

Planificación forestal mediante programación por metas con jerarquías imprecisas

Mariano Jiménez¹,
Mar Arenas², Amelia Bilbao², Verónica Cañal³,
M^a Victoria Rodríguez²

¹*Departamento de Economía Aplicada I
Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea*

²*Departamento de Economía Cuantitativa*

³*Departamento de Economía Aplicada
Universidad de Oviedo*

RESUMEN

En este trabajo se diseña un modelo para determinar la composición de especies arbóreas de las masas forestales de Guipúzcoa. La gestión forestal es cada vez más compleja contemplando multiplicidad de usos e implicando a diversos grupos interesados. La sostenibilidad de los bosques se mide mediante un sistema de *indicadores paneuropeos*. Respecto de estos indicadores los grupos interesados tienen diferentes preferencias, las cuales se expresan en este trabajo de forma imprecisa mediante relaciones binarias borrosas. Tomando como referencia la situación actual, formulamos varios modelos de programación por metas, uno por cada grupo, en los cuales el grado de satisfacción de las preferencias imprecisas se incorpora a la función de logro. Las soluciones de estos modelos son las opciones de planificación forestal preferidas por el correspondiente grupo. Proponemos como opción de consenso la media ponderada de estas opciones teniendo en cuenta con la importancia relativa de los grupos interesados.

Palabras claves: Programación por Metas; Gestión forestal sostenible; Planificación regional de los bosques; Grupos de interés; Teoría de Subconjuntos Borrosos; Jerarquías imprecisas.

Área temática: Programación Matemática

ABSTRACT

This paper aims to determine alternative tree species compositions in a geographical region. Sustainable forest management has become increasingly complex, involving competing uses and stakeholders. In order to measure forest sustainability a system of Pan-European indicators has been elaborated. However in regard to these indicators each stakeholder has a different preference structure, we propose to express them in an imprecise way through fuzzy binary relations. Considering the current species distribution as a reference, several goal programming models are formulated, one for each stakeholder, in which the satisfaction degrees of the fuzzy binary relations are incorporated to the achievement function. The solutions of these models can be considered as the planning options preferred by the corresponding stakeholder. We propose as a planning option likely to be supported by all stakeholders the sum of the solutions of the above models, weighted according to the relative importance of stakeholders. We apply our procedure to a province of Spain.

Keywords: Goal programming; Sustainable forest management; Regional forest planning; Stakeholders; Fuzzy sets; Fuzzy importance relation.

Acknowledgments:

This paper was supported by the University of the Basque Country under project EHU08/28. We are grateful to the following experts in forest and natural resources management: Jorge Ascasibar and Fernando Otazua from the Guipúzcoa Forest Owners Association, Ismael Mondragon from the Province Council in Guipúzcoa, Alejandro Cantero from IKT (*Institute of Knowledge Transfer*), Professors Miren Onaindi and Pilar Rodríguez from the University of the Basque Country and Dr. Biology Aitor Galarza from Regional Council. This study would not have been possible without their assistance and active participation.

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques han adquirido recientemente una gran importancia. Se han convertido en esenciales para sostener las economías locales, preservar la naturaleza y asegurar el bienestar de las poblaciones de su entorno. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992, se estableció, por primera vez a nivel mundial, que el desarrollo sostenible de los bosques debería ser el objetivo prioritario en la gestión de los bosques. De aquí surgió la necesidad de determinar criterios e indicadores para medir la sostenibilidad de la masa forestal.

En Europa el proceso de desarrollo de esos criterios e indicadores se inició en la segunda Conferencia Ministerial sobre la Protección de los Bosques (MCPFE), celebrada en Helsinki en 1993. En esta Conferencia, se define la ordenación forestal sostenible como "*la administración y el uso de los bosques y tierras forestales de una manera, y a un ritmo que mantenga su biodiversidad, productividad, capacidad de generación, su vitalidad y su potencial para cumplir, ahora y en el futuro, las funciones ecológicas, económicas y sociales a nivel local, nacional y mundial [...]*" (MCPFE, 1993).

En el Protocolo de Kyoto -aprobado en diciembre de 1997- los países desarrollados se comprometen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En conferencias posteriores (Bonn 1999, Marrakech 2001), estos compromisos se han concretado aprobándose en la de Milán (2003), por unanimidad, la inclusión de los bosques como sumideros de CO₂. Con la adhesión en 2004 de Rusia al Protocolo de Kyoto, la ONU estableció el 16 de febrero 2005 como la fecha oficial de entrada en vigor de dicho Protocolo. Con estos acuerdos, los bosques adquieren una importancia mucho mayor que la simple explotación de la madera, con nuevas características para el desarrollo sostenible, que podríamos resumir en: económicas, ecológicas y sociales. La planificación y la gestión de los bosques es cuestión de toda la sociedad y no sólo de los propietarios del bosque, por tanto, deben estar sujetas a regulación por parte de la Administración Pública y al cuidado y atención por parte de diversos grupos sociales (Ananda y Herath 2003a, 2003b). En consecuencia la planificación forestal es un proceso de toma de decisiones complejo donde se deben considerar múltiples criterios a menudo contrapuestos (económicos, ecológicos y sociales) y, además, atender a las diferentes sensibilidades de los grupos interesados.

En este trabajo se diseña un modelo de planificación forestal en una región geográfica específica, concretamente en la provincia de Guipúzcoa (País Vasco). Se trata de una provincia pequeña con una superficie total de 198.000 Ha. Actualmente cuenta con una superficie forestal

de 124.540 hectáreas, según el último inventario forestal (año 2005), es decir el 62% de la superficie total, siendo la provincia española con mayor superficie forestal relativa. De ésta, el 56,4% son especies de coníferas (70.232 Ha. de las cuales 49.973 son *Pinus radiata*) y el 43,6% frondosas (con 54.308 Ha. de hayas, robles y robles mediterráneos y 19.086 Ha. de bosque mixto). Por otra parte, el 80% de esta superficie es de propiedad privada y otro 20% de propiedad pública, principalmente de los municipios y la Diputación Provincial. Este aspecto de la titularidad de la propiedad tendrá un papel decisivo en la elección de los actores involucrados en nuestro modelo.

En cuanto a los tipos de árboles, de acuerdo con el inventario forestal del año 2005 y con la superficie cubierta por cada uno de ellos, hemos dividido la zona boscosa de Guipúzcoa, en cinco especies de coníferas y seis frondosas para llegar al total de esa superficie. (Ver tabla del anexo).

En este trabajo, sobre la base de la situación actual, se propone un modelo de ayuda para la determinación de la distribución de las especies, con el objetivo de mejorar la sostenibilidad de los recursos de los bosques a largo plazo.

Teniendo en cuenta lo anterior nos parece conveniente aplicar a la gestión forestal los modelos de toma de decisiones que incorporan múltiples criterios. La toma de decisiones multicriterio (MCDM), ya ha sido utilizada, con éxito, en la mejora de la gestión de los recursos forestales (ver Díaz-Balteiro y Romero 2008, Ananda y Herath 2009, Gómez et al. 2009).

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El cuidado y la conservación de los bosques y del medio ambiente han sido de importancia fundamental para los propietarios de bosques. En los últimos años también la sociedad en su conjunto ha tomado conciencia de la importancia de los bosques, y han surgido grandes preocupaciones como el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, el efecto invernadero, la pérdida de la biodiversidad, la erosión, la regulación de los recursos hídricos y la explotación excesiva del agua potable. Lo mismo ha ocurrido con las cuestiones relacionadas con el ocio y el paisaje. La planificación forestal, por lo tanto, implica múltiples objetivos e intereses, y tiene efectos económicos, políticos y sociales (Díaz-Balteiro y Romero 2004; Ananda y Herath 2008, 2009, Gómez et al. 2006). Esto da lugar a un problema complejo de toma de decisiones en el que la MCDM puede ser de gran ayuda. Para poder usar estas técnicas es necesario estructurar y organizar el problema: 1) identificar los criterios e indicadores, 2) identificar los grupos interesados, 3) determinar las preferencias de cada parte o grupo interesado, 4) obtener una opción de planificación para cada grupo de acuerdo con sus

preferencias, 5) determinar la importancia relativa de cada grupo interesado, y 6) diseñar una opción de consenso que puedan aceptar todos los grupos interesados teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el paso 4 y la importancia relativa de cada grupo.

2.1. Identificación de los criterios de decisión.

Se pueden clasificar los objetivos de un modelo de toma de decisiones en fundamentales y medios (Keeney 1992). En la planificación forestal, el objetivo fundamental es el desarrollo sostenible y los objetivos económicos, ambientales y sociales serían objetivos medios. Como ya hemos comentado en la introducción, la segunda Conferencia en Helsinki (1993) introdujo la definición de ordenación forestal sostenible y en la tercera Conferencia en Lisboa (1998) se transfirió el concepto de desarrollo sostenible a términos numéricos fijando seis criterios: Criterio 1: Mantenimiento y mejora de los recursos forestales y su contribución a los ciclos de CO₂; Criterio 2: Mantenimiento de la salud y la vitalidad de los ecosistemas forestales; Criterio 3: Mantenimiento y mejora de las funciones productivas de los bosques (madera y otros productos); Criterio 4: Mantenimiento, conservación y mejora de la biodiversidad de los ecosistemas forestales; Criterio 5: Mantenimiento y mejora adecuada de las funciones de protección (especialmente del suelo y agua) y Criterio 6: Mantenimiento de las condiciones socio-económicas y otras funciones.

Estos seis criterios se han agrupado en cuatro: económico (criterio 3), ambiental (criterios 1 y 5), biodiversidad (criterios 2 y 4) y social (criterio 6).

Teniendo en cuenta la opinión de los expertos que han elaborado la Guía de Indicadores para la Comunidad Autónoma del País Vasco (Gobierno Vasco 2008) hemos seleccionado un conjunto de indicadores (ver tabla en el anexo). Los valores de estos indicadores para cada tipo de especie se reflejan en el anexo.

2.2. Determinación de las preferencias de los grupos de interés en la planificación forestal.

En la planificación forestal es necesario tener en cuenta distintos grupos interesados, con sus diferentes puntos de vista, objetivos y demandas (Mendoza y Martins 2006). En nuestro modelo, atendiendo a las particularidades de la gestión forestal en la provincia de Guipúzcoa, hemos seleccionado tres grupos: los “propietarios particulares” agrupados en la Asociación de Propietarios Forestales de Guipúzcoa; la “Administración Pública”, representada por la Diputación Provincial de Guipúzcoa, que, además de poseer el resto de la propiedad (junto con los Ayuntamientos), tiene todos los poderes para legislar y determinar las acciones necesarias

para la ordenación forestal sostenible; y el resto de la sociedad como usuarios y beneficiarios de los bosques y que están representados por “grupos medioambientalistas”. Para obtener las opiniones de los distintos actores se ha aplicado el principio de democracia representativa (Kangas 1994), de modo que uno (o varios) representantes cualificados de cada grupo proporcionan evaluaciones que nos permitieron obtener el peso de los diversos criterios e indicadores.

Para resolver el problema proponemos un modelo de programación por metas ponderadas expresando las preferencias del decisor de una manera imprecisa a través de relaciones binarias borrosas. Este método está basado en el desarrollado por Aköz y Petrovic (2007) para un problema de programación por metas borroso, adaptado por nosotros para ser utilizarlo en un problema de programación por metas estándar.

En nuestro problema de planificación forestal, solicitamos a cada grupo la distribución de los indicadores en distintos niveles de prioridad según su importancia indicándonos la intensidad de preferencia entre los distintos niveles. Siguiendo a Aköz y Petrovic (2007) utilizamos tres etiquetas lingüísticas: “ligeramente más importante que”, “moderadamente más importante que” o “significativamente más importante que”. De esta forma obtenemos la siguiente estructura de preferencias:

Propietarios particulares: Nivel 1: Tasa Interna de Rendimiento (T.I.R.); Erosión y régimen hidrológico; Empleo generado directo. Nivel 2: Crecimiento anual medio; Captura de CO₂-biomasa maderable retenida; Captura de CO₂-materia orgánica en el horizonte superficial; Riqueza media de aves nidificantes. Nivel 3: Madera muerta; Riqueza media de especies arbóreas; Riqueza media de especies arbustivas; Naturalidad. Nivel 4: Paisaje. La jerarquía imprecisa proporcionada por los propietarios es la siguiente: el nivel 1 es moderadamente más importante que el nivel 2; el nivel 2 es ligeramente más importante que el nivel 3; el nivel 3 es moderadamente más importante que el nivel 4.

Administración Pública: Nivel 1: Erosión y régimen hidrológico. Nivel 2: T.I.R.; Empleo generado directo; Captura de CO₂-materia orgánica en el horizonte superficial; Madera muerta; Naturalidad. Nivel 3: Crecimiento anual medio; Captura de CO₂-biomasa maderable retenida; Riqueza media de aves nidificantes; Riqueza media de especies arbóreas. Nivel 4: Riqueza media de especies arbustivas; Paisaje. Para la Administración Pública, el nivel 1 moderadamente más importante que el nivel 2; el nivel 2 ligeramente más importante que el nivel 3 y el nivel 3 ligeramente más importante que el nivel 4.

Medioambientalistas: Nivel 1: Erosión y régimen hidrológico: Madera muerta; Riqueza media de aves nidificantes; Riqueza media de especies arbóreas; Riqueza media de especies arbustivas.

Nivel 2: Captura de CO₂-biomasa maderable retenida; Captura de CO₂-materia orgánica en el horizonte superficial; Empleo generado directo. Nivel 3: T.I.R.; Paisaje. Nivel 4: Crecimiento anual medio; Naturalidad. La jerarquía imprecisa es la siguiente: el nivel 1 es moderadamente más importante que el nivel 2; el nivel 2 es ligeramente más importante que el nivel 3; el nivel 3 es moderadamente más importante que el nivel 4.

3. MODELO DE PROGRAMACIÓN POR METAS CON PREFERENCIAS IMPRECISAS PARA CADA GRUPO DE INTERÉS.

Nuestro trabajo tiene como objetivo encontrar una nueva composición de las especies arbóreas en la provincia de Guipúzcoa con el fin de mejorar la sostenibilidad de sus bosques. Esto representa intentar mejorar, en la medida de lo posible, los valores medios de los indicadores. Se trata de un problema complejo que se ajusta mejor a la filosofía satisfaciente de la programación por metas que a una filosofía de optimización (Jiménez et al. 2010). Además, como ya se ha comentado, los actores interesados tienen preferencias distintas. Por lo tanto, proponemos tres modelos de programación por metas (M1), (M2) y (M3), uno para cada grupo interesado.

Como punto de partida hemos considerado la distribución actual de cada especie y proponemos que el nivel de aspiración del valor medio para cada indicador sea un porcentaje de su valor medio actual. Sea g_i el nivel de aspiración del indicador i -ésimo y supongamos sin pérdida de generalidad que la desviación no deseada es la negativa δ_i^- para todas las metas (la desviación positiva se representaría por δ_i^+). Si la meta i es más importante que la j , parece razonable que, si es posible, las desviaciones no deseadas para la solución óptima verifiquen

$$\frac{\delta_i^-}{g_i} \leq \frac{\delta_j^-}{g_j} \quad (1)$$

Además admitiremos que las desviaciones no deseadas no pueden ser mayores que el nivel de aspiración, es decir que: $0 \leq \frac{\delta_i^-}{g_i} \leq 1$; $0 \leq \frac{\delta_i^+}{g_i} \leq 1$.

Como ya se ha dicho los grupos interesados expresan sus preferencias de manera imprecisa de forma que la desigualdad (1) se relaja, pudiendo venir representada por las siguientes relaciones binarias borrosas: $\tilde{R}_1(i, j)$ “la meta i es ligeramente más importante que la

j ”, $\tilde{R}_2(i, j)$ “La meta i es moderadamente más importante que la j ” o $\tilde{R}_3(i, j)$ “La meta i es significativamente más importante que la j ”. Cuyas funciones de pertenencia son las siguientes,

$$\mu_{\tilde{R}_1(i,j)} = \begin{cases} \frac{\delta_j^- - \delta_i^-}{g_j - g_i} + 1 & \text{si } -1 \leq \frac{\delta_j^-}{g_j} - \frac{\delta_i^-}{g_i} \leq 0 \\ 1 & \text{si } 0 \leq \frac{\delta_j^-}{g_j} - \frac{\delta_i^-}{g_i} \leq 1 \end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{R}_2(i,j)} = \frac{\frac{\delta_j^-}{g_j} - \frac{\delta_i^-}{g_i} + 1}{2} \quad -1 \leq \frac{\delta_j^-}{g_j} - \frac{\delta_i^-}{g_i} \leq 1$$

$$\mu_{\tilde{R}_3(i,j)} = \begin{cases} 0 & \text{si } -1 \leq \frac{\delta_j^-}{g_j} - \frac{\delta_i^-}{g_i} \leq 0 \\ \frac{\delta_j^- - \delta_i^-}{g_j - g_i} & \text{si } 0 \leq \frac{\delta_j^-}{g_j} - \frac{\delta_i^-}{g_i} \leq 1 \end{cases}$$

Las correspondientes funciones de pertenencia están representadas en las Figs. 1, 2 y 3 del Anexo.

Para incorporar la estructura de preferencias de cada grupo hemos construido un modelo para cada uno de ellos, en los que el objetivo es minimizar la suma de las desviaciones no deseadas, maximizando al mismo tiempo los grados de satisfacción de las relaciones de preferencia difusas (Jiménez et al 2010):

(Ms), $s = 1, 2, 3$

$$\text{Min } \lambda \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{\delta_i^*}{g_i} \right) - (1-\lambda) \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} \left(a_{ij} \mu_{\tilde{R}_1^s(i,j)} + b_{ij} \mu_{\tilde{R}_2^s(i,j)} + c_{ij} \mu_{\tilde{R}_3^s(i,j)} \right)$$

$$\text{s.a } \sum_{j=1}^{11} I_{ij} x_j + \delta_i^- - \delta_i^+ = g_i \quad i = 1, \dots, 12,$$

$$\frac{\delta_j^*}{g_j} - \frac{\delta_i^*}{g_i} + 1 \geq \mu_{\tilde{R}_1^s(i,j)} \quad \text{para todo } (i, j) \text{ tal que } a_{ij} = 1,$$

$$\frac{\frac{\delta_j^*}{g_j} - \frac{\delta_i^*}{g_i} + 1}{2} \geq \mu_{\tilde{R}_2^s(i,j)} \quad \text{para todo } (i, j) \text{ tal que } b_{ij} = 1,$$

$$\frac{\delta_j^*}{g_j} - \frac{\delta_i^*}{g_i} \geq \mu_{\tilde{R}_3^s(i,j)} \quad \text{para todo } (i, j) \text{ tal que } c_{ij} = 1$$

$$L_j^s \leq x_j^s \leq U_j^s \quad j=1,\dots,11; \quad \sum_{j=1}^{11} x_j = A; \quad 0 \leq \mu_{\tilde{R}_i(i,j)} \leq 1, \quad i=1,2,3$$

$$\delta_i^-, \delta_i^+ \geq 0, \quad i=1,\dots,12; \quad \delta_i^- \times \delta_i^+ = 0, \quad i=1,\dots,12$$

donde: el índice s se refiere a cada grupo de interés: $s = 1$ (propietarios particulares), 2 (Administración Pública) y 3 (medioambientalistas). El subíndice i hace referencia a los diferentes indicadores y el j a la especie arbórea x_j (variable de decisión) es el número de hectáreas plantadas de la especie j .

I_{ij} es el valor del indicador i por Ha plantada de la especie j (ver tabla en el anexo).

g_i nivel de aspiración para el indicador i , el 30% más que el nivel actual para indicadores del tipo *cuanto más mejor* y el 30% menos para los del tipo *cuanto menos mejor*.

δ_i^\bullet representa la desviación no deseada. Es decir $\delta_i^\bullet \equiv \delta_i^-$ si la desviación no deseada es la negativa y $\delta_i^\bullet \equiv \delta_i^+$ si lo es la positiva. En nuestro modelo la desviación no deseada es siempre la negativa, excepto para el indicador “Erosión y régimen hidrológico”.

a_{ij}, b_{ij} y c_{ij} son parámetros binarios, asociados respectivamente con la relaciones binarias R_1, R_2 y R_3 , los cuales toman valor 1 si la correspondiente relación ha sido definida entre los indicadores i y j , y valor 0 en otro caso.

L_j^s, U_j^s son los valores mínimos y máximos de hectáreas que se pueden plantar de la especie j según el grupo interesado s .

A es el número total de hectáreas forestales en Guipúzcoa ($A=124,500$ ha).

El parámetro λ ($0 \leq \lambda \leq 1$)..nos permite obtener diferentes soluciones más o menos balanceadas entre el logro de las metas y la satisfacción de las relaciones de preferencia.

Resolvemos cada modelo, M1, M2 y M3. Las soluciones obtenidas para $\lambda = 0.5$ pueden verse en las Tablas 2 y 2bis. Dichas soluciones pueden interpretarse como la opción de planificación que cada grupo elegiría si no hubiera otros grupos en competencia con él. Con el fin de obtener una solución de consenso entre los tres grupos interesados determinamos la importancia relativa de cada uno de ellos mediante una matriz de comparación por pares construida con las opiniones de cada grupo sobre el resto. El autovector asociado con el mayor autovalor proporciona la importancia relativa de los grupos interesados, (Tabla 1).

Tabla 1 Matriz de comparaciones e importancia relativa

Grupos	Prop.	Admon.	Medioam.	Imp. relativa
Prop.	1	1/5	3	0.1884
Admon.	5	1	7	0.7306
Medioam	1/3	1/7	1	0.0810

Cabe destacar el alto nivel de importancia (0,7306) a la Administración Pública. Esto es coherente con el papel que las Diputaciones tienen en el País Vasco, con amplios poderes de regulación, ordenación forestal y recaudación de impuestos.

Proponemos como una solución de planificación forestal de consenso la media ponderada, de acuerdo con la importancia relativa de los grupos interesados (ver Tabla 1), de las soluciones de los modelos (M1), (M2) y (M3)

4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La Tabla 2 recoge los resultados de cada modelo GP, es decir, las opciones más adecuadas a las preferencias de cada grupo de interés, así como la solución de consenso y la situación actual. Si comparamos los resultados obtenidos con la situación actual podemos destacar que la solución de los propietarios implica un aumento importante de las especies de coníferas, principalmente de *Pinus radiata* y *Pinus nigra*, y un descenso de las especies frondosas; la de los medioambientalistas lleva asociada una reducción drástica en todas las coníferas y un aumento sustancial de las especies frondosas, principalmente del *Quercus robur* y bosque mixto. Por tanto, el reparto entre coníferas y frondosas es opuesto en las dos opciones (véase la Tabla 4). Como era de esperarse, la propuesta de la Administración es más conservadora y el equilibrio global entre coníferas y frondosas se asemeja a la situación actual, aunque con un aumento moderado de las especies frondosas.

La opción de consenso, dada la importancia de la Administración Pública, es similar a la obtenida con las preferencias de este grupo, y el equilibrio entre coníferas y frondosas es muy similar al de la situación actual. Si analizamos los resultados desde el punto de vista de los valores que alcanzan los indicadores (Tabla 4), podemos destacar que las soluciones obtenidas para los medioambientalistas y propietarios están claramente en conflicto y corresponden a casos extremos, mientras que la de la Administración Pública presenta valores intermedios en casi todos los indicadores y es la más cercana a la situación actual. Si nos fijamos en los criterios, la solución para los propietarios obtiene mejores resultados económicos que el resto de

las soluciones, como era previsible, siendo mejor que la actual. Por otra parte, en la opción de los medioambientalistas se observa un fuerte descenso en los criterios económicos.

Tabla 2 Número de Ha. de cada especie para las diferentes opciones de planificación forestal

Opción	Coníferas				
	P.rad	P.nigr	Larix	Pt.men	Otros
Propietarios	54.97	8.574	5.202	3.596	1.975
Administración	44.976	6.941	6.502	3.995	2.821
Ecologistas	33.393	4.165	3.901	2.397	1.411
Consenso	45.92	7.024	6.046	3.79	2.547
Actual	49.973	6.941	6.502	3.995	2.821
Diferencia entre consen. y actual	-4.053	0.083	-0.456	-0.205	-0.274
%	-8.11%	1.19%	-7.01%	-5.12%	-9.70%

Tabla 2 (bis) Número de Ha. de cada especie para las diferentes opciones de planificación forestal

Opción	Fronchosos					
	Q.robur	Q.illex	Fagus	Q.rubra	Mixto	Otros
Propietarios	9.68	1.618	16.251	1.338	17.177	3.891
Administración	9.401	2.312	19.129	1.911	20.995	5.558
Ecologistas	21.738	2.312	17.39	1.72	31.112	5.002
Consenso	10.453	2.181	18.497	1.788	21.095	5.199
Actual	8.051	2.312	17.39	1.911	19.086	5.558
Diferencia entre consen. y actual	2.402	-0.131	1.107	-0.123	2.009	-0.359
%	29.83%	-5.65%	6.36%	-6.46%	10.53%	-6.46%

Tabla 3 Balance entre coníferas y frondosos

Opción	Coníferas	Fronchosos
Propiet.	59.67%	40.33%
Administ.	52.38%	47.62%
Ecolog.	36.35%	63.65%
Consenso	52.46%	47.54%
Actual	56.39%	43.61%

La solución de consenso presenta valores económicos peores que los actuales, lo cual podría ser difícil de asumir por parte de los Propietarios privados. Sin embargo, si tenemos en cuenta los criterios de biodiversidad, medioambiental y social, la opción de consenso mejora la situación actual, es decir aumenta el servicio que los bosques prestan a la sociedad en su conjunto. Esta circunstancia debería tenerse en cuenta a la hora de considerar una posible compensación a los propietarios por esa disminución de los rendimientos económicos.

En resumen, en un intervalo de tiempo de 30-35 años, si el status quo actual con respecto a la importancia relativa de los grupos de interés se mantiene, podemos concluir que los bosques de Guipúzcoa deberían iniciar una ligera tendencia al aumento de especies frondosas en detrimento de las especies de coníferas, con la consideración de que algunas plantaciones de pino tenderán a convertirse en bosque mixto.

Tabla 4 Valores de los indicadores en las diferentes opciones de planificación

Criterios	Indicadores	Propiet.	Admin.	Ecolog.	Consen.	Actual
Económico	T.I.R.	2.33	2.14	1.77	2.14	2.24
	Empleo generado directo	8.93	8.16	6.53	8.17	8.58
	Crecimiento anual medio	6.84	6.65	5.78	6.5	6.67
Ambiental	CO ₂ (biomasa maderable)	178.43	169.95	156.16	170.43	173.55
	CO ₂ (materia orgánica)	6.62	6.64	6.75	6.64	6.6
	Erosión y régimen hidrológico	16.99	16.4	15.27	16.42	16.74
Biodiversidad	Madera muerta	60.19	31.04	39.04	31.53	30.13
	Riqueza media aves nidificantes	8.7	8.68	8.93	8.7	8.67
	Riqueza media esp. arbóreas	7.59	7.58	7.75	7.55	7.52
	Riqueza media esp. arbustivas	7.23	7.11	7.24	7.14	7.13
Social	Naturalidad	3.93	4.37	5.7	4.39	4.05
	Paisaje.	4.9	5.5	6.72	5.48	5.17

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKÖZ, O, PETROVIC, D. (2007). A fuzzy goal programming method with imprecise goal hierarchy. *European Journal of Operational Research* 181, 1427-1433.
- ANANDA, J, HERATH, G. (2009). A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management y planning. *Ecological Economics* 68, 2535-2548.
- ANANDA, J, HERATH, G. (2003a). The use of Analytic Hierarchy Process to incorporate stakeholder preferences into regional forest planning. *Forest Policy and Economy* 5, 13-26.
- ANANDA, J, HERATH, G. (2003b). Incorporating stakeholder values into regional forest planning: a value function approach. *Ecological Economics* 45, 75-90.
- ANANDA, J, HERATH, G. (2008) 'Multi-attribute preference modeling and regional land-use planning', *Ecological Economics*, Vol. 65, pp.325-335.
- DIAZ-BALTEIRO, L, ROMERO, C. (2004). Sustainability of forest management plans: a discrete goal programming approach. *Journal of Environmental Management* 71, 351-359.
- DIAZ-BALTEIRO L, ROMERO, C. (2008). Making forestry decisions with multiple criteria: A review and assessment. *Forest Ecology and Management* 255, 3222-3241.

- GALARZA, A (1996): *Distribution temporal space of the avifauna of the Basque Country*, Tesis doctoral. Universidad del País Vasco, Bilbao, España.
- GOBIERNO VASCO (2008), *Selvicultura y Medio Ambiente en la Comunidad autónoma del País Vasco, Indicadores 2008*. IHOBE, Bilbao.
- GÓMEZ, T, HERNÁNDEZ, M, LEÓN, M.A, CABALLERO, R (2006): A forest planning problem solved via fractional goal programming model. *Forest Ecology and Management* 227, 79-88.
- GÓMEZ, T, HERNÁNDEZ, M, MOLINA, J, LEÓN, M.A, ALDANA, E, CABALLERO, R (2009) A multiobjective model for forest planning with adjacency constraints. *Annals of Operations Research*. DOI 10.1007/s10479-009-0525-4.
- INVENTARIO FORESTAL CAE 2005 Guipúzcoa. http://www.nasdap.ejgv.euskadi.net/r50-15135/es/contenidos/informacion/inventario_forestal_index/es_dapa/inventario_forestal_index.html
- JIMENEZ, M, RIVAS, J.A, RODRÍGUEZ, M.V. (2010): *Regional Forest Planning Using Analytic Hierarchy Process and Goal Programming*. The 9th International Conference on Multiple Objective Programming and Goal Programming (MOPGP'10). Sousse (Túnez). 24-26 de mayo.
- JIMÉNEZ, M, BILBAO, A., ARENAS, M., CAÑAL, V, RODRÍGUEZ, M.V. (2010): *Decision Making for Selection of Socially Responsible Portfolios using Fuzzy Modeling*. 3rd International Conference of the ERCIM WG on COMPUTING & STATISTICS (ERCIM'10). Londres. 10-12 de diciembre.
- KANGAS, J. (1994). An approach to public participation in strategic forest management planning, *Forest Ecology and Management* 70, 75-88.
- KEENEY, R.L. (1992). *Value-Focused Thinking: A path to creative Decision analysis*, Harvard University Press, Cambridge.
- MCPFE (1993). Conference Proceedings. *Ministerial Conference on Protection of the Forest in Europe*. Ministry of Agriculture and Forestry, Helsinki.
- MENDOZA, G.A, MARTINS, H. (2006). Muti-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management* 230, 1-22.

Anexo.

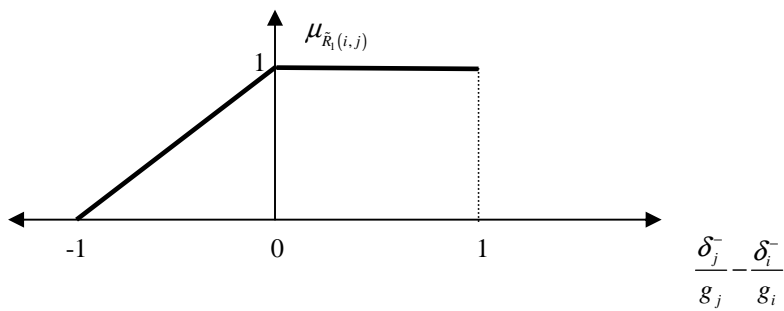


Fig 1. $R_1(i, j)$: la meta i es ligeramente más importante que la j

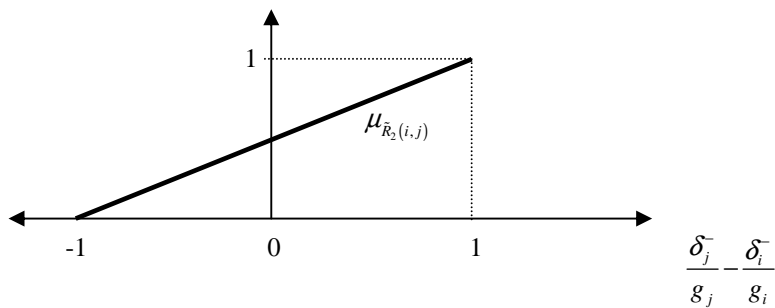


Fig 2. $R_2(i, j)$: la meta i es moderadamente más importante que la j

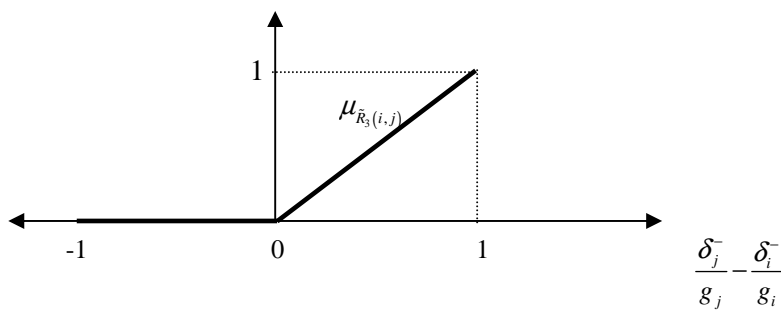


Fig 3. $R_3(i, j)$: la meta i es significativamente más importante que la j

Valores de los indicadores para las diferentes especies

INDICADORES	CONIFERAS					FRONDOSAS						Fuente
	P. radiata	P. nigra	Larix sp	Pt. menziesii	Otras	Quer. robur	Quer. ilex	Fagus sylvatica	Quer. rubra	Mixed	Otras	
ECONOMICO												
Tasa de rendimiento interno (T.I.R.)	3,48	2,69	2,23	2,91	2,47	0,85	0,85	1,16	1,59	0,85	0,85	Calculado por los autores (publicado por RTR-Basoa 2009)
Empleo generado directo (nº de empleos directos cada 1000 hectáreas)	13,40	11,50	11,50	11,50	10,00	3,00	1,00	4,00	10,00	2,00	3,00	Inventario forestal Guipuzcoa
Crecimiento anual medio (m3/Ha)	8,52	9,67	8,55	10,83	5,77	5,01	2,12	3,88	5,01	3,38	6,46	
MEDIOAMBIENTAL												
Captura de CO ₂ . Biomasa maderable retenida (m3/Ha)	221,33	194,97	209,67	168,36	88,06	150,53	54,72	171,11	150,53	85,66	122,09	Inventario Basonet 2001
Captura de CO ₂ . Materia orgánica en el horizonte superficial (%)	6,19	7,60	7,46	4,83	6,63	8,06	7,50	7,40	5,78	6,07	6,43	USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo)
Erosión y régimen hidrológico (Tm/Ha/año)	20,86	16,33	20,46	16,33	16,33	12,50	10,00	12,50	18,75	12,50	12,50	Tabla 761 Inventario forestal 2005
BIODIVERSIDAD												
Madera muerta (árboles muertos en pie/Ha)	24,50	5,89	21,38	13,64	13,64	75,69	23,36	22,27	22,82	51,20	33,09	Galarza, A (1996)
Riqueza media de aves nidificantes (nº de especies por unidad de muestreo)	9,04	6,56	6,48	6,56	6,56	9,52	5,72	8,80	9,52	9,52	9,52	Tabla 721 Inventario forestal 2005
Riqueza media de especies arbóreas (nº de especies por unidad de muestreo)	7,96	7,33	6,89	6,41	5,00	8,73	6,61	5,73	7,23	8,40	8,23	Tabla 751 Inventario forestal 2005
Riqueza media de especies arbustivas (nº de especies por unidad de superficie)	7,84	6,81	4,93	4,80	2,67	7,49	4,71	7,09	7,29	7,54	6,75	Calculado por los autores
SOCIAL												
Naturalidad	1	1	1,2	1	1,2	10	8,3	9,2	2,5	8	2,7	Estudio evaluación cartografía del paisaje (Bizcaya y Guipuzcoa) 1993
Paisaje.	1,5	1,6	7	1,6	1,6	10	7,3	9,6	8	9,5	7,3	