

---

# LA MEDICIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA EN EUROPA

## UN ENFOQUE MULTICRITERIO BASADO EN LA AGREGACIÓN DE INDICADORES

**ROBERTO VOCES**

**LUIS DÍAZ**

**CARLOS ROMERO (\*)**

Grupo de Investigación, Economía y Sostenibilidad del Medio Natural  
ETS Ingenieros de Montes.  
Universidad Politécnica de Madrid.

La sostenibilidad es hoy en día un término muy utilizado por analistas e investigadores, al igual que otros como la competitividad. A diferencia de este último concepto, la sostenibilidad se asocia de una forma dual: tanto a procesos asociados a la explotación de los recursos naturales, como recientemente a aspectos propios de las empresas. En el caso

que nos ocupa, la industria de la madera, se pueden tener en cuenta ambas perspectivas, ya que estas industrias presentan como inputs característicos los productos o subproductos asociados a un recurso generalmente aceptado como renovable: la madera. Sin embargo, y aunque fenómenos de integración vertical en empresas del sector han conducido a que algunas de ellas sean propietarias de terrenos donde se ubican las plantaciones forestales, en este trabajo se va a abordar la sostenibilidad desde una perspectiva propiamente empresarial, dejando a un lado lo que habitualmente se conoce dentro de la gestión forestal como las prácticas de manejo sostenible (Higman *et al.*, 2005).

El término sostenibilidad resulta fácil de entender intuitivamente, pero sin embargo no es en absoluto fácil de conceptualizar, medir y, en definitiva, de formalizar rigurosamente. Así, mientras que desde un punto de vista vinculado al desarrollo sostenible el

concepto teórico de sostenibilidad está admitido desde distintos foros supranacionales, y se puede definir claramente como un concepto con dimensiones ecológicas y económicas (Díaz Balteiro y Romero, 2008), desde un punto de vista empresarial, no existe tanta unanimidad al respecto.

Como bien apuntan Gray y Bebbington (2007) estos mismos foros (i.e., Cumbre de Río) no han incluido a los órganos directivos de las empresas ni a sus asociaciones dentro del análisis, ni tampoco recomendaciones para lograr un desarrollo sostenible. De hecho, hoy en día este concepto en muchas ocasiones se suele ligar a componentes relacionados con la competitividad, la innovación y el marketing de las empresas, para con esta amalgama de ideas lograr diferenciarse de los competidores y así mejorar sus cuentas de resultados. En definitiva, hoy en día las diversas componentes ambientales están en algunas empresas incluidas no sólo a través de sistemas de calidad

ambiental, sino también en las estrategias de las mismas (Aulí, 2002).

En este trabajo se pretende caracterizar la sostenibilidad de la industria de la madera (1) a nivel europeo, pero sin diferenciar a las empresas que presentan resultados tangibles en aspectos como pueden ser el *triple bottom*, la ecoeficiencia, o la implantación de ciertos sistemas de gestión ambiental. En concreto, se definirán un conjunto de indicadores que permitan una aplicación a la realidad empresarial de estas ramas industriales en un número significativo de países europeos. Para esta caracterización se utilizará una metodología basada en la programación por metas con variables binarias, y que ya ha sido utilizada a la hora de abordar la sostenibilidad de la gestión forestal (Díaz-Balteiro y Romero, 2004a,b,c).

Este tipo de orientación consistente en caracterizar la sostenibilidad en base a un conjunto de indicadores, surgió en la década de los ochenta y, se ha consolidado después de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en 1992. A partir de dicha conferencia se han propuesto diferentes listas de indicadores de sostenibilidad para su aplicación a diferentes contextos forestales (Castañeda, 2000), aunque generalmente no vinculados a las empresas forestales.

Por otro lado, cabe decir que no abundan los trabajos que abordan explícitamente la sostenibilidad en la industria de la madera, ni en toda la industria forestal. Uno de los primeros ha sido el de Hart *et al.* (2000) donde se analizan diferentes casos, correspondientes a diversas empresas multinacionales, y centrados en aspectos cualitativos y muy ligados a la gestión forestal que algunas de estas empresas realizan en sus masas forestales. Un enfoque similar se puede apreciar en Johnson y Walck (2004), donde también se describen cinco criterios necesarios para integrar la sostenibilidad en las industrias forestales.

La dificultad a la hora de elegir un grupo representativo de indicadores clave ya la abordaron con anterioridad varios autores en sus trabajos acerca de la sostenibilidad en el ámbito de la gestión forestal (Mendoza y Prahbu 2000a,b). Esta dificultad se acentúa cuando analizamos la aplicación de las técnicas de decisión multicriterio al estudio de la sostenibilidad a nivel de un sector industrial, dada la escasez existente de estudios al respecto.

## INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD †

Al igual que para otros sistemas, la sostenibilidad de una industria o de un conjunto de industrias es preciso definirla y medirla en base a un conjunto de indi-

cadore de diferente naturaleza: económica, social, ambiental, etc. Hoy en día, la sostenibilidad a nivel empresarial hay que entroncarla no sólo con la persistencia de la empresa como mero productor de bienes con un valor de mercado, sino con otro conjunto de atributos (sociales, ambientales) que le puedan otorgar un valor añadido en función de la percepción de los consumidores. En los últimos años estos intangibles se integran en aspectos como la responsabilidad social corporativa.

Aunque se ha buscado que todos estos atributos estén presentes en el estudio, la naturaleza industrial de las actividades tratadas, si bien ligadas al ámbito forestal, pero situadas fuera de la órbita de su mera gestión, hace que predominen los indicadores de tipo económico. Además, cabe destacar el escaso nivel de desagregación de una información ambiental todavía pendiente de su adecuado desarrollo. En concreto, se han seleccionado catorce indicadores que se engloban en las vertientes anteriormente citadas, como se muestra en el cuadro 1. Se pretende, de este modo, recoger los distintos aspectos de la cadena de valor de la industria de la madera que determinan una mayor o menor sostenibilidad.

La elección de dichos indicadores vendrá condicionada, en primer lugar, por la disponibilidad de información a nivel europeo. Para ello, las fuentes utilizadas son principalmente de carácter internacional, como las bases de datos de Eurostat sobre industria, comercio y servicios, sobre ciencia y tecnología, o sobre medio ambiente y energía. Análogamente, se han utilizado las estadísticas de las Naciones Unidas sobre madera y productos de madera, en primera y segunda transformación, así como sobre el comercio internacional ligado a todas estas actividades. No obstante, cuando ha sido necesario, también se ha recurrido a distintas Oficinas Nacionales de Estadística (2).

Asimismo, cabe destacar que, aparte de los indicadores del input o del output de la industria de la madera, se ha concedido una notable importancia a indicadores ligados a la innovación. Esto es debido al papel esencial que este tipo de actividades desempeña para el mantenimiento de la posición relativa de sectores tradicionales como los aquí recogidos en un mercado cada vez más globalizado, en el cual las antiguas ventajas competitivas se muestran obsoletas frente a países que presentan costes laborales inferiores con una capacidad manufacturera y comercial claramente creciente (Hansen, 2006; Herruzo, 2007).

En Alfranca *et al.* (2008) se muestra cómo las empresas españolas pertenecientes a la industria forestal que siguen ciertas estrategias ambientales (i.e. presencia

**CUADRO 1**  
**CONJUNTO DE INDICADORES UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO**

Indicador	Fuente	Clase
1 Grado de dependencia (Madera en rollo industrial-Industrial)	UNECE. Timber Committee Forest Products Statistics. Production and trade	Menos es mejor
2 Tasa de inversión (Inversión/Valor añadido a coste de los factores)	Eurostat. Industry, trade and services	Más es mejor
3 Porcentaje del coste laboral en la producción total	Eurostat. Industry, trade and services	Menos es mejor
4 Salario medio	Eurostat. Industry, trade and services	Más es mejor
5 Valor añadido bruto/ N° de empleados	Eurostat. Industry, trade and services	Más es mejor
6 Eficiencia energética (Compra de energía/ Valor	Eurostat. Industry, trade and services	Menos es mejor
7 Porcentaje de empresas innovadoras respecto del total	Eurostat. 4th Community Innovation Survey. Statistik Austria	Más es mejor
8 Porcentaje de la cifra de negocios de las empresas innovadoras respecto del total	Eurostat. 4th Community Innovation Survey. Statistik Austria	Más es mejor
9 Inversión bruta en maquinaria y equipos	Eurostat. Industry, trade and services	Más es mejor
10 Solicitudes de patentes a la EPO (en 2003)	Eurostat. Patent statistics	Más es mejor
11 Valor añadido como porcentaje respecto del sector manufacturero	Eurostat. Industry, trade and services	Más es mejor
12 Índice de Ventaja Comparativa Revelada (Índice de Balassa)	UN comtrade database	Más es mejor
13 Basura seca generada/Valor añadido	Eurostat. Waste Statistics Regulation. Industry, trade and services	Menos es mejor
14 Gastos corrientes totales en protección ambiental/N° de empleados	Eurostat. Environmental Accounts. Industry, trade and services. Statistics Sweden. Czech Statistical Office.	Más es mejor

FUENTE: Elaboración propia.

de sistemas de gestión ambiental), son más propensas a generar innovaciones. Dada la importancia de este atributo, y ante la necesidad de referenciar temporalmente este trabajo, se ha elegido el año 2004, el cual corresponde al último estudio de ámbito europeo sobre la innovación que recoge Eurostat (3) A continuación, pasaremos a analizar los catorce indicadores seleccionados, los cuales se pueden clasificar en dos clases o categorías: «menos es mejor», o «más es mejor», en virtud de que una reducción o un incremento del valor de los mismos favorezca la sostenibilidad de la industria objeto de estudio.

El grado o coeficiente de dependencia nos ofrece una valiosa información acerca de las distintas estrategias nacionales de mercado, y viene definido por el cociente entre importaciones y consumo aparente. Conviene recordar que el consumo aparente se asocia a la suma de la producción nacional más las importaciones menos las exportaciones (4) .

La tasa de inversión nos ofrece información sobre la intensidad en el uso del factor capital para esta industria en cada país, midiéndose como el cociente entre inversión y valor añadido al coste de los factores. Por otro lado, los indicadores siguientes introducen, directa o indirectamente, al factor de producción trabajo. Así, el porcentaje del coste laboral en

la producción total ofrece información sobre la intensidad en el uso del factor trabajo en cada país. Los sectores más tradicionales, con menos sofisticación y dinamismo, son también más intensivos en dicho factor (Fonfría, 2004), por lo que en este estudio se ha juzgado preferible que este indicador alcance el valor más bajo posible. Por otro lado, el salario medio informa sobre la remuneración de los trabajadores de este sector en cada país. Sin entrar a analizar las diferencias asociadas a la renta per cápita nacional, se considera un valor mayor de este indicador como más sostenible desde un punto de vista social. Finalmente, el indicador valor añadido bruto/ número de empleados muestra una aproximación a la tradicional productividad media del trabajo.

En cuanto a la eficiencia energética, este indicador representa un coste marginal, pues recoge la cantidad de energía que es preciso comprar para obtener una tonelada métrica adicional de producto. Lógicamente, se alcanzará una mayor sostenibilidad cuanto menor sea el valor de este indicador.

A continuación se van a mostrar cuatro indicadores relacionados con la innovación. En primer lugar, el porcentaje de empresas innovadoras respecto del total sería el indicador que nos informa del grado de

implantación (penetración) de las actividades innovadoras en la industria de la madera. Por otro lado, el porcentaje de la cifra de negocios de las empresas innovadoras respecto del total ofrece información sobre la importancia real que tienen esas actividades innovadoras sobre el *output* en este sector. Además, se ha recogido el número de solicitudes de patentes a la *European Patent Office* en el año de referencia de 2003, pues éste es un indicador ampliamente reconocido y utilizado del *output* de las actividades innovadoras desarrolladas en cada país. También se tienen en cuenta en este cómputo aquellas patentes alcanzadas por grupos de investigación internacionales. Finalmente, se ha estimado oportuno incorporar a este grupo de indicadores la inversión bruta en maquinaria y equipos, por ser ésta la principal vía para la innovación, sobre todo en empresas pequeñas y medianas. Estos cuatro indicadores se han considerado que son del tipo «cuanto más mejor», es decir, a mayores cifras más sostenible será la respectiva industria, ya que está admitido que un buen camino para lograr una mayor sostenibilidad de las empresas es aumentado los resultados asociados a la I+D+i. (Paech, 2005).

El valor añadido como porcentaje respecto del sector manufacturero constituye un indicador que muestra el peso relativo que esta industria presenta dentro de la actividad manufacturera total de cada país. Se ha considerado que una reducida aportación de valor añadido implica importancia y asignación de recursos decrecientes frente a sectores más productivos y dinámicos. En este entorno un indicador complementario puede ser el índice de ventaja comparativa revelada (índice de Balassa). Se define como la relación existente entre el peso que las exportaciones de una industria determinada tienen respecto del total de las exportaciones industriales en un país concreto, y en un área determinada, que puede ser el mundo, Europa, o, en este caso, el conjunto de países estudiados. Un valor del índice superior a la unidad implica la existencia de una ventaja competitiva, y análogamente en sentido contrario.

Finalmente, dos indicadores más hacen referencia a aspectos ambientales de estas industrias. Así, el indicador desechos generados/ valor añadido ofrece información acerca de los residuos y productos contaminantes generados por la actividad industrial. Para permitir su comparación entre los distintos países, este valor se divide entre el valor añadido correspondiente a cada industria concreta. Se asume que cuanto menor sea este valor, más sostenible serán las industrias. El último indicador del citado cuadro 1 refleja el cociente entre los gastos corrientes totales en protección ambiental y el número de empleados. Aquí se considerarán como gastos en protección ambiental aquellos que afecten exclusivamente al

período en el cual se originan, sin proyección económica futura. En las Cuentas Nacionales consultadas, esta partida se encuentra separada de los gastos de inversión, es decir, gastos en bienes de capital (equipos o instalaciones independientes). Con el fin de comparar los distintos valores nacionales, este valor se divide entre el número de empleados. Cabe indicar que en el momento de realizar el estudio no se encontraba disponible el dato correspondiente a Italia para el año 2004, razón por la cual se adoptó el del año 2003.

Por otra parte, los datos disponibles no sólo condicionan la selección de indicadores, sino también los países a los cuales se puede extender este estudio. La búsqueda de la información se ha extendido inicialmente a los 27 países pertenecientes a la Unión Europea. Sin embargo, y dado que no se ha obtenido informaciones sobre todos los indicadores en los 27 países, el alcance de este trabajo se extiende a 17 de ellos. Este grupo se considera suficientemente representativo del conjunto de la Unión Europea, pues comprende una amplia gama de Estados Miembros: República Checa, Alemania, Estonia, España, Francia, Italia, Chipre, Letonia, Lituania, Hungría, Austria, Portugal, Rumanía, Eslovaquia, Finlandia, Suecia, y Reino Unido.

## METODOLOGÍA

Como se ha comentado, con el fin de agregar los diferentes indicadores de sostenibilidad anteriormente definidos en un índice sintético que mida la sostenibilidad de los distintos países se va a utilizar un procedimiento analítico, basado en la programación por metas con variables binarias (Díaz-Balteiro y Romero, 2004b). Para ello, consideramos el caso general en el que existen  $n$  países, cada uno de ellos evaluado de acuerdo con  $m$  indicadores de sostenibilidad de acuerdo con el análisis efectuado en la sección anterior. En este contexto, una pregunta relevante es la de conocer la ordenación o clasificación de los  $n$  países en términos de sostenibilidad.

Como hemos expuesto con detalle anteriormente, los indicadores de sostenibilidad vienen medidos en distintas unidades, siendo además sus valores absolutos muy diferentes. Por estas razones, un primer paso en nuestro trabajo consistirá en normalizar adecuadamente los  $m$  indicadores, siguiendo el procedimiento sugerido en Díaz-Balteiro y Romero (2004a,b). El procedimiento propuesto se concreta en la siguiente fórmula:

$$\bar{R}_j = 1 - \frac{R_j^* - R_j}{R_j^* - R_{*j}} = \frac{R_j - R_{*j}}{R_j^* - R_{*j}} \quad \forall i, j \quad [1]$$

Donde  $\bar{R}_j$  sería el valor normalizado alcanzado por el país  $i$ -ésimo cuando es evaluado de acuerdo con el indicador  $j$ -ésimo;  $R_j$  se corresponde al resultado alcanzado por el país  $i$ -ésimo cuando es evaluado de acuerdo con el indicador  $j$ -ésimo;  $R_j^*$  es el valor óptimo o ideal para el indicador de sostenibilidad  $j$ -ésimo. Este valor óptimo representa el valor máximo si el indicador es del tipo «más mejor» o el valor mínimo si el indicador es del tipo «menos mejor». De igual forma,  $R_{*j}$  es el peor valor o valor anti-ideal para el indicador de sostenibilidad  $j$ -ésimo. Con este sistema de normalización los indicadores no tienen dimensión y además quedan todos ellos acotados entre 0 y 1. El mismo procedimiento se aplicaría para normalizar los niveles de aspiración (*targets*) de los diferentes indicadores. Dichos niveles de aspiración son determinadas exógenamente a través de juicios de expertos, así como por la experiencia acumulada por los autores. Una vez llegados a este punto, se puede definir el siguiente modelo de programación por metas:

$$\text{Min} \sum_{j=1}^m (\alpha_j n_j + \beta_j p_j) \quad [2]$$

$$\sum_{i=1}^n \bar{R}_{ij} X_i + n_j - p_j = \bar{t}_j \quad j \in \{1, \dots, m\} \quad [3]$$

suje to  $\alpha$ :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n X_i &= 1 \\ X_i &\in \{0, 1\} \quad i \in \{1, \dots, n\} \\ \mathbf{n} \geq \mathbf{0} \quad \mathbf{p} \geq \mathbf{0} \end{aligned} \quad [4]$$

donde,  $n_j$  y  $p_j$  son las variables de desviación que miden las discrepancias existentes entre el valor alcanzado por el indicador  $j$ -ésimo con respecto al nivel de aspiración normalizado  $\bar{t}_j$ . Por otro lado,  $\alpha_j$  y  $\beta_j$  serían los pesos preferenciales asociados a ambas variables de desviación.  $X_i$  son variables binarias, que toman el valor 1 si el país  $i$ -ésimo es el elegido, y toma el valor 0 en caso contrario. Resolviendo el modelo (2)-(4) se obtiene el país cuya industria de la madera es más sostenible. Aplicando este procedimiento de forma iterativa se obtiene la ordenación o *ranking* de los países analizados en términos de sostenibilidad.

En resumen, la aplicación del modelo anterior proporciona el país con una industria de la madera más sostenible. Esta solución es aparentemente atractiva, pues implica la mayor efectividad agregada. No obstante, este tipo de solución puede producir resultados muy deficientes para alguno de los

indicadores elegidos, lo que pudiera ser inaceptable a la hora de clasificar la sostenibilidad para esta industria en los países elegidos. Para solventar este problema, se ha propuesto otro modelo de programación por metas que proporciona la solución más equilibrada asociada al cumplimiento de las distintas metas (Romero, 1991). Su expresión analítica es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & D \\ \text{suje to } \alpha: \quad & (\alpha_j n_j + \beta_j p_j) - D \leq 0 \end{aligned} \quad [5]$$

Metas y Restricciones del modelo anterior

Donde  $D$  sería la máxima desviación entre un indicador y su nivel de aspiración. Sin embargo, si se quisiera condensar ambos modelos de programación por metas en uno solo, habría que recurrir a un modelo de programación por metas extendido, con la siguiente expresión analítica (Romero, 2001):

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & (1-\lambda) D + \lambda \sum_{j=1}^m (\alpha_j n_j + \beta_j p_j) \\ \text{suje to } \alpha: \quad & \end{aligned} \quad [6]$$

Metas y Restricciones del modelo (5)

Nótese que para  $\lambda = 1$  se obtiene la solución más eficiente o con un mejor resultado promedio, mientras que para  $\lambda = 0$  se obtiene la solución más equilibrada. Valores intermedios del parámetro de control  $\lambda$  permitirían obtener compromisos entre ambas soluciones, en caso de que existan. Para la resolución de este modelo se recurrió al software LINGO 10 (Lindo Systems, 2007).

## RESULTADOS †

Conforme a la metodología anteriormente expuesta, el primer paso de este estudio consiste en la normalización de los distintos valores nacionales para los 14 indicadores utilizados. Tal como se indicó, de esta manera es factible la agregación de indicadores con muy variadas unidades, dimensiones, y significados. En el cuadro 2 se recogen los valores normalizados correspondientes a la división NACE 20 para los indicadores seleccionados y para los 17 países de los cuales se dispone información.

A continuación, en el cuadro 3 se presentan los niveles de aspiración (*targets*) para los tres sectores y los catorce indicadores, obtenidos conforme a la metodología anteriormente expuesta. Se intercalan para cada sector los valores reales y los normalizados (en negrita).

CUADRO 2  
DATOS NORMALIZADOS PARA LOS 17 PAÍSES Y LOS 14 INDICADORES. INDUSTRIA DE LA MADERA (NACE 20)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 Rep. Checa	0.92	0.21	0.81	0.15	0.23	0.88	0.36	0.38	0.00	0.01	0.10	0.06	0.94	0.04
2 Alemania	0.94	0.06	0.22	0.85	0.79	0.77	0.85	0.90	0.44	1.00	0.00	0.02	1.00	0.70
3 Estonia	0.50	0.40	0.84	0.13	0.15	0.56	0.54	0.67	0.52	0.00	0.70	0.47	0.00	0.30
4 España	0.73	0.15	0.48	0.52	0.54	0.81	0.32	0.41	0.27	0.17	0.05	0.03	0.99	0.16
5 Francia	0.90	0.19	0.33	0.80	0.74	1.00	0.35	0.53	0.64	0.26	0.01	0.02	0.89	0.22
6 Italia	0.00	0.00	0.75	0.62	0.83	0.77	0.39	0.40	0.00	0.30	0.05	0.02	1.00	0.10
7 Chipre	0.92	0.21	0.00	0.47	0.46	0.83	1.00	1.00	0.09	0.00	0.29	0.00	0.98	0.58
8 Letonia	0.86	0.63	0.95	0.06	0.10	0.31	0.00	0.31	0.81	0.00	1.00	1.00	0.99	0.00
9 Lituania	0.92	0.38	0.67	0.04	0.03	0.65	0.06	0.60	0.18	0.00	0.28	0.18	0.96	0.06
10 Hungría	0.64	0.36	0.54	0.10	0.09	0.69	0.14	0.22	0.09	0.00	0.00	0.03	0.95	0.05
11 Austria	0.32	0.06	0.49	0.87	0.29	0.77	0.57	0.67	0.02	0.08	0.17	0.15	0.87	0.21
12 Portugal	0.96	0.24	0.68	0.27	0.29	0.77	0.62	0.84	0.23	0.00	0.15	0.17	0.99	0.05
13 Rumanía	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.31	0.00	0.13	0.16	0.69	0.03
14 Eslovaquia	0.95	0.32	0.80	0.09	0.08	0.10	0.03	0.15	0.58	0.00	0.02	0.07	0.85	0.07
15 Finlandia	0.67	0.18	0.66	0.90	0.90	0.75	0.43	0.56	1.00	0.07	0.15	0.18	0.81	0.33
16 Suecia	0.79	0.21	0.58	1.00	0.93	0.17	0.58	0.71	0.61	0.10	0.12	0.09	0.52	0.57
17 Reino Unido	0.89	0.07	0.21	0.81	1.00	0.81	0.32	0.45	0.53	0.30	0.03	0.00	1.00	1.00

Los valores ideales, que son iguales a 1, se muestran sombreados, y los anti-ideales, que son iguales a cero, en cursiva.

FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 3  
VALORES DE LOS TARGETS EMPLEADOS, SIN NORMALIZAR, Y NORMALIZADOS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Sin normalizar	0.76	0.30	0.66	0.56	0.63	0.67	0.568	0.98	1.26	0.13	0.26	0.05	0.97	0.65
Normalizados	<b>0.59</b>	<b>0.21</b>	<b>0.50</b>	<b>0.42</b>	<b>0.48</b>	<b>0.52</b>	<b>0.430</b>	<b>0.77</b>	<b>1.00</b>	<b>0.07</b>	<b>0.18</b>	<b>0.00</b>	<b>0.76</b>	<b>0.50</b>

FUENTE: Elaboración propia.

CUADRO 4  
RESULTADOS SEGÚN LOS DISTINTOS VALORES DEL PARÁMETRO  $\lambda$

	$\lambda=1$	$\lambda=0.9$	$\lambda=0.8$	$\lambda=0.7$	$\lambda=0.6$	$\lambda=0.5$	$\lambda=0.4$	$\lambda=0.3$	$\lambda=0.2$	$\lambda=0.1$	$\lambda=0$
1 Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia
2 Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia
3 Alemania	Alemania	Alemania	Alemania	Alemania	Alemania	Alemania	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Reino Unido
4 Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Alemania	Alemania	Reino Unido	Reino Unido	Estonia
5 Chipre	Chipre	Chipre	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Alemania	Francia	Francia
6 Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Chipre	Francia	Francia	Francia	Francia	Francia	Francia	Alemania	Letonia
7 Francia	Francia	Francia	Francia	Chipre	Chipre	Chipre	Chipre	Chipre	España	Letonia	Alemania
8 Austria	Austria	Austria	Austria	Austria	Austria	Austria	España	España	Letonia	España	Eslovaquia
9 España	Portugal	España	España	España	España	España	Austria	Austria	Chipre	Eslovaquia	España
10 Portugal	España	Portugal	Portugal	Portugal	Portugal	Portugal	Portugal	Portugal	Portugal	Portugal	Rumanía
11 Italia	Italia	Italia	Italia	Italia	Italia	Letonia	Letonia	Letonia	Eslovaquia	Chipre	Portugal
12 Letonia	Letonia	Letonia	Letonia	Letonia	Letonia	Italia	Italia	Eslovaquia	Austria	Austria	Lituania
13 Lituania	Lituania	Eslovaquia	Eslovaquia	Eslovaquia	Eslovaquia	Eslovaquia	Eslovaquia	Italia	Lituania	Lituania	Chipre
14 Eslovaquia	Eslovaquia	Lituania	Lituania	Lituania	Lituania	Lituania	Lituania	Lituania	Italia	Rumanía	Hungría
15 Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Rumanía	Hungría	Austria
16 Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rumanía	Hungría	Italia	Italia
17 Rumanía	Rumanía	Rumanía	Rumanía	Rumanía	Rumanía	Rumanía	Rumanía	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa

Nótese que la primera columna se corresponde a la solución más eficiente, y la última, a la más equilibrada.

FUENTE: Elaboración propia.

En el cuadro 4 se muestra el ranking final de los 17 países, según los valores del parámetro de control  $\lambda$ .

En primer lugar, se puede comprobar cómo el ranking asociado a la solución más eficiente ( $\lambda = 1$ ) es

**CUADRO 5**  
**VARIACIÓN DE LA SOLUCIÓN MÁS EFICIENTE ( $\lambda=1$ ), AL CAMBIAR LOS PESOS PREFERENCIALES OTORGADOS A LOS INDICADORES 13 Y 14**

	$\beta_{13}=\alpha_{14}=9$	$\beta_{13}=\alpha_{14}=7$	$\beta_{13}=\alpha_{14}=5$	$\beta_{13}=\alpha_{14}=3$	$\beta_{13}=\alpha_{14}=1$
1	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia
2	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia
3	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia
4	Chipre	Chipre	Alemania	Alemania	Alemania
5	Alemania	Alemania	Chipre	Chipre	Chipre
6	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido
7	Austria	Austria	Austria	Austria	Francia
8	Francia	Francia	Francia	Francia	Austria
9	España	España	España	España	España
10	Eslovaquia	Eslovaquia	Portugal	Portugal	Portugal
11	Rumanía	Portugal	Eslovaquia	Italia	Italia
12	Italia	Italia	Italia	Eslovaquia	Letonia
13	Portugal	Rumanía	Rumanía	Letonia	Eslovaquia
14	Lituania	Lituania	Letonia	Lituania	Lituania
15	Rep. Checa	Rep. Checa	Lituania	Rep. Checa	Rep. Checa
16	Hungría	Hungría	Rep. Checa	Hungría	Hungría
17	Letonia	Letonia	Hungría	Rumanía	Rumanía

FUENTE: Elaboración propia.

diferente al ranking asociado a la solución más equilibrada ( $\lambda = 0$ ). Estas diferencias no son demasiado notables, ya que como mucho los países cambian cuatro o cinco puestos en el ranking. El país con una industria de la madera más sostenible es o bien Finlandia, o bien Suecia, mientras que el menos sostenible oscila entre Rumanía y la República Checa. Si se observa el caso de España, se puede comprobar cómo se sitúa en la zona media, ya que en función del valor del parámetro  $\lambda$ , oscila entre el octavo y el noveno puesto.

Por otro lado, se ha intentado conocer la sensibilidad de la solución mostrada en el cuadro 4 cuando se modifican los pesos preferenciales otorgados a los indicadores ambientales. Para ello se ha realizado un análisis de sensibilidad para estos dos indicadores. Dado que no se han obtenido los citados pesos de forma empírica (por ejemplo, a través de un juicio de expertos), se ha decidido modificar conjuntamente  $\alpha_{14}$ ;  $\beta_{13}$  en las ecuaciones (4) a través de una escala que va de 1 a 9. Lógicamente, los demás pesos correspondientes al resto de indicadores permanecían invariables. Los resultados para la solución más eficiente (cuadro 5) muestran cómo se producen ligeras modificaciones en el ranking de los países considerados, sobre todo en los países que presentaban una industria de la madera menos sostenible. Asimismo, se destaca el hecho de que 7 países, entre los que se encuentra España, no varían el orden en el citado ranking cuando se modifican los pesos otorgados a estos indicadores de naturaleza ambiental.

**CUADRO 6**  
**RANKING DE LOS 17 PAÍSES SEGÚN DISTINTAS VARIABLES NO INTRODUCIDAS COMO INDICADORES**

Porcentaje de superficie forestal (1)	% VAB manufacturas (NACE 20)
1 Finlandia	1 Finlandia
2 Suecia	2 Suecia
3 Estonia	3 Austria
4 Letonia	4 Portugal
5 Austria	5 Eslovaquia
6 Portugal	6 España
7 Eslovaquia	7 Chipre
8 España	8 Alemania
9 Rep. Checa	9 Francia
10 Italia	10 Italia
11 Lituania	11 Reino Unido
12 Alemania	12 Rep. Checa
13 Francia	13 Estonia
14 Rumanía	14 Hungría
15 Hungría	15 Rumanía
16 Chipre	16 Letonia
17 Reino Unido	17 Lituania

(1) Según FAO (2005)  
 VAB: datos según EUROSTAT

Una vez llegados a este punto cabría preguntarse si los resultados obtenidos pudieran estar relacionados con alguna variable de tipo macroeconómico asociada a las industrias de la madera en estos países. Sin ánimo de ser exhaustivos, en el cuadro 6 se muestra un ranking de los 17 países según el porcentaje

de superficie forestal y el porcentaje del Valor Añadido Bruto (VAB) asociado a la industria de la madera. Por ejemplo, si analizamos el porcentaje de superficie forestal, para algunos países (i.e., Finlandia, Suecia) parece existir una relación directa entre la sostenibilidad y la importancia de estos ecosistemas en la superficie de cada país, pero para otros como el Reino Unido no se cumple este hecho. En el caso del VAB vinculado a la industria de la madera, el ranking presenta algunas diferencias con respecto al mostrado en el cuadro 4. En definitiva, la mayor o menor importancia de estas industrias en términos agregados no garantiza una mayor o menor sostenibilidad de las mismas.

## CONCLUSIONES ‡

El procedimiento que se ha seguido para obtener una medición de la sostenibilidad en las industrias de la madera a nivel europeo permite integrar fácilmente un conjunto de indicadores de muy diversa índole. Así, y con independencia de que la elección de los citados indicadores ha estado condicionada, hasta cierto punto, por la disponibilidad de los datos, es preciso apuntar que el método de programación por metas empleado se ha mostrado versátil a la hora de optar por una solución más eficiente o más equilibrada. Los resultados muestran un ranking europeo de países donde Suecia y Finlandia presentan la industria de la madera más sostenible, mientras que España se sitúa en un término medio.

Finalmente, este trabajo puede extenderse en varias direcciones. Por un lado, se podría replicar los modelos intentando otorgar pesos preferenciales distintos para cada indicador considerado. Estos pesos se podrían obtener a través de un juicio de expertos. La otra posible extensión de la investigación consistiría en adaptar el análisis a un nivel más desagregado, bien sea a nivel empresarial, o bien analizando ramas industriales más concretas.

**(\*) El trabajo de los autores está financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología bajo el proyecto AGL2008-01457 y por la Comunidad de Madrid.**

## NOTAS ‡

- [1] Básicamente se incluye dentro de esta denominación las empresas incluidas en el epígrafe NACE 20 (industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería).
- [2] Statistik Austria, Statistics Sweden, Czech Statistical Office
- [3] CIS («Community Innovation Survey»)
- [4] Bajo la denominación de madera en rollo industrial («industrial roundwood») se recoge toda madera en rollo, madera aserrada, chapas, partículas, fibras y residuos de madera, a excepción de aquella madera destinada exclusivamente a la obtención de energía. UN-ECE/FAO/Eurostat/ITTO, 2001).

## BIBLIOGRAFÍA ‡

- ALFRANCA O., DIAZ-BALTEIRO L., HERRUZO C. (2009): «Technical innovation in Spain's wood-based industry: the role of environmental and quality strategies». *Forest Policy and Economics* (in press)
- AULÍ E. (2002): «Integración de los factores ambientales en las estrategias empresariales», *Boletín Económico del ICE*, 800, pp. 139-148.
- CASTAÑEDA F. (2000): «Criteria and indicators for sustainable forest management: international processes, current status and the way ahead», *Unasylva*, 203, pp. 34-40.
- DIAZ-BALTEIRO L., ROMERO C. (2004a): «In search of a natural systems sustainability index», *Ecological Economics*, 49, pp. 401-405.
- DIAZ-BALTEIRO L., ROMERO C. (2004b): «Sustainability of forest management plans. A discrete goal programming approach», *Journal of Environmental Management*, 71, pp. 351-359.
- DIAZ-BALTEIRO L., ROMERO C. (2004c): «Vínculos entre sostenibilidad, ecología y economía de los sistemas forestales: algunas reflexiones», *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales Fuera de Serie*, pp. 213-222.
- DÍAZ BALTEIRO L., ROMERO C. (2008): «Producción de madera y sostenibilidad». En: L. Díaz Balteiro, coord. «Caracterización de la industria forestal en España: aspectos económicos y ambientales», Fundación BBVA, Madrid, pp. 285-304.
- FONFRÍA A. (2004): «La innovación tecnológica en los sectores tradicionales españoles», *Economía Industrial*, 355-356, pp. 37-46.
- GRAY R., BEBBINGTON J. (2007): «Corporate sustainability: accountability or impossible dream?» En: G. Atkinson, S. Dietz, E. Neumayer, eds. «Handbook of Sustainable Development», Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 376-391.
- HANSEN E. (2006): «The state of innovation and new product development in the North American lumber and panel industry», *Wood and Fiber Science*, 38, pp. 326-333.
- HART S., ARNOLD M., DAY R. (2000): «The business of sustainable forestry: Meshing operations with strategic purpose», *Interfaces*, 30, pp. 234-254.
- HERRUZO A.C. (2007): «Competitividad e Innovación en la industria forestal», V Congrés de la ICEA (Institució Catalana d'Estudis Agraris). Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (campus de Castelldefels), 5 de julio de 2007.
- HIGMAN S., MAYERS J., BASS S., JUDD N., NUSSBAUM R. (2005): «The Sustainable Forestry Handbook 2nd Ed», Earthscan, London.
- JOHNSON A., WALCK D. (2004): «Certified Success: Integrating Sustainability into Corporate Management Systems», *Journal of Forestry*, 102, pp. 32-39.
- LINDO SYSTEMS (2007). LINGO v. 10.0. Chicago.
- MENDOZA G.A., PRABHU R. (2000a): «Development of a methodology for selecting criteria and indicators of sustainable forest management: A case study on participatory assessment», *Environmental Management*, 26, pp. 659-673.
- MENDOZA G.A., PRABHU R. (2000b): «Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study», *Forest Ecology and Management*, 131, pp. 107-126.
- PAECH N. (2007): «Directional certainty in sustainability-oriented innovation management» En: M. Lehmann-Waffenschmidt, ed.: *Innovations towards sustainability. Conditions and consequences*. Physica-Verlag, Heidelberg, pp. 121-139.
- ROMERO C. (1991). *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*. Pergamon Press, Oxford.
- ROMERO C. (2001): «Extended lexicographic goal programming: A unifying approach», *Omega-International Journal of Management Science*, nº 29, pp. 63-71.