

---

# Metodología para el cálculo de la sostenibilidad a nivel industrial. Aplicación a la industria del mueble en Europa.

---

Roberto Voces, Luis Díaz-Balteiro y Carlos Romero  
Universidad Politécnica de Madrid

---

## *Resumen*

La sostenibilidad es un concepto multidimensional sujeto a constante revisión. Sin embargo, hace más de dos décadas que se acepta comúnmente el uso de un conjunto adecuado de indicadores para caracterizarla. Siguiendo dicho enfoque, en este trabajo se pretende caracterizar la sostenibilidad de la industria del mueble a nivel europeo, para lo cual se definirá un conjunto de indicadores que permitan una aplicación a la realidad empresarial de este sector industrial en un número significativo de países europeos. Para realizar esta caracterización, así como para establecer un "ranking" de los países estudiados en base a la sostenibilidad de esta industria nacional, se utilizará una metodología basada en la programación por metas con variables binarias. Cabe señalar que este instrumento metodológico ya ha sido utilizado a la hora de abordar la sostenibilidad de la gestión forestal en anteriores trabajos de los autores.

**Palabras clave:** sostenibilidad, programación por metas, indicadores, industria del mueble.

**Clasificación JEL:** Q560, L690

---

**Methodology for the calculation of sustainability at industrial level: Application to the furniture industry in Europe.**

**Abstract**

Sustainability is an evolving multidimensional concept. However, since two decades ago it is widely accepted the use of a set of indicators for characterizing the sustainability of a system. Following this well established direction, this paper aims to characterize and to measure the sustainability of the furniture industry in Europe. To achieve this purpose a set of indicators of different nature for a significant number of European countries is defined. From this information, a "ranking" of these European countries for the furniture industry in terms of sustainability is obtained by applying a method based upon binary goal programming. This type of approach has already been used by the authors in previous works dealing with broad aspects of sustainable forest management.

**Key words:** sustainability, goal programming, indicators, furniture industry.

**JEL Classification:** Q560, L690

## 1.- Introducción.

Según el celeberrimo Informe Brundtland (WCED, 1987) la sostenibilidad implica cubrir las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para cubrir sus propias necesidades. De este modo, tal como indican Asheim *et al.* (2001) la sostenibilidad es un concepto con raíces normativas, por lo que debe de aunar no sólo aspectos relacionados con la eficiencia económica, sino también aspectos relacionados con la equidad intergeneracional. Obviamente, la integración de la eficiencia y de la equidad hace especialmente complicado tanto la caracterización como la medición de la sostenibilidad. Por otra parte, desde distintos foros internacionales se acepta asimismo que la sostenibilidad es un concepto con dimensiones ecológicas y económicas, lo cual complica aún más el problema. Por tanto, la enorme amalgama de ideas que conlleva este concepto, implica que aunque la sostenibilidad se haya convertido hoy en día en un término de uso común en muchos campos disciplinares, es sin embargo un concepto más fácil de entender intuitivamente que de conceptualizar y formalizar rigurosamente.

Por otra parte, la sostenibilidad puede asociarse tanto a procesos ligados a la explotación de los recursos naturales, como también a aspectos propios de las empresas, o incluso de sectores industriales. Con el fin de abordar la sostenibilidad en la industria han aparecido sugerentes aproximaciones disciplinares, como la Ecología Industrial (Frosh y Gallopoulos, 1989), que pretende establecer una analogía entre los sistemas industriales y los ecosistemas naturales. Sin embargo, este enfoque se ve limitado por la debilidad de sus fundamentos metodológicos, la indefinición de metas, la falta de una base sólida en la literatura económica, y la ausencia de un análisis en profundidad sobre aspectos esenciales para definir el supuesto ciclo cerrado sostenible (O'Rourke *et al.*, 1996; Bey, 2001).

Otras acciones y metodologías desarrolladas en relación con la sostenibilidad de la industria son, según indica Munier (2005), el modelo Input-Output ambiental, la eco-eficiencia, el metabolismo industrial, el análisis del flujo de materiales, la integración industrial, o, como veremos en los próximos apartados, el uso de un conjunto adecuado de indicadores que recojan los tres aspectos esenciales vinculados al desarrollo sostenible (crecimiento económico, progreso social y protección ambiental).

Sin embargo, para abordar la sostenibilidad, estos tres aspectos no pueden estudiarse por separado, sino dentro del contexto del "triple bottom line", es decir, buscando un equilibrio óptimo entre ellos, sin olvidar requerimientos más tradicionales como calidad, marketing, innovación o costes, incluidos en la estrategia competitiva de industrias y empresas con vistas a diferenciarse de los competidores y así mejorar sus cuentas de resultados (Aulí, 2002; Maxwell y Vorst, 2003).

En un contexto de sostenibilidad un indicador es una medida cualitativa o cuantitativa que nos permite definir una característica, identificar un riesgo, tomar una decisión y/o comprobar los resultados de cierta acción o proceso (Munier, 2005). Obviamente, una medida aislada no puede recoger adecuadamente las complejas relaciones existentes entre las tres dimensiones básicas de la sostenibilidad arriba señaladas. Por tanto, es necesario recurrir a un conjunto manejable de indicadores que reduzcan en lo posible la inherente pérdida de información ligada a este tipo de estudios.

Con independencia de que los objetivos buscados para la sostenibilidad puedan ser tan ambiciosos como bienintencionados, siempre estarán condicionados por la situación real de partida y el carácter limitado de los recursos, motivo por el cual es prácticamente imposible encontrarle a la sostenibilidad una meta o un logro perfectamente universales. Por esta razón asumimos el planteamiento expuesto por Callens y Tyteca (1999) sobre la conveniencia de definir la sostenibilidad empresarial en términos relativos. Estos autores destacan, además, la importancia de comparar empresas o sectores de diferentes países, de cara a identificar las prácticas más eficientes para la sostenibilidad, detectar los fallos en su consecución, y formular las oportunas medidas correctoras.

El propósito esencial de este trabajo es presentar una metodología válida para comparar, de una manera eficiente, la sostenibilidad de un sector industrial concreto, en este caso, la industria del mueble correspondiente a un amplio conjunto de países europeos. Para alcanzar este propósito es necesario, en primer lugar, definir la sostenibilidad por medio de un conjunto de indicadores, lo que nos obligará a obtener los datos asociados a cada indicador en cada uno de los países estudiados. La comparación que queremos realizar precisa, a su vez, de valores que siendo sencillos recojan a su vez todos los aspectos relacionados con el tema que estudiamos. Por esa razón, agregaremos dichos indicadores en un índice sintético mediante técnicas de programación por metas con variables binarias. Con la ayuda de este tipo de modelos posteriormente se obtiene un “ranking” de los países analizados en términos de sostenibilidad.

## 2.- 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 resulta fácil suponer, 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:

$$\bar{R}_{ij} = 1 - \frac{R_j^* - R_{ij}}{R_j^* - R_{*j}} = \frac{R_{ij} - R_{*j}}{R_j^* - R_{*j}} \quad \forall i, j \quad (1)$$

Donde  $\bar{R}_{ij}$  sería el valor normalizado alcanzado por el país  $i$ -ésimo cuando es evaluado de acuerdo con el indicador  $j$ -ésimo;  $R_{ij}$  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. Una vez llegados a este punto, se puede definir el siguiente modelo de programación por metas:

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

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

sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n X_i = 1$$

$$X_i \in \{0, 1\} \quad i \in \{1, \dots, n\} \quad (4)$$

$$n \geq 0 \quad p \geq 0$$

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 del mueble 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 la industria 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 la industria analizada. 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:

$$\begin{aligned} & \text{Min } D \\ & \text{sujeto a:} \\ & (\alpha_j n_j + \beta_j p_j) - D \leq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

*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):

$$\begin{aligned} & \text{Min } (1-\lambda) D + \lambda \sum_{j=1}^m (\alpha_j n_j + \beta_j p_j) \\ & \text{sujeto a:} \\ & \text{Metas y Restricciones del modelo (5)} \end{aligned} \quad (6)$$

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.

Llegados a este punto, restaría explicar cómo se obtienen los niveles de aspiración ("targets"), así como el cálculo de los pesos preferenciales. Los niveles de aspiración se pueden fijar exógenamente a través de juicios de expertos, de la experiencia acumulada por los autores, o según orientaciones recabadas en distintas fuentes bibliográficas, estadísticas, etc. Asimismo, los pesos preferenciales pueden ser calculados de distintas formas. La solución más sencilla y fácil de obtener sería aquella donde se

otorga el mismo peso preferencial a la desviación asociada a cada indicador. Si se quiere modificar esta hipótesis inicial habría que recurrir a juicios de expertos u otros métodos relacionados con la teoría de la decisión con el fin de obtener los citados pesos. Por último, es preciso resaltar que la metodología explicada en este párrafo se puede aplicar, si existen los datos requeridos, a cualquier industria o sector y a cualquier agregación espacial que se necesite.

### **3.-Aplicación: Industria Europea del Mueble.**

La metodología desarrollada en la sección anterior se va a aplicar a la industria del mueble en Europa. Es decir, se pretende ver qué países europeos son los más sostenibles cuando se analiza esta industria a nivel nacional. La elección de este sector industrial se debe, por un lado, a su evidente relación con un recurso renovable como puede ser la madera, bien sea directamente, o bien sea a través de productos procedentes de la industria de la madera de primera transformación. Otro motivo que nos ha inducido a la elección de esta industria radica en la escasez de trabajos que abordan explícitamente la sostenibilidad, ya no sólo en la industria del mueble, sino en la industria forestal en su conjunto (Díaz-Balteiro y Romero, 2008).

Ejemplos de estos trabajos pueden ser los 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. Sin embargo, una aplicación reciente orientada a la industria de la madera puede verse en Voces *et al* (2009). En la industria del mueble destacan los trabajos de Ratnasingham y Loras (2003), donde se analiza la sostenibilidad de la industria asiática del mueble, pero centrándose en aspectos más relacionados con la competitividad de estas industrias. Borga *et al.* (2006) desarrollan las líneas maestras que debiera presentar un informe de sostenibilidad orientado a las pequeñas y medianas empresas del sector del mueble en Italia. Además de unos datos generales de cada empresa, este modelo de informe se centra en un conjunto de indicadores dividido en tres secciones: económica, social y ambiental. En el caso de la sección ambiental se definen 10 indicadores de primer orden, y 20 de segundo orden.

### **3.1. Elección Indicadores.**

Si se pretende caracterizar la sostenibilidad en base a un conjunto de indicadores, en principio debe recogerse un conjunto amplio que incluya indicadores de tipo económico, ambiental o social. En el caso que nos ocupa, se ha buscado que todos estos atributos estén presentes en el estudio, aunque la naturaleza industrial de las actividades tratadas, hace que predominen los indicadores de tipo económico. Por otro lado, el escaso nivel de desagregación de una información ambiental todavía pendiente de su adecuado desarrollo ha impedido introducir más indicadores orientados a esta perspectiva ambiental. En concreto, se han seleccionado catorce indicadores que se engloban en las vertientes anteriormente citadas, como se muestra en la Tabla 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

**Tabla 1**  
**Conjunto de indicadores utilizados en este estudio.**

Indicador	Tipo	Unidades
1 Valor añadido respecto del sector manufacturero	Más es mejor	Porcentaje
2 Eficiencia energética	Menos es mejor	Millones de €
3 Grado de dependencia	Menos es mejor	Índice
4 Rentas de trabajo	Más es mejor	Tanto por uno de la renta per cápita
5 Valor añadido bruto por empleado	Más es mejor	Miles de €/empleado
6 Intensidad en el uso del factor trabajo	Menos es mejor	Porcentaje
7 Tasa de inversión	Más es mejor	Ratio
8 Adquisición de tecnología incorporada	Más es mejor	Miles de €/empresa
9 Empresas innovadoras	Más es mejor	Porcentaje
10 Impacto de la innovación	Más es mejor	Porcentaje
11 Patentes	Más es mejor	Número de solicitudes
12 Competitividad exterior (índice de Balassa)	Más es mejor	Índice
13 Desechos	Menos es mejor	Kg/€
14 Protección ambiental	Más es mejor	Miles de €/empleado

Fuente: elaboración propia a partir de Eurostat-Industry, trade and services, Eurostat-Economy and finance, Eurostat-4<sup>th</sup> Community Innovation Survey, Eurostat-Patent Statistics, Eurostat-Waste Statistics Regulation, Eurostat-Environmental Accounts, UNECE-Timber Committe Forest Products Statistics-Production and trade, UN Comtrade database, Statistics Sweden, Czech Statistical Office, Statistik Austria.

internacional ligado a todas estas actividades. No obstante, cuando ha sido necesario, también se ha recurrido a distintas Oficinas Nacionales de Estadística.

Cabe destacar que, además de los indicadores del input o del output de la industria del mueble, 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 un sector industrial tradicional como el analizado en este trabajo 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). En Alfranca *et al.* (2009) se muestra cómo las empresas españolas pertenecientes a la industria forestal (mueble, papel y madera) que siguen ciertas estrategias ambientales (i.e, presencia 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. 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 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 inferiores frente a sectores más productivos y dinámicos. En cuanto a la eficiencia energética, este indicador representa un coste marginal, pues recoge la cantidad de energía que debe adquirir el sector para generar una tonelada métrica adicional de producto. Lógicamente, se alcanzará una mayor sostenibilidad cuanto menor sea el valor de este indicador. Otro indicador del tipo “menos es mejor” sería el grado o coeficiente de dependencia, el cual se define como el cociente entre las importaciones y el consumo aparente (producción nacional + importaciones – exportaciones) de la materia prima utilizada (madera en rollo, madera aserrada, chapas, partículas, fibras y residuos de madera, según la definición conjunta UN-ECE/FAO/Eurostat/ITTO, 2001).

Bajo la denominación de rentas de trabajo recogemos el indicador social obtenido a través del salario medio del sector analizado ponderado con la renta per cápita de cada país, a efectos de hacer posible su comparabilidad. Asimismo, el indicador valor añadido bruto por empleado, obtenido a partir del cociente entre el valor añadido bruto y el número de empleados del sector, actúa como una aproximación a la tradicional productividad media del trabajo. Es fácil entender que valores mayores de ambos indicadores se corresponden con una mayor sostenibilidad. Por su parte, la intensidad en el uso del factor trabajo viene a ser un indicador indirecto del grado de desarrollo tecnológico del sector 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. La tasa de inversión se define como el cociente entre la inversión total en el sector y su valor añadido, ofreciéndonos información sobre la intensidad en el

uso del factor capital para esa industria en cada país. Consideramos que su valor es directamente proporcional a la sostenibilidad.

A continuación se van a mostrar cuatro indicadores relacionados con la innovación. En primer lugar, la adquisición de tecnología incorporada, indicador que se ha considerado oportuno recoger en este estudio por ser ésta la principal vía para la innovación, sobre todo en empresas pequeñas y medianas, y que se obtiene dividiendo la inversión bruta en maquinaria y equipo entre el número de empresas de cada sector estudiado. Bajo la denominación de empresas innovadoras se ofrece el porcentaje de empresas que realizan actividades innovadoras respecto del total de empresas del sector. Este indicador nos informa del grado de implantación (penetración) de las actividades innovadoras en la industria de la madera. Por otro lado, el impacto de la innovación se define como el porcentaje de la cifra de negocios de las empresas innovadoras respecto de la cifra de negocios total del sector, ofreciéndonos información acerca de la importancia real que tienen esas actividades innovadoras sobre el output en ese sector. Además, se ha recogido el número de solicitudes de patentes a la European Patent Office en el año de referencia de 2004, 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. 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, 2007).

Un indicador complementario, que hace referencia a la competitividad exterior, es 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, el conjunto de países estudiados, o, en este caso, la UE-27. 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 (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 de la citada Tabla 1 lleva por nombre protección ambiental, y 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 afectan 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.

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.

### **3.2. Obtención de otros parámetros y coeficientes del modelo.**

Una vez obtenidos los indicadores que se van a aplicar en el modelo para los países seleccionados, antes de proceder al cálculo de los países europeos más sostenibles en relación con la industria del mueble, faltaría explicar cómo se obtienen los niveles de aspiración empleados, así como los pesos preferenciales. Para los niveles de aspiración asociados a cada indicador, se ha considerado

un grado satisfactorio de sostenibilidad el correspondiente a conseguir un 70% del valor ideal medido para todos los indicadores.

Los pesos preferenciales han sido obtenidos a través de una encuesta enviada a 104 expertos de 22 países distintos. En dicha encuesta los expertos debían de comparar por pares los distintos indicadores utilizados en este modelo, utilizando para ello la escala definida por Saaty en su modelo AHP (Saaty, 1980). Se han obtenido 20 respuestas consistentes, de las cuales se derivan las prioridades individuales de cada experto. Para conseguir la agregación de estas preferencias, se ha optado, de acuerdo con estudios anteriores (Forman y Peniwati, 1998), por calcular la media geométrica de las mismas para cada indicador, de modo que su suma total sea igual a uno. El valor obtenido para cada indicador se incluye en la última fila de la Tabla 2.

Por último, 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.

**Tabla 2**  
**Datos Normalizados para los 17 países y 14 indicadores considerados, junto con los pesos preferenciales para cada indicador.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1 Rep. Checa	0.366	0.817	0.000	0.120	0.209	0.699	0.134	0.000	0.143	0.446	0.007	0.334	0.966	0.000
2 Alemania	0.139	0.864	0.459	1.000	0.940	0.239	0.000	0.824	1.000	1.000	1.000	0.030	0.996	0.407
3 Estonia	1.000	0.230	0.608	0.184	0.107	0.489	0.416	0.499	0.531	0.800	0.002	1.000	0.000	0.095
4 España	0.451	0.877	0.596	0.617	0.619	0.418	0.166	0.246	0.357	0.432	0.114	0.091	0.992	0.214
5 Francia	0.223	1.000	0.034	0.865	0.869	0.347	0.074	0.244	0.303	0.560	0.426	0.022	0.979	0.350
6 Italia	0.512	0.848	0.545	0.642	0.848	0.779	0.153	0.276	0.267	0.399	0.397	0.379	0.986	0.089
7 Chipre	0.799	0.607	0.842	0.579	0.475	0.000	0.153	0.015	0.341	0.171	0.000	0.024	0.979	0.454
8 Letonia	0.819	0.012	0.902	0.069	0.070	0.550	0.498	0.338	0.044	0.000	0.000	0.440	0.995	0.013
9 Lituania	0.835	0.661	0.397	0.105	0.070	0.504	0.411	0.420	0.434	0.254	0.000	0.628	0.910	0.085
10 Hungría	0.000	0.689	1.000	0.108	0.097	0.443	0.403	0.029	0.075	0.081	0.005	0.151	0.958	0.069
11 Austria	0.513	0.811	0.404	0.765	0.889	0.172	0.062	0.457	0.368	0.486	0.133	0.271	0.971	0.189
12 Portugal	0.504	0.802	0.064	0.300	0.239	0.430	0.250	0.168	0.248	0.460	0.007	0.235	0.951	0.054
13 Rumanía	0.544	0.000	0.584	0.000	0.000	0.695	1.000	0.396	0.000	0.082	0.000	0.526	0.836	0.046
14 Eslovaquia	0.214	0.673	0.485	0.176	0.147	1.000	0.250	1.000	0.278	0.772	0.000	0.307	0.911	0.058
15 Finlandia	0.093	0.833	0.477	0.878	0.947	0.247	0.037	0.238	0.526	0.734	0.048	0.030	1.000	0.348
16 Suecia	0.323	0.983	0.014	0.664	0.781	0.025	0.027	0.289	0.748	0.838	0.097	0.145	0.995	0.279
17 Reino Unido	0.409	0.776	0.629	0.819	1.000	0.365	0.017	0.520	0.469	0.610	0.288	0.000	0.977	1.000
<b>Pesos</b>	0.105	0.113	0.057	0.045	0.093	0.049	0.064	0.043	0.069	0.069	0.046	0.102	0.065	0.079

Los valores ideales se muestran sombreados y los anti-ideales, en cursiva.  
Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 2 se recogen los valores normalizados correspondientes a la división NACE 36 para los indicadores seleccionados y para los 17 países de los cuales se dispone información.

## 4.- Resultados.

En la Tabla 3 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 diferente al ranking asociado a la solución más equilibrada ( $\lambda=0$ ). Dependiendo del país analizado estas diferencias pueden llegar a ser notables, como se puede apreciar en el caso del Reino Unido, o, por el contrario, las diferencias en algunos casos llegan a ser muy reducidas. En este último caso se encontraría la industria del mueble española que, como se aprecia en la citada Tabla 3, sólo varía dos posiciones al modificarse todo el rango considerado de variación del parámetro  $\lambda$  (del octavo al décimo puesto). El país con una industria del mueble más sostenible sería Estonia, si se busca la solución más eficiente, o bien Austria si lo que se pretende conseguir es la solución más equilibrada, mientras que la industria del mueble analizada menos sostenible, para cualquier valor del parámetro  $\lambda$ , sería la de Hungría.

**Tabla 3**  
**Ranking de la industria europea del mueble.**

$\lambda=1$	$\lambda=0.9$	$\lambda=0.8$	$\lambda=0.7$	$\lambda=0.6$	$\lambda=0.5$	$\lambda=0.4$	$\lambda=0.3$	$\lambda=0.2$	$\lambda=0.1$	$\lambda=0$ .
Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Estonia	Austria	Austria
Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Reino Unido	Austria	Austria	Austria	Estonia	Italia
Alemania	Alemania	Alemania	Alemania	Austria	Austria	Reino Unido	Italia	Italia	Italia	Estonia
Austria	Austria	Austria	Austria	Alemania	Alemania	Italia	Reino Unido	Suecia	Suecia	Suecia
Italia	Italia	Italia	Italia	Italia	Italia	Alemania	Alemania	Lituania	Lituania	Lituania
Lituania	Lituania	Lituania	Lituania	Lituania	Lituania	Lituania	Lituania	Alemania	Eslovaquia	Eslovaquia
Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Suecia	Reino Unido	Portugal	Portugal
España	España	España	España	España	España	España	España	Eslovaquia	Alemania	Rep. Checa
Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Finlandia	Portugal	Reino Unido	Alemania
Chipre	Chipre	Chipre	Chipre	Chipre	Chipre	Chipre	Portugal	España	España	España
Francia	Francia	Francia	Francia	Francia	Francia	Francia	Finlandia	Finlandia	Letonia	Letonia
Eslovaquia	Eslovaquia	Eslovaquia	Eslovaquia	Rumanía	Portugal	Portugal	Francia	Francia	Chipre	Chipre
Portugal	Portugal	Portugal	Portugal	Portugal	Rumanía	Rumanía	Rumanía	Letonia	Finlandia	Finlandia
Letonia	Letonia	Letonia	Letonia	Letonia	Letonia	Letonia	Letonia	Rumanía	Rumanía	Rumanía
Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Rep. Checa	Francia	Francia
Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría	Hungría

La columna encabezada por  $\lambda=0$  recoge la solución más equilibrada, y la encabezada  $\lambda=1$  la más eficiente.  
Fuente: elaboración propia.

## 5.- *Discusión y conclusiones.*

A la hora de plantear un ejercicio donde se pretenda obtener un índice agregado o sintético de sostenibilidad, resulta evidente que los datos de partida juegan un papel muy importante de cara a evaluar la calidad de los resultados obtenidos. En este trabajo se ha partido de datos oficiales, agregados al nivel de país, y este camino quizá sea el único posible ante la imposibilidad material de recabar datos específicos de cada indicador según una muestra de las empresas que componen la industria del mueble en cada uno de los países analizados. No obstante, es preciso dejar constancia que este enfoque presenta la debilidad de depender de las estadísticas oficiales de cada país, al no poder plantear mediciones ad-hoc de los indicadores, y depender por tanto de la fiabilidad de la información disponible.

Desde el punto de vista metodológico, los modelos aquí planteados se pueden calificar como sólidos, ya que permiten responder al desafío de agregar un conjunto de indicadores en un índice multidimensional. Aunque las formas de proceder a este tipo de agregación pueden ser muy variadas, tal y como se aprecia en Mayer (2008), la metodología multicriterio aquí planteada permite realizar una comparación entre distintos tipos de soluciones, que van desde la más eficiente a la más equilibrada. En definitiva, esta formulación proporciona un buen compromiso entre dos formas muy diferenciadas de analizar la sostenibilidad, bien sea optimizando la eficiencia (mejor promedio), o bien la equidad (mejor balanceo) con respecto a las metas previamente definidas (Romero, 2001). Por otro lado, si lo que se buscara no fuese un ranking, sino un índice de sostenibilidad asociado a cada país, se podría construir de forma sencilla, simplemente modificando levemente la metodología planteada en las ecuaciones (4), (5) y (6), tal y como se puede apreciar en Diaz-Balteiro y Romero (2004a).

Desde el punto de vista de la industria forestal definida como la agregación de las industrias de madera, mueble y papel, cabría preguntarse si los países que presentan una industria del mueble más sostenible, son los mismos que manifestarían similares resultados para las industrias de la madera y el papel. Para ambos

sectores, y contemplando algunas modificaciones en la elección de los indicadores y en el cálculo de los niveles de aspiración, en Voces *et al.* (2009, 2010) se observa cómo el ranking es diferente.

Finalmente, este trabajo puede extenderse en varias direcciones. En primer lugar, la metodología aquí expuesta es susceptible de ser aplicada a otros sectores, ramas, etc., y en entornos geográficos diferentes. En efecto, no existe ningún inconveniente en realizar un análisis a un nivel más desagregado, bien sea a nivel empresarial, o bien analizando ramas industriales más concretas. Por otro lado, las continuas modificaciones que se han producido en los últimos años relativas a distintas variables económicas, como puede ser el comercio internacional de estos productos, podría justificar repetir este análisis con datos más actuales para comprobar la evolución de la sostenibilidad de esta industria bajo entornos macroeconómicos cercanos en el tiempo, pero en los que subyacen problemáticas muy distintas. Finalmente, otro trabajo futuro consistiría en definir, a través de modelos econométricos qué variables (económicas, sociales o ambientales) a nivel de país y no recogidas en los indicadores utilizados pueden justificar que un país presente una industria más sostenible que otro.

El procedimiento que se ha seguido para obtener una medición de la sostenibilidad en la industria del mueble 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.

## **6.- Agradecimientos.**

El trabajo de los autores está financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología bajo el proyecto AGL2008-01457/FOR. Asimismo, los autores agradecen la financiación de la Comunidad de Madrid.

## Bibliografía.

- ALFRANCA, O., DIAZ-BALTEIRO, L. y HERRUZO, C. (2009): "Technical innovation in Spain's wood-based industry: the role of environmental and quality strategies". *Forest Policy and Economics*, 11, págs. 161-168.
- ASHEIM, G. B.; BUCHHOLZ, W. y TUNGODDEN, B. (2001): "Justifying Sustainability". *Journal of Environmental Economics and Management*, 41, págs. 252-268.
- AULÍ, E. (2002): "Integración de los factores ambientales en las estrategias empresariales". *Boletín Económico del ICE*, 800, págs. 139-148.
- BEY, C. (2001): "Quo Vadis Industrial Ecology? Realigning the Discipline with its Roots". *Greener Management International*, 34, págs. 35-42.
- BORGA, F., CITTERIO, A., NOCI, G. y PIZZURNO, E. (2009): "Sustainability report in small enterprises: Case studies in Italian furniture companies". *Business Strategy and Environment*, 18, págs. 162-176.
- CALLENS, I. y TYTECA, D. (1999): "Towards indicators of sustainable development for firms. A productive efficiency perspective". *Ecological Economics*, 29, págs. 41-53.
- DIAZ-BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (2004a): "In search of a natural systems sustainability index". *Ecological Economics*, 49, págs. 401-405.
- DIAZ-BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (2004b): "Sustainability of forest management plans. A discrete goal programming approach". *Journal of Environmental Management*, 71, págs. 351-359.
- DÍAZ-BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (2008): "Producción de madera y sostenibilidad". En: DÍAZ BALTEIRO, L. (coord.): *Caracterización de la industria forestal en España: aspectos económicos y ambientales*, Fundación BBVA, Madrid, págs. 285-304.
- FONFRÍA, A. (2004): "La innovación tecnológica en los sectores tradicionales españoles". *Economía Industrial*, 355-356, págs. 37-46.
- FORMAN, E. y PENIWATI, K. (1998): "Aggregating individual judgments and priorities with the Analytic Hierarchy Process". *European Journal of Operational Research*, 108, págs. 165-169.
- FROSCHE, R. A. y GALLOPOULOS, N. E. (1989): "Strategies for Manufacturing". *Scientific American*, 261 (3), págs. 144-152.
- HANSEN, E. (2006): "The state of innovation and new product development in the North American lumber and panel industry". *Wood Fiber Science*, 38, págs. 326-333.
- HART, S., ARNOLD, M. y DAY, R. (2000): "The business of sustainable forestry: Meshing operations with strategic purpose". *Interfaces*, 30, págs. 234-254.
- JOHNSON, A. y WALCK, D. (2004): "Certified Success: Integrating Sustainability into Corporate Management Systems". *Journal of Forestry*, 102, págs. 32-39.
- MAYER, A. L. (2008): "Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems". *Environment International*, 34, págs. 277-291.
- MAXWELL, D. y VORST van der, R. (2003): "Developing sustainable products and services". *Journal of Cleaner Production*, 11, págs. 883-895.
- MENDOZA, G. A. y 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, págs. 659-673.
- MENDOZA, G. A. y PRABHU, R. (2000b): "Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: a case study". *Forest Ecology and Management*, 131, págs. 107-126.
- MUNIER, N. (2005): *Introduction to Sustainability. Road to a Better Future*, Springer, Dordrecht.
- O'ROURKE, D.; CONNELLY, L. L. y KOSHLAND, C. (1996): "Industrial ecology: a critical review". *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 6, nº 2/3, págs. 89-112.

PAECH, N. (2007): "Directional certainty in sustainability-oriented innovation management". En: LEHMANN-WAFFENSCHMIDT, M. (ed.): *Innovations towards sustainability. Conditions and consequences*, Physica-Verlag, Heidelberg, págs. 121-139.

RATNASINGAM, J. y IORAS, F. (2003): "The sustainability of the Asian wooden furniture industry". *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61, págs. 233-237.

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*, 29, págs. 63-71.

SAATY, T.L. (1980): "The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, and Resource Allocation". McGraw-Hill, New York.

VOCES, R. DÍAZ-BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (2009): "La medición de la sostenibilidad en la industria de la madera en Europa. Un enfoque multicriterio basado en la agregación de indicadores". *Economía Industrial*, 371, págs. 79-86.

VOCES, R. DÍAZ-BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (2010): "In search of a European paper industry ranking in terms of sustainability by using binary goal programming". *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. Ed. Springer (in press).

WCED. World Commission on Environment and Development (1987): "Our Common Future", Oxford University Press, Oxford.