modificaciones en razón al tipo de producto y edad media de la masa en la que se encuentra localizado. Con posterioridad, el cambio neto en el valor de los recursos fue corregido mediante el mapa de productividad forestal (figura nº:6).

$$\text{Valoración final} = \varphi \times K \times S$$

Donde:

**$\varphi$**  : función de armonización.

**K:** fracción de cabida cubierta.

**S:** superficie afectada para cada especie por el fuego.

La función de armonización es:

$$\varphi = \frac{a \times E \times B}{E + b \times B}$$

Donde:

**a, b:** coeficientes.

**E:** variable según los turnos de crecimiento.

**B:** variable adaptada a los ecosistemas mediterráneos.

**Variable de aplicación para cada Nivel de Intensidad del Fuego (NIF) y especie:**

$$B = \left[ \frac{V \times P^* \times c^n}{1.04^n} \right] \times \left[ 1 - \left( \frac{c}{1.04} \right)^e \right] \times [1 + X \times h \times t]$$

Donde:

**B:** variable.

**V:** volumen a cortar m<sup>3</sup>/ha (previsión de futuro).

**P\*:** precio del m<sup>3</sup> de madera apeada (euros).

**c:** coeficiente.

**n:** N° de años que restan hasta el turno de corta.

**e:** edad actual de la masa.

**X:** coeficiente de mortalidad depende de la t.

**h:** % de masa inmadura y madura de la especie (i), en el total de la masa.

**t:** % de la masa afectada para un nivel de intensidad del fuego (NIF) expresado en función de la longitud de llama pronosticada según el comportamiento del fuego.

El método de cálculo de la X y t, aparece detallado más adelante.

**Variable E según los turnos de crecimiento:**

$$E = Co * t * K [i^e + g(i^e - 1)] + A [i^e - 1]$$

Donde:

**E:** variable según los turnos de crecimiento.

**Co:** coste de repoblación de una hectárea de terreno (euros/ ha)

**t:** % de la masa afectada para un nivel de intensidad del fuego expresado en función de la longitud de llama pronosticada según el comportamiento del fuego.

**K:** fracción de cabida cubierta arbórea.

**i, g:** tasa de interés que fluctúa dependiendo del turno de la masa.

**A:** valor de una hectárea de suelo (euros/ha).

**e:** edad actual de la masa.





La aplicación del algoritmo mediante herramientas geográficas (Walpole, S., et al. 2005) proporciona mapas de interpretación de la valoración socioeconómica de la producción forestal. En el contexto del proyecto FIREMAP, se han realizado minuciosos estudios en la provincia de Huelva a través de las cinco comarcas en esta provincia establecidas, de las que se dispone la correspondiente colección de cartografía digital (figura nº: 7)

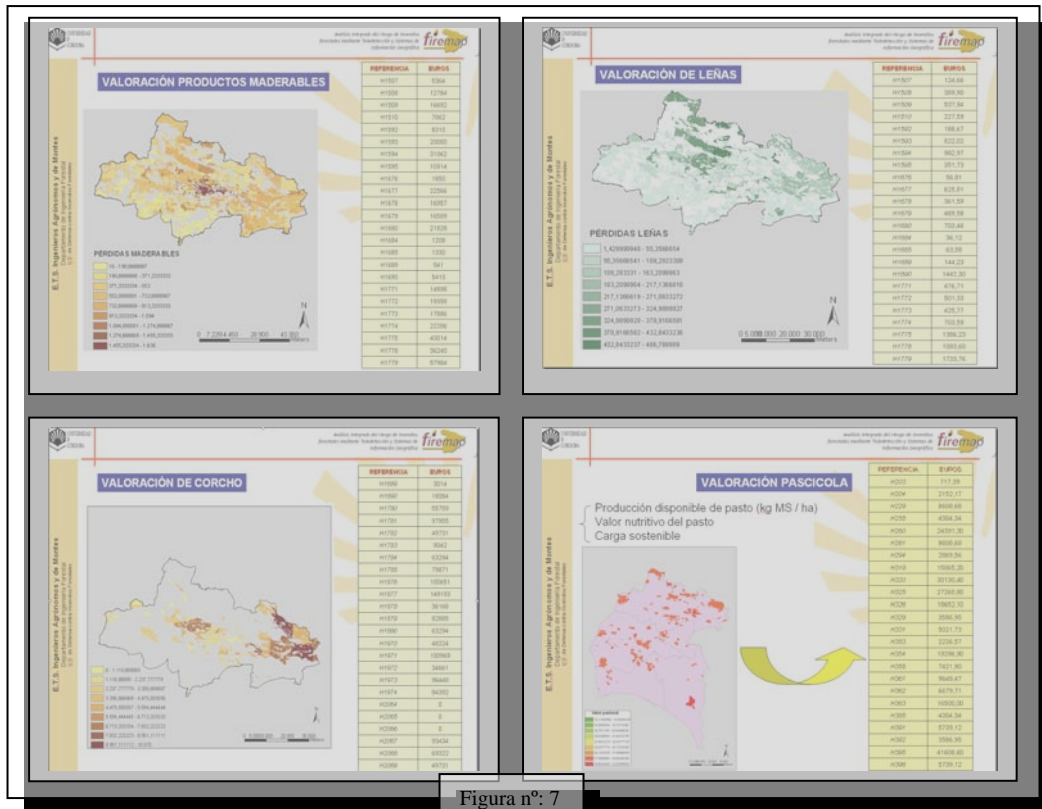


Figura nº: 7

La actividad cinegética se presenta como un recurso sostenible en el tiempo que tiene mercado de valoración, ya que las piezas de caza tienen un precio de transacción mercantil. El procedimiento seguido para valorar este bien es el de obtener un valor para cada ecosistema como la suma de las rentas cinegéticas anuales actualizadas y el stock reproductor:

$$V = R / i$$

Donde: **V:** valor a efectos cinegéticos, **R:** es la renta cinegética anual sostenible, **i:** tipo de actualización. Se ha asignado una renta cinegética anual R, para cada base y vuelo (Mapa Forestal Español), de forma que se puede obtener el valor cinegético de cuadrícula como suma de los valores de cada tesela. Para realizar la valoración fue necesario establecer los porcentajes medios de la fracción de cabida cubierta arbórea y arbustiva por estratos y para cada una de las cuadrículas de 10 x 10 Km. en que se divide la comarca.

El porcentaje de fracción de cabida arbórea se obtiene partir de los datos que aparecen recogidos en el Segundo Inventario Forestal Nacional. A través de los

diámetros de los pies por parcelas y estratos, puede accederse a las tablas que relacionan clases diamétricas y tamaño medio de copa. También se conoce el número de pies por parcela y estrato, que multiplicado por el tamaño medio de copa sirve para obtener el porcentaje de cabida arbórea para cada estrato por parcela.

Los datos obtenidos fueron geográficamente referenciados e interpolados según estratos y cuadrículas con el programa ArcGis 8.3. Tras ese proceso se realizó una media con los datos obtenidos para cada estrato de manera que se obtuvo el valor de cabida arbórea medio por cuadrícula. Cuando el estrato estuvo formado por mezcla de varias especies, los cálculos se realizaron de acuerdo con el proceso anterior considerando todos los datos por separado para cada una de las especies.

Una vez obtenido el valor de representación de cabidas arbóreas y arbustivas para cada cuadrícula, se multiplicó por la suma de las rentas cinegéticas y por la superficie de cada cuadrícula dentro de la comarca y se obtuvo el resultado final. Para realizar todo el proceso de cálculo por cuadrículas, se trabajó con un modelo de tablas como el que se muestra a continuación, en la que aparece como ejemplo la cuadrícula E06 de la provincia de Huelva (España) (figura nº: 8).

CUAD	%Arbust	%Arbor	S base	S vuelo	Tot-suma	SUP	TOTAL
E06	0,12	0,88	18,00	54,00	49,64	184,54	9.159,77

Tabla 1: resultados de las pérdidas económicas de caza (euros).

Donde:

**Cuad:** cuadrícula de estudio.

**% Arbust:** porcentaje medio por cuadrícula de estrato arbustivo.

**% Arbor:** porcentaje medio por cuadrícula de estrato arbóreo.

**S base:** suma de las rentas cinegéticas asociadas a las bases en cada cuadrícula (euros).

**S vuelo:** suma de las rentas cinegéticas asociadas a los vuelos en cada cuadrícula (euros).

**Tot-suma:** suma parcial (euros/ha).

**Sup:** superficie de cada cuadrícula (ha).

**Total:** suma total (euros).

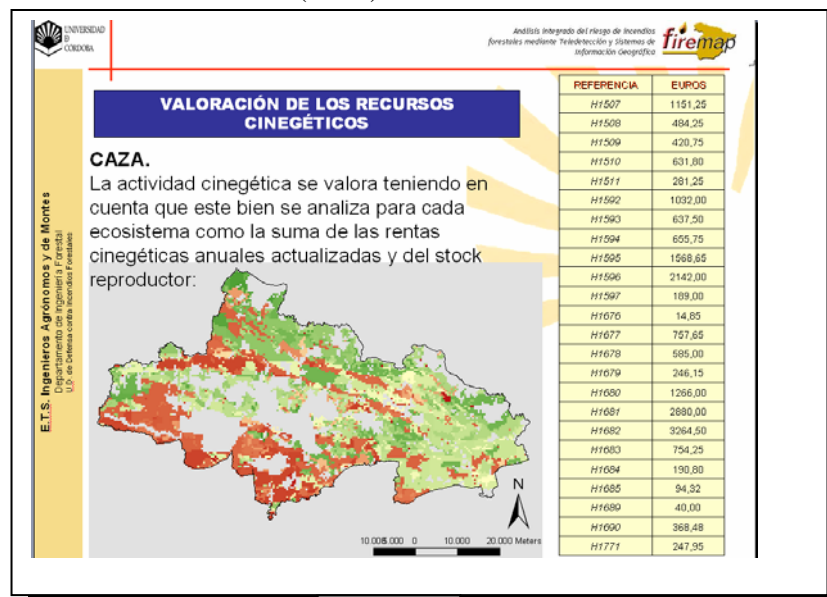


Figura nº:8

Con la disponibilidad de los resultados completos, proporcionados por los diferentes algoritmos desarrollados para la evaluación y medición de cada una de las variables pertenecientes a los bloques anteriormente indicados, se aborda la determinación de la depreciación que el impacto del fuego, de condiciones más frecuentes en el área (comportamiento del fuego), puede llegar a desarrollar. Para ello se ha analizado la combustibilidad y su dinámica espacial, asignando a cada celda de estudio las particularidades energéticas de la propagación del fuego. De la información obtenida y mediante el establecimiento de los niveles de intensidad del fuego (clasificación basada de acuerdo con la longitud de llamas), se ha determinado una matriz de coeficientes de depreciación que permite identificar el alcance del impacto del incendio en los diferentes recursos naturales existentes en la comarca (figura nº: 9).

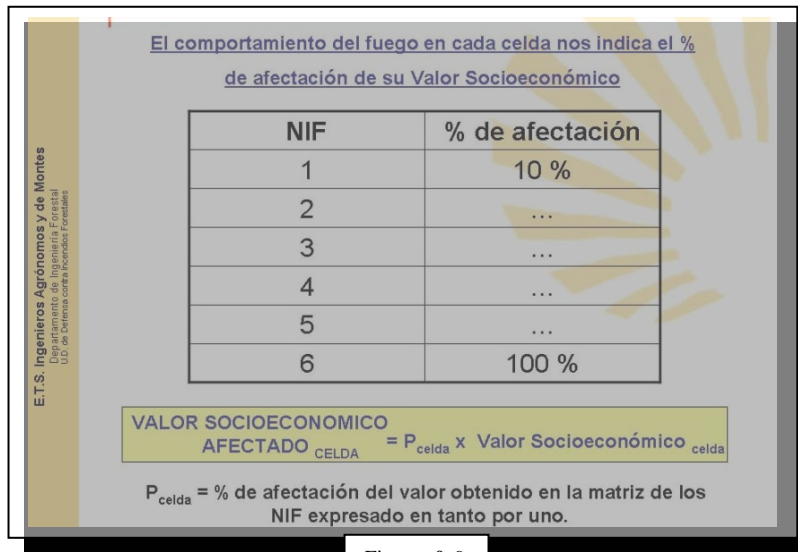


Figura nº: 9

Finalmente, se determinó la conversión a ratio o índice de riesgo por vulnerabilidad socioeconómica, mediante una matriz de conversión de unidades monetarias en índices cualitativos que clasifican la gravedad potencial que el impacto de posibles incendios forestales pueden llegar a generar en la comarca en estudio, facilitándose a la vez la conexión con otros índices procedentes de otras valoraciones en el contexto del proyecto FIREMAP. (figura nº: 10).

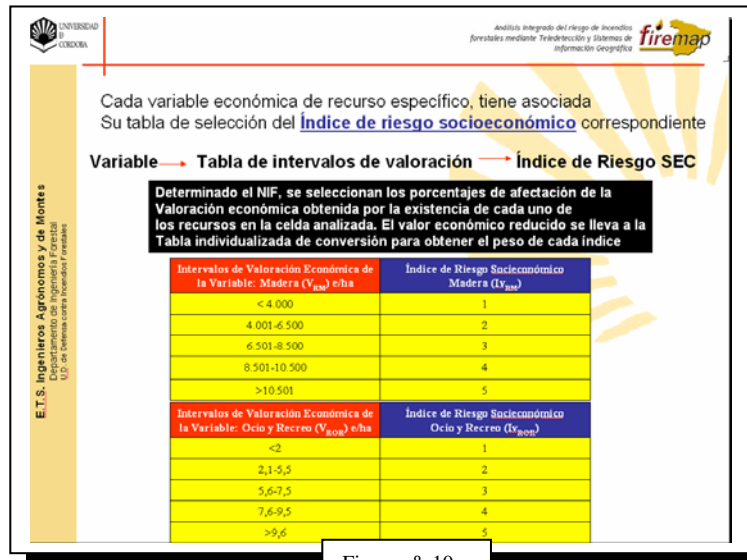


Figura nº: 10

## Agradecimientos

Los autores del trabajo desean expresar su agradecimiento al proyecto FIREMAP del Ministerio de Educación y Ciencia (CGL2004-06049-C04-03/CLI) y a las organizaciones públicas autonómicas.

## Referencias bibliográficas

- Bishop, R., Heberlein, T., Kealey, M.J. 1983. **Contingent Valuation of Environmental Assets: Comparisons with a Simulated Market.** *Natural Resources Journal*, 23: 619-633.
- Martínez Ruiz, E. 2005. **Manual de Valoración de Montes y Aprovechamientos Forestales.** (En Español). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa; 184 pp.
- Riera Font, A. 2000. **Mass tourism and the demand for protected natural areas: A travel cost approach.** *Journal of Environmental Economics and Management* 39(1): 97-116.
- Walpole, S.C. and Sinden, J.A., 2005. **BCA and GIS: integration of economic and environmental indicators to aid land management decisions.** *Ecological Economics* 23: 45-47.