

**La construcción
de indicadores
sintéticos de
sostenibilidad
agraria**

Capítulo V

V. LA CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES SINTÉTICOS DE SOSTENIBILIDAD AGRARIA

V.1 La utilidad de los indicadores sintéticos

Como se indicaba en el apartado II.2.2., los análisis empíricos de sostenibilidad basados en un gran número de indicadores resultan ser una tarea compleja y llena de dificultades, habida cuenta la gran cantidad de información multidimensional que es necesario considerar de manera conjunta. Esta dificultad para interpretar adecuadamente tal cantidad de información, obstaculiza la utilización de este tipo de análisis como herramienta práctica de apoyo a la toma de decisiones públicas y privadas encaminadas a mejorar la sostenibilidad del sector agrario.

Este problema ha tratado de superarse a través de la aplicación de métodos de agregación que resuman la información de los diferentes indicadores de base considerados para el análisis en un índice o indicador sintético. El uso de tales indicadores sintéticos para analizar la sostenibilidad agraria (o cualquier otro concepto de carácter multidimensional) ha generado, no obstante, un interesante debate en relación con sus ventajas e inconvenientes. En este sentido, Saisana y Tarantola (2002) han elaborado una buena síntesis, tal y como se muestra en el cuadro V.1.

Sin desdeñar los inconvenientes expuestos en el cuadro V.1, resulta patente el balance globalmente positivo que ofrece el uso de indicadores sintéticos, lo cual viene a avalar el interés de los mismos para la investigación aquí propuesta.

En cualquier caso, como se trata de explicar a lo largo de todo este capítulo, el proceso de construcción de los índices de sostenibilidad de las explotaciones andaluzas de olivar ha tratado de minimizar los posibles problemas mencionados en el cuadro V.1. En este sentido se ha tenido especial cuidado en la elección de las formas funcionales para la agregación (apartado I.4) y el cálculo de los pesos individuales de los indicadores de base seleccionados (apartado I.5). Asimismo se ha realizado un esfuerzo en la redacción de este capítulo, al objeto de dar la máxima transparencia al proceso de construcción de los índices propuestos.

CUADRO V.1 Ventajas e inconvenientes de los indicadores sintéticos

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> • Son capaces de sintetizar información de carácter complejo y multidimensional (como la sostenibilidad agraria) al objeto de facilitar su comprensión. • Reducen el tamaño visible de la información suministrada por un conjunto de indicadores, sin desestimar la información de base sobre la que se apoyan. • Promueven el uso de mediciones cuantitativas para el seguimiento y evaluación de las unidades analizadas (explotaciones agrarias, sistemas agrarios, etc.) a lo largo del tiempo, pudiendo ser la base de series históricas. • Facilitan la comunicación de los resultados a un público amplio (medios de comunicación, ciudadanía, etc.), permitiendo que estos temas complejos sean objeto de debate social. • Los resultados de estos índices permiten que los temas analizados sean objeto de debate político, constituyendo el soporte analítico para el diseño y aplicación de políticas públicas. • Permiten a los usuarios de estos índices realizar comparaciones de dimensiones complejas de forma efectiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden invitar a la obtención de conclusiones simplistas. • La información que generan puede derivar en políticas inapropiadas si el proceso de construcción es inadecuado (falta de rigor científico y técnico) o malinterpretado (falta de transparencia en el proceso). • La selección de indicadores y su ponderación puede ser objeto de disputas políticas y técnicas. • La información que generan puede derivar en políticas inapropiadas si algún principio o criterio es ignorado por la dificultad de su cuantificación a través de indicadores. • La variedad de métodos existentes para su construcción puede dar lugar a indicadores sintéticos arbitrarios o poco justificados.

Fuente: Elaboración propia a partir de Saisana y Tarantola (2002).

V.2 Esquema metodológico para el cálculo de indicadores sintéticos

Pese a que en esencia los índices representen una única medida de fácil interpretación que pretende servir de base para la toma de decisiones políticas, su construcción no resulta una tarea sencilla. De hecho, las dificultades metodológicas asociadas al diseño y cálculo de tales índices plantean una serie de cuestiones que, si no se abordan adecuadamente, pueden dar lugar a resultados erróneos, fácilmente malinterpretables o susceptibles de manipulación (Jacobs et al., 2004). Por este motivo es especialmente relevante explicar el proceso de construcción de índices a través de una secuencia

de etapas clara, lógica y coherente, de forma que se facilite posteriormente la comprensión de los resultados alcanzados y la replicabilidad de la metodología en otros casos de estudio similares. Con este fin, en este trabajo se ha optado por seguir la planificación propuesta por Nardo et al. (2005a y 2005b) y OCDE y JRC (2008), quienes sugieren la implementación de las siguientes 10 etapas para la construcción de indicadores sintéticos:

1. Desarrollo del marco teórico.
2. Selección de indicadores básicos.
3. Imputación de datos ausentes.
4. Análisis multivariante.
5. Normalización de datos.
6. Asignación de pesos y agregación.
7. Análisis de robustez y sensibilidad.
8. Análisis de la relación de los índices calculados con otras variables.
9. Análisis de la relación entre los índices calculados con los datos originales.
10. Presentación y difusión de resultados.

El desarrollo de las dos primeras etapas ya ha sido comentado con anterioridad en este mismo documento. De manera más concreta, la *etapa 1* (desarrollo del marco teórico) ha sido abordada en el Capítulo II y la *etapa 2* (selección de indicadores básicos) en el Capítulo IV.

En lo que respecta a la *etapa 3* (imputación de datos ausentes) no hace falta introducir comentario alguno, en la medida que durante la fase de recopilación de los datos primarios se ha procedido a descartar las explotaciones muestreadas para las cuales no se disponía de toda la información (cuestionario completado). Por este motivo, la base de indicadores de sostenibilidad finalmente utilizada para la obtención de los indicadores sintéticos está completa, y no ha requerido la imputación de ningún dato ausente.

La *etapa 4* (análisis multivariante) consiste básicamente en la realización de un conjunto de pruebas estadísticas con doble finalidad:

- a) analizar la consistencia interna de los índices a calcular mediante la comprobación de que no existen correlaciones significativas entre los indicadores de base seleccionados, y
- b) identificar grupos de indicadores o grupo de explotaciones similares desde el punto de vista estadístico para facilitar la interpretación de los resultados.

En cuanto a la primera de las cuestiones comentadas, cabe afirmar que la existencia de correlaciones significativas entre los indicadores de base es indicativa que dos o varios de ellos están cuantificando la misma parte de la sostenibilidad de la explotación. Esta circunstancia puede inducir un problema de doble contabilidad en la etapa de agregación, reduciendo la fiabilidad de los índices calculados. Por este motivo se hace necesario el empleo de métodos estadísticos que identifiquen previamente la existencia de dichas correlaciones. Las técnicas estadísticas multivariantes normalmente empleadas con este propósito son el Análisis de Componentes Principales (ACP), el Análisis Factorial (AF) y el Coeficiente Alfa de Cronbach (c -alpha). La primera de estas técnicas ha sido la empleada en la aplicación práctica de la metodología propuesta a nuestro caso de estudio.

Para los casos en los que se identifiquen indicadores muy correlacionados, Nardo et al. (2005a y 2005b) y OCDE y JRC (2008) recomiendan que previamente a la etapa de agregación se descarten aquellos que sean necesarios para evitar incurrir en el problema de doble contabilidad. Por el contrario, Smith (2002) evidencia cómo la inclusión en un único índice de indicadores que presenten alta correlación no es problemática, siempre y cuando se realice asignándoles ponderaciones o pesos distintos. Éste último ha sido el enfoque seguido en este trabajo. Así, no ha sido necesario descartar ninguno de los indicadores del conjunto inicialmente seleccionado, en la medida que se ha realizado una cuidadosa ponderación de los mismos (véase el apartado 1.5).

Posiblemente, las etapas más relevantes desde una perspectiva metodológica sean la *etapa 5* (normalización de datos) y la *etapa 6* (asignación de pesos y agregación), motivo por el cual serán tratadas de forma individualizada en los apartados siguientes de forma monográfica.

La *etapa 7* (análisis de robustez y sensibilidad) pretende verificar la fiabilidad de los indicadores sintéticos elaborados. Para ello, se pretende realizar un análisis comparativo y crítico de los resultados de los índices de sostenibilidad obtenidos mediante las diferentes alternativas metodológicas seleccionadas. De esta comparación se podrán derivar consideraciones respecto a las ventajas e inconvenientes de los indicadores sintéticos elaborados, confirmando (o no) la sensibilidad de los resultados en función de las opciones elegidas para su construcción.

La *etapa 8* (análisis de la relación de los índices calculados con otras variables) y la *etapa 9* (análisis de la relación de los índices calculados con otras variables y con los datos originales) pretenden identificar los indicadores que presentan mayor influencia sobre los índices calculados, así como explicar la importancia relativa de otras variables sobre el índice. Ambas etapas se han desarrollado en la aplicación empírica realizada a través de diferentes técnicas estadísticas multivariantes, tal y como se detallará en el Capítulo 7 dedicado a los resultados.

Finalmente la *etapa 10* (presentación y difusión de resultados) es la que trata de dar a conocer los resultados obtenidos de la investigación realizada a los potenciales usuarios del nuevo conocimiento generado. Éste es el fin último del presente documento.

V.3 | Métodos de normalización

Mediante la normalización se pretende que un conjunto de variables cuantificadas a través de diferentes unidades de medida sea transformado en un conjunto de nuevas variables medidas en una unidad común. Según la clasificación establecida por Barba-Romero y Pomerol (1997), la normalización puede ser de tres tipos:

- a) sin cambio de magnitud,
- b) con cambio de magnitud a escala libre, o
- c) con cambio de magnitud a escala fija.

Los procedimientos de normalización empleados en la construcción de indicadores sintéticos, como ahora veremos, se basan en este último tipo, la normalización con cambio de magnitud a escala fija.

Esta etapa de normalización de indicadores es una necesidad previa a cualquier operación de agregación (Freudenberg, 2003), dado que los indicadores a integrar están normalmente cuantificados en diferentes unidades de medida, tal y como se ha evidenciado en el Capítulo 4. Así pues, para poder compararlos de forma apropiada y realizar operaciones aritméticas entre ellos, se hace necesario que este conjunto de indicadores esté expresado en una unidad homogénea. De esta manera la normalización permite evitar los efectos de escala, posibilitando la correcta agregación de los indicadores de base considerados.

Al objeto de realizar la oportuna normalización, existen diversas técnicas que pueden ser empleadas. Cada una de ellas presenta sus propias ventajas e inconvenientes, tal como explican Freudenberg (2003), Jacobs et al., (2004), Nardo et al., (2005a y 2005b) y OECD y JCR (2008). En todo caso, como señalan Ebert y Welsh (2004), la selección de un método u otro de normalización no resulta trivial. Estos autores evidencian que el método a elegir debe considerar las propiedades intrínsecas de las variables, así como los objetivos que se pretenden analizar con los índices a obtener. En este sentido se apunta que los dos factores que deben guiar la elección del procedimiento de normalización deben ser la robustez (insensibilidad ante la existencia de valores extremos) y la eficiencia (valor estimado próximo al óptimo esperado cuando se desconoce la verdadera distribución de los datos) de la técnica seleccionada.

Entre las diversas técnicas de normalización de indicadores empleadas en la construcción de índices, las más utilizadas son la normalización *min-max* y la normalización estadística o *z-score*. La amplia difusión de ambas técnicas queda justificada porque éstas presentan características deseables para la etapa de agregación, tal y como luego se expondrá.

La *normalización min-max* es la alternativa de normalización más sencilla, que se basa en la utilización de los valores mínimo (X_{\min}) y máximo (X_{\max}) observados en la muestra considerada para normalizar linealmente los valores de todos los elementos de la misma, de manera que los valores mínimos y máximos tomen valores normalizados de 0 y 1, respectivamente, y todos los demás elementos adopten valores relativos que varían en el intervalo [0,1].

Seguindo a Phillis y Andriantiatsaholiniaina (2001), de manera concreta se pueden definir las siguientes funciones de normalización *min-max* en función de que el valor objetivo para el indicador sea un valor máximo (indicadores del tipo ‘cuanto mayor mejor’) o un valor mínimo (indicadores del tipo ‘cuanto menor mejor’). Si el valor objetivo es un máximo, la formulación de la normalización sería como sigue:

$$I_{ki} = \begin{cases} 0 & \forall X_{ki} < X_{k_min} \\ \frac{X_{ki} - X_{k_min}}{X_{k_max} - X_{k_min}} & \forall X_{k_min} \leq X_{ki} \leq X_{k_max} \\ 1 & \forall X_{ki} > X_{k_max} \end{cases} \quad [V.1]$$

donde I_{ki} es el valor normalizado del indicador k para la explotación i , X_{ki} es el valor original de ese mismo indicador para la misma explotación, y X_{k_min} y X_{k_max} los valores mínimo y máximo del indicador k , respectivamente.

Si por el contrario, si el valor objetivo es un mínimo, la expresión a emplear en la normalización sería:

$$I_{ki} = \begin{cases} 1 & \forall X_{ki} < X_{k_min} \\ \frac{X_{k_max} - X_{ki}}{X_{k_max} - X_{k_min}} & \forall X_{k_min} \leq X_{ki} \leq X_{k_max} \\ 0 & \forall X_{ki} > X_{k_max} \end{cases} \quad [V.2]$$

Gracias a esta transformación todos los indicadores normalizados se vuelven adimensionales, tomando valores en el intervalo [0,1]. El 0 representa el peor valor posible del indicador (el menos sostenible), mientras que el 1 supone el mejor valor del indicador (el más sostenible). Valores próximos a 0 de I_{ki} indicaría que la explotación i está lejos del objetivo de sostenibilidad marcado en relación con el indicador específico k . Por el contrario, un valor de I_{ki} próximo a 1 reflejaría que ésta está próxima a cumplir con el objetivo definido en relación con este indicador para la consecución de la sostenibilidad.

La única dificultad a *priori* para la aplicación de esta normalización es la determinación de los mencionados valores mínimos ($X_{k \text{ min}}$) y máximos ($X_{k \text{ max}}$) de cada indicador k . Una primera posibilidad en este sentido, como se ha señalado inicialmente, sería asignar estos según los valores extremos observados en la muestra de explotaciones considerada. Ello implicaría asumir que dentro de la muestra se encuentran los elementos que presentan el mejor y el peor desempeño de cada uno de los indicadores de considerados, y que uno de ellos, en función de los casos, puede considerarse como valor objetivo a tener en cuenta para la normalización. No obstante, debe indicarse que esta opción tiene como principal inconveniente su falta robustez cuando existen valores extremos 'atípicos' (*outliers*), dada su dependencia del rango de valores iniciales de los indicadores (Jacobs et al., 2004). En estos casos, la alternativa más recomendable es establecer estos valores mínimos y máximos por medio de 'valores límite' fijados de forma exógena por especialistas en función del conocimiento previo sobre el indicador.

Por su parte, la *normalización estadística* o *z-score* se corresponde con el clásico procedimiento de tipificación estadística, a través del cual los valores de los indicadores se normalizan a través de la siguiente expresión:

$$I_{ki} = \frac{X_{ki} - \bar{X}_k}{\sigma_{X_k}} \quad [\text{V.3}]$$

donde \bar{X}_k y σ_{X_k} son la media y la desviación típica del indicador k para el conjunto de las explotaciones de la muestra consideradas, respectivamente.

Con esta transformación, los indicadores normalizados pasan a integrar una escala común que se distribuye siguiendo una función normal de media 0 y desviación estándar unitaria. Por sus características, el empleo de este método es especialmente recomendable cuando se analizan un gran número de elementos (tamaños muestrales grandes), cuando el mínimo y el máximo son desconocidos o cuando existen de valores extremos atípicos que desaconsejan el empleo de la normalización *min-max*.

Como se comentaba al principio del epígrafe, no existe consenso respecto a la idoneidad de un único procedimiento de normalización, por lo que la elección del método a emplear queda a elección del investigador en función de las características de los indicadores considerados. En este sentido la opción elegida para este trabajo ha sido la utilización de la normalización *min-max* calculada sobre la base de valores límites, tal y como sugiere el marco SAFE (van Cauwenbergh et al., 2007). Así la normalización de los indicadores de sostenibilidad se ha realizado considerando como valores máximos y mínimos aquellos que se ha considerado más adecuados por el panel de expertos que ha asesorado esta investigación en función de su significación para la sostenibilidad de cada sistema de olivar considerado (ver valores para cada indicador individual en el apartado VI.3).

De los 27 indicadores seleccionados para este trabajo, la mayoría son del tipo 'cuanto mayor mejor', por lo que han sido normalizados empleando la expresión [5.1]. No obstante, ocho de estos indicadores son de tipo 'cuanto menor mejor' (*VARRENT*, *VARVENTA*, *PORCSUBV*, *ABANDON*, *RIESPEST*, *EROSION*, *HERBICID* y *USOAGUA*). Para estos últimos casos, la expresión utilizada para la normalización ha sido la [V.2].

V.4 | Métodos de agregación

Tras la etapa de normalización, debe desarrollarse la *etapa 6* (asignación de pesos y agregación) que constituye la fase de construcción de los indicadores sintéticos propiamente dicha. Esta etapa, como se verá a continuación, es la más delicada y la que está sometida a mayores críticas. Al objeto de facilitar la explicación de cómo se propone desarrollar esta etapa para el caso objeto de estudio, ésta se ha subdividido operativamente en dos:

- a) la *agregación* y
- b) la *ponderación o asignación de pesos*.

Esta sección se centra de manera específica en cómo se ha desarrollado la primera de estas subetapas, dejando la segunda para el apartado I.5.

La subetapa de agregación aborda la tarea de establecer la forma funcional que permita operar algebraicamente con el conjunto de valores normalizados de los indicadores, al objeto de obtener un valor único resumen de todos ellos. La expresión matemática definida con este fin constituye la formulación operativa del indicador sintético. Con este propósito, como se expone en OECD y JRC (2008), existen múltiples métodos alternativos. Esta variedad de opciones disponibles es la causa de una de las principales críticas que se imputa al uso de los indicadores sintéticos; la subjetividad inherente a la elección del método de agregación (Hansen, 1996; Bockstaller et al., 1997; Morse et al., 2001; Ebert y Welsch, 2004; Hueting y Reijnders, 2004; Munda, 2005; Böhringer y Jochem, 2007).

Efectivamente, la elección de una forma funcional para la agregación de indicadores no resulta trivial, pues ésta condiciona el tipo de la compensación o 'tasa marginal de sustitución' existente entre indicadores (Munda, 2008). Así, en función de la expresión algebraica empleada para ello, se puede asumir que compensación entre indicadores sea:

- a) *total*,

b) *parcial* o

c) *nula*¹.

De forma resumida puede afirmarse que las *funciones lineales aditivas* asumen implícitamente una compensación total entre indicadores, las *funciones multiplicativas o geométricas* admiten una compensación parcial, mientras que las *funciones multicriterio no compensatorias* imposibilitan cualquier tipo de compensación.

Como demuestran Gómez-Limón y Riesgo (2009) y Gómez-Limón y Sánchez-Fernández (2010), en función del método de agregación elegido durante la elaboración de estos índices, los resultados y las conclusiones que se puedan derivar de los mismos pueden diferir en unos casos de otros. Por este motivo, siguiendo las sugerencias de estos mismos autores, para el desarrollo de esta investigación se ha optado por la aplicación de diferentes técnicas alternativas de agregación, que permitan contemplar las tres posibilidades de compensación antes descritas. Así pues, la aplicación empírica propuesta se desarrollará calculando para cada explotación de olivar un conjunto de indicadores sintéticos diferenciados en el método de agregación. El análisis conjunto de los resultados así obtenidos permitirá, primero, discutir las bondades e inconvenientes de los diferentes métodos de agregación utilizados sobre la base de su aplicación empírica y, segundo, alcanzar conclusiones prácticas más robustas, en la medida que éstas pueden apoyarse en resultados similares derivados del empleo de diferentes sistemas de agregación.

De manera más concreta, las formas funcionales de agregación seleccionadas han sido:

1. La **suma ponderada de indicadores**, como representante de los métodos lineales aditivos (permite compensación total entre indicadores). Desde el punto de vista matemático, se trata de una regla de agregación lineal ponderada aplicada sobre el conjunto de indicadores normalizados:

$$ISSA_{a_i} = \sum_{k=1}^{k=K} w_k \cdot I_{ki} \quad [V.4]$$

donde $ISSA_{a_i}$ es el Indicador Sintético de Sostenibilidad Agraria aditivo correspondiente a la explotación evaluada (i), w_k es el peso asociado al indicador k , e I_{ki} es el valor normalizado del indicador k para la explotación i .

1 La consideración de diferentes tipos de compensación puede relacionarse con los diferentes conceptos de sostenibilidad. Efectivamente, asumir compensación total entre indicadores está asociado al concepto de *sostenibilidad 'débil'* (se asume la posibilidad de sustituir capital natural por capital artificial), mientras que una *compensación nula* se corresponde con la *sostenibilidad 'fuerte'* (imposibilidad de tal sustitución).

La aplicación de los métodos aditivos implica la adopción de determinados supuestos básicos que deben ser tenidos en cuenta al objeto de interpretar adecuadamente los correspondientes resultados. En particular es especialmente relevante el supuesto implícito de independencia preferencial de los indicadores de base considerados². Tal circunstancia supone, como ya se ha adelantado, aceptar la existencia de tasas de intercambio o *trade-offs* entre indicadores y, por tanto, la posibilidad de compensación entre ellos. En caso de agregación aditiva, estas tasas de intercambio entre cualquier par de indicadores son constantes, con independencia del valor que tomen éstos. Con ello se está aceptando la posibilidad de que exista una compensación *total* entre indicadores.

Si se tiene en cuenta que estos indicadores están cuantificando de una manera u otra los *stocks* de los distintos tipos de capital natural y artificial empleados por la actividad agraria, se deduce que con la agregación aditiva se está asumiendo que cualquier conflicto ambiental en este sector puede solucionarse por medio de una compensación monetaria fija preestablecida. Siguiendo este tipo de formulaciones se estaría aceptando, por ejemplo, la posibilidad de que hubiese una mayor contaminación de origen agrario con la única condición de que los agricultores obtuviesen un determinado beneficio privado adicional, con independencia del grado de contaminación preexistente. Evidentemente, este supuesto resulta poco realista en la práctica, y se contraponen al concepto inherentemente multidimensional e integrado de la sostenibilidad. Esta circunstancia obliga a ser cautos cuando se interpretan indicadores sintéticos de carácter aditivo, en la medida que valores elevados en los indicadores pertenecientes a una determinada dimensión (por ejemplo la económica) podrían enmascarar valores especialmente bajos, incluso nulos, de indicadores de alguna otra dimensión (por ejemplo la ambiental), sin que el índice finalmente calculado refleje tales diferencias.

2. El **producto de indicadores ponderados**, elegido como representante de los métodos de agregación multiplicativos o geométricos, que asumen una compensación parcial entre indicadores. Su formulación algebraica es como sigue:

$$ISSA_{m_i} = \prod_{k=1}^{k=K} I_{ki}^{w_k} \quad [V.5]$$

2 Como explican Keeney y Raiffa (1976), cualquier par de indicadores I_1 e I_2 son preferencialmente independientes del indicador I_3 si la tasa de intercambio o *trade-off* entre I_1 e I_2 no se ve afectada por el nivel alcanzado por I_3 .

La agregación multiplicativa supone igualmente la existencia de compensación entre indicadores. De hecho, este tipo de agregación parte también del supuesto implícito de independencia preferencial entre indicadores antes indicada. Sin embargo, al contrario que en la agregación aditiva, en este caso la tasa de intercambio entre indicadores no es constante, sino que varía en función del valor de los mismos. Así, a medida que se incrementa el valor de un indicador, se incrementa la capacidad de compensación de éste con otros indicadores (disminuye su tasa de intercambio). Por el contrario, a medida que el valor de dicho indicador disminuye, se reduce esta posibilidad de compensación (incremento de la tasa de intercambio), llegando a anularse por completo cuando éste toma valores 0 (tasa de intercambio infinito). De esa forma, a diferencia de los métodos aditivos, los métodos multiplicativos favorecen a aquellos elementos que presentan valores equilibrados de los diferentes indicadores (valoración agregada del índice elevada), penalizando a aquellos que presentan indicadores con valores particularmente bajos (valoración escasa del indicador sintético). Esta circunstancia explica por qué este tipo de formulaciones matemáticas representan compensaciones de carácter *parcial*.

3. La **formulación multicriterio basada en la distancia al punto ideal**. Munda (2005) sugiere que la vaguedad y multidimensionalidad intrínsecas al concepto de sostenibilidad se ajustan perfectamente al conflicto clásico de optimización multidimensional estudiado por la teoría de decisión multicriterio (*Multi-Criteria Decision Making*, MCDM). En particular, este autor aboga por el empleo de métodos multicriterio no compensatorios para la elaboración de índices de sostenibilidad, a través de los cuales no se permita que indicadores con valores bajos se compensasen con aquellos que presentan valores mayores. Sólo de esta forma se haría operativo el supuesto de inconmensurabilidad implícito en el concepto de sostenibilidad 'fuerte'.

Siguiendo esta opción se ha optado por aplicar la técnica de agregación multicriterio desarrollada por Díaz-Balteiro y Romero (2004). Dicha técnica se basa en la cuantificación de la distancia de los elementos analizados (explotaciones olivereras en nuestro caso) a un elemento 'ideal', que en nuestra aplicación empírica se corresponde con una explotación virtual que toma el valor límite más sostenible en todos y cada uno de los indicadores de base. La cuantificación de dicha distancia a través de diferentes métricas constituye una familia de funciones de agregación a partir de las cuales calcular los correspondientes indicadores sintéticos.

De manera más concreta, esta familia de índices viene definida por la siguiente expresión genérica:

$$ISSA_{mcdm_i(\lambda)} = (1 - \lambda) \left[\text{Min}_k (w_k \cdot I_{ki}) \right] + \lambda \sum_{k=1}^{k=K} w_k I_{ki} \quad [V.6]$$

donde λ es un parámetro que varía entre 0 y 1, condicionando el grado de compensación permitido entre los indicadores, por lo que se ha denominado como '*parámetro de compensación*'. Para la aplicación de esta metodología en nuestra investigación se han considerado 5 valores de este parámetro de compensación ($\lambda=0$, $\lambda=0,25$, $\lambda=0,5$, $\lambda=0,75$ y $\lambda=1$), de modo que se contemplen las tres posibilidades de compensación antes reseñadas: a) compensación total ($\lambda=1$)³, b) diferentes grados de compensación parcial ($0<\lambda<1$) y c) compensación nula ($\lambda=0$).

V.5 | Métodos de ponderación

La subetapa de ponderación o asignación de pesos permite introducir en el análisis la importancia relativa de los distintos indicadores considerados al objeto de construir el indicador sintético. Esta fase de ponderación es igualmente una subetapa necesaria en todos los ejercicios de agregación (Freudenberg, 2003). De hecho, aun en los casos en los que aparentemente no se atribuyen pesos a los indicadores de forma explícita, la ponderación se realiza de forma implícita, asumiendo por defecto el mismo peso para todos los indicadores de base⁴.

Al igual que antes se señalaba con relación a la agregación, no existe un único método de ponderación consensuado o aceptado de forma amplia entre la comunidad científica, existiendo múltiples alternativas técnicas válidas para ello. Esta falta de consenso en el procedimiento a utilizar para la asignación de pesos a los indicadores de sostenibilidad ha generado igualmente críticas de diferentes autores (Hansen, 1996; Bockstaller et al., 1997; Morse et al., 2001; Ebert y Welsch, 2004; Hueting y Reijnders, 2004; Munda, 2005 y Böhringer y Jochem, 2007), quienes han argumentado que la selección '*arbitraria*' de los métodos empleados y la generación de resultados sesgados de los indicadores sintéticos finalmente obtenidos (diferencias en los resultados en función de las opciones tomadas) son debilidades relevantes de todos los ejercicios de construcción de indicadores sintéticos.

El manual de la OCDE y el JRC (2008) clasifica las técnicas de ponderación utilizables en la construcción del índice diferenciándolas entre '*positivas*' y '*normativas*'. Las *técnicas positivas*, también denominadas '*estadísticas*' o '*endógenas*', son aquéllas que permiten la obtención de los pesos mediante procedimientos estadísticos, sin que sea necesario la introducción de

3 Como puede comprobarse, cuando $\lambda=1$, el valor del $ISSA_{mdcm(1,00)}$ se equipara al obtenido por el método de la suma ponderada ($ISSA_a$).

4 El método de Igual Ponderación (*Equal Weight*, EW) se emplea en los siguientes casos: a) cuando se desea conferir pesos homogéneos a todos los indicadores, b) cuando la falta de conocimiento sobre las relaciones causales del sistema analizado impide el cálculo de estos pesos, o c) cuando la ausencia de consenso sobre las técnicas de ponderación desaconseja el uso de otras ponderaciones alternativas.

juicios de valor u opiniones de expertos o decisores políticos en el análisis. Entre estas técnicas cabe apuntar el análisis de regresión, el análisis envolvente de datos (*Data Envelopment Analysis*, DEA), el análisis factorial (AF) y el análisis de componentes principales (ACP). Por otro lado, las *técnicas normativas*, igualmente denominadas ‘participativas’ o ‘exógenas’, pretenden asignar pesos diferenciados a los indicadores en función de las preferencias expresadas por expertos, decisores políticos o el conjunto de la sociedad, según los casos. Son múltiples igualmente los métodos utilizables para identificar dichas preferencias exógenas y así a partir de las mismas obtener los pesos a asignar a cada uno de los indicadores considerados. Stewart (1992) y Weber y Borcherding (1993) destacan aquéllos basados en los métodos multicriterio, como el proceso analítico jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*, AHP), la asignación directa de puntos, la ponderación *swing*, la ponderación de *trade-offs* y el método SMART.

Ante la tesitura de optar por utilizar métodos de ponderación positivos o normativos, Jacobs et al. (2004) recomiendan que la elección se realice teniendo en cuenta los objetivos perseguidos por el indicador sintético a construir, y que siempre tal decisión se justifique de forma explícita y transparente. Siguiendo estas recomendaciones, para la presente investigación se ha optado por el empleo de una ponderación de tipo normativo. El uso de esta forma de determinar la importancia relativa de los indicadores de base a integrar dentro de los índices de sostenibilidad está justificado en el hecho de que la sostenibilidad debe entenderse como una *construcción social*, cuya conceptualización y operatividad debe basarse en las demandas que la ciudadanía establezca en relación con los bienes y servicios suministrados por la agricultura, tal y como ya se apuntó en el apartado II.1. Por este motivo parece razonable considerar que los indicadores de base sean ponderados sobre la base de las *preferencias sociales* al respecto, que como juicios de valor que son entran dentro del ámbito de lo normativo.

Debe comentarse, no obstante, que el uso de los métodos normativos de ponderación ha sido también objeto de críticas, aduciendo que tales procedimientos introducen cierto grado de arbitrariedad y subjetividad en la ponderación de los distintos indicadores, en función de cómo se realice la elección de los expertos, decisores políticos o representantes sociales. Tal circunstancia, afirman los críticos, puede derivar en ponderaciones e indicadores sintéticos sesgados. En cualquier caso, como se comenta posteriormente, este problema ha sido minimizado en nuestro caso de estudio, estableciendo tales pesos sobre la base de las opiniones de una amplia muestra de individuos, que ha permitido cuantificar con el rigor estadístico necesario las preferencias sociales de la ciudadanía andaluza respecto a la sostenibilidad agraria.

De forma más concreta, para esta investigación se ha optado por aplicar el *Proceso Analítico Jerárquico* (AHP) como técnica de ponderación normativa.

La adecuación de esta técnica a la estructura jerárquica establecida para la aplicación del marco SAFE (ver esquema V.1 sobre aplicación sobre la jerarquía de principios, criterios e indicadores), así la posibilidad de que ésta sea aplicable de forma realista a una muestra grande de personas que no tienen entrenamiento específico en este tipo de métodos, justifican la elección de la misma para su aplicación en esta investigación (Hall et al., 2004).

Las características apuntadas del AHP han hecho que esta técnica se haya utilizado ampliamente en los últimos años al objeto de determinar las preferencias sociales en relación con la actividad agraria y el mundo rural. En esta línea cabe señalar como antecedentes de esta investigación los trabajos de Duke y Aull-Hyde (2002), Gómez-Limón y Atance (2004), Parra-López et al. (2004 y 2005) y Salazar-Ordóñez et al. (2010).

Para una presentación detallada de la metodología AHP, remitimos al lector interesado a Saaty (1980). En todo caso a continuación realizamos una breve explicación de este método, al objeto de hacer más transparente su implementación en esta investigación.

V.1.1 El Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El AHP fue creado por Saaty (1980) como técnica estructurada pero flexible para la toma de decisiones en un contexto multicriterio. Ésta se basa en la formalización intuitiva de los problemas a través una estructura jerárquica de al menos tres niveles: meta final del problema en lo más alto de la jerarquía, los criterios de decisión en un nivel intermedio y las alternativas en la base de la misma. Cuando los criterios de decisión son abstractos o complejos, este nivel intermedio de la jerarquía puede a su vez descomponerse en diferentes niveles de subcriterios ordenados secuencialmente.

Aunque el AHP fue desarrollado inicialmente como una herramienta de soporte a la toma de decisiones complejas (multidimensionales), esta técnica puede emplearse perfectamente para el cálculo de las ponderaciones asociadas a los diferentes indicadores que posteriormente deben integrarse en un indicador sintético (OECD y JCR, 2008)⁵.

De acuerdo con el marco teórico SAFE ya presentado anteriormente, la jerarquía aplicable al caso de estudio que centra este trabajo debe plantearse sobre las bases de cinco niveles:

- a) meta (sostenibilidad global),
- b) objetivos (sostenibilidad económica, social y ambiental),

5 Aplicaciones anteriores de esta técnica de ponderación en el ámbito de la sostenibilidad agraria pueden encontrarse en los trabajos de Pirazzoli y Castellini (2000), Parra-López et al. (2004 y 2005), Gómez-Limón y Riesgo (2009) o Gómez-Limón y Sánchez-Fernández (2010).

- c) principios,
- d) indicadores, y
- e) alternativas (explotaciones cuya sostenibilidad se quiere cuantificar).

Dicha estructura jerárquica puede apreciarse gráficamente en el esquema V.1.

Dentro de esta estructura jerárquica, la importancia relativa o ponderaciones (w_k) de los criterios o subcriterios que cuelgan de un nodo se obtienen sobre la base de comparaciones por pares entre todos ellos. Para la realización de estas comparaciones dos a dos, y determinar así la intensidad de preferencia entre cada par de opciones, Saaty (1980) propone y justifica razonablemente una escala que va de 1 a 9. De esta forma, para determinar las ponderaciones que cuelgan de cada nodo de la jerarquía, los participantes (expertos, responsables políticos, etc.) en un ejercicio de AHP deben realizar las comparaciones por pares necesarias para poder construir la correspondiente matriz de Saaty:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1K} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2K} \\ \dots & \dots & a_{kl} & \dots \\ a_{K1} & a_{K2} & \dots & a_{KK} \end{bmatrix} \quad [V.7]$$

donde a_{kl} representa el valor de comparación entre el (sub)criterio k y el (sub)criterio l y K es el número total de (sub)criterios considerados dentro del nodo. Esta matriz cuadrada reúne dos propiedades fundamentales:

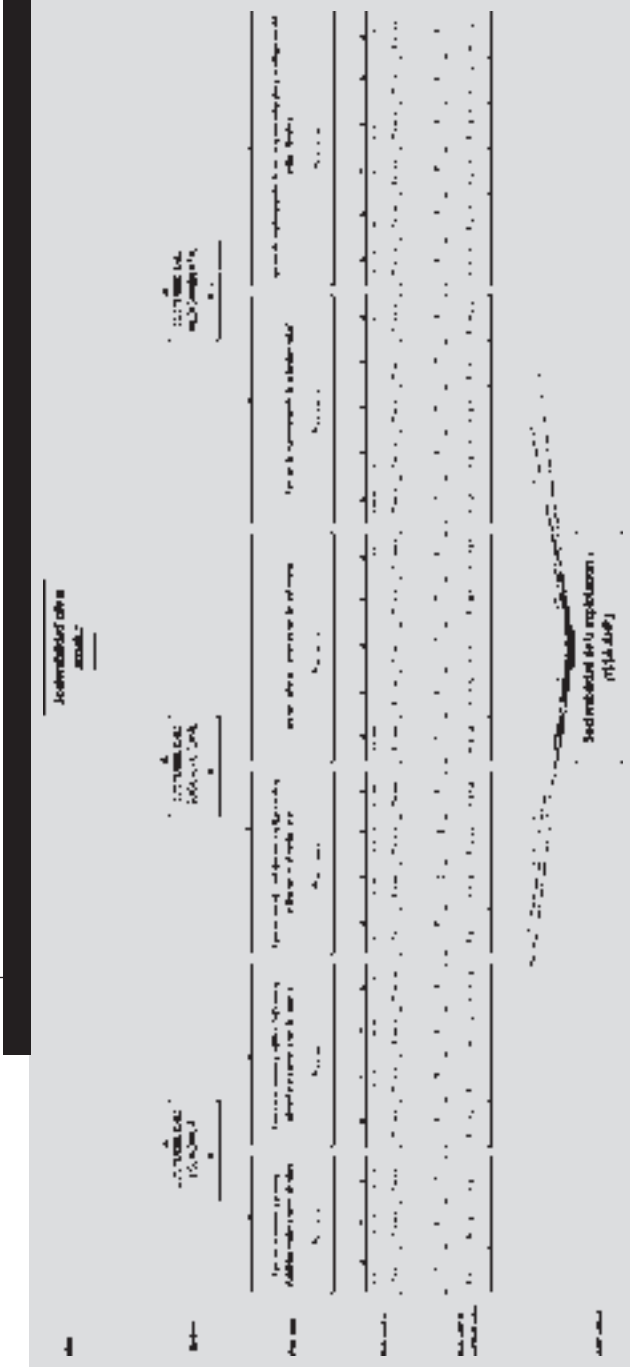
- a) que su diagonal principal está formada por unos ($a_{kk}=1$ para todo k),
- b) que se trata de una matriz en que se verifica la reciprocidad en las comparaciones por pares (si $a_{kl}=x$, entonces $a_{lk}=1/x$).

Por tanto, para su determinación basta con que el participante dé su opinión sobre $n(n-1)/2$ valores de a_{kl} .

Para el caso de perfecta consistencia por parte del participante, se cumple además que $a_{kh} \times a_{hl} = a_{kl}$ para todo k, l y h . Esta característica implica que los valores otorgados a las comparaciones por pares representan en realidad ratios entre las ponderaciones concedidas a los correspondientes (sub) criterios por un participante perfectamente racional: $a_{kl} = w_k/w_l$ para todo k y l . Así, la anterior matriz de Saaty puede también expresarse como sigue:

ESQUEMA V.1

Estructura jerárquica para la aplicación del AHP



Fuente: Elaboración propia.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_K} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_K} \\ \dots & \dots & \frac{w_k}{w_l} & \dots \\ \frac{w_K}{w_1} & \frac{w_K}{w_2} & \dots & \frac{w_K}{w_K} \end{bmatrix} \quad [V.8]$$

Así, en caso de perfecta consistencia del partícipe, las n ponderaciones o pesos (w_k) de cada (sub)criterio podrían fácilmente determinarse a partir de los $n(n-1)/2$ valores de a_{kl} que éste ha declarado. Sin embargo, la perfecta consistencia raramente se da en la realidad cuando la subjetividad entra en juego. Por ello, para las matrices de Saaty ($A=a_{kl}$) que presenten cierto grado de inconsistencia, se han propuesto diferentes técnicas destinadas a estimar el vector de prioridades ($w_1, \dots, w_k, \dots, w_n$) que mejor se adapte al vector real de ponderaciones del partícipe.

El cualquier caso, conviene aclarar a este respecto que un grado de inconsistencia demasiado grande en las matrices de Saaty no puede ser admitido. Efectivamente, una inconsistencia elevada en las respuestas ofrecidas por un partícipe implicaría, o bien una falta de racionalidad de éste, o bien una falta de interés en el correcto desarrollo del ejercicio (respuestas poco meditadas o incluso aleatorias). Cualquiera que sea el caso, dichas opiniones no deberán tenerse en cuenta para la obtención de las correspondientes ponderaciones; los pesos que potencialmente cabría calcular a partir de tales respuestas serían irrelevantes, dada su falta de rigor. Al objeto de cuantificar el grado de inconsistencia de la matriz A , puede emplearse el denominado Ratio de Consistencia (CR). Según el Saaty (1980), el valor máximo que este ratio puede tomar es de 0,10. Valores superiores implicaría que las respuestas del partícipe deben desecharse, al no poderse considerar lo suficientemente racionales.

Una vez verificado que el CR es inferior al valor crítico antes comentado, debe procederse a estimar el vector de ponderaciones. Para este propósito, el propio Saaty (1980 y 2003) propone los métodos de la media geométrica y del vector propio principal. Otros autores han propuesto igualmente métodos alternativos, destacando los basados en la media geométrica por filas (Barzilai et al., 1987 y Barzilai, 1992), en la programación por metas (Bryson, 1995) o en regresiones (Laininen y Hämäläinen, 2003). Aunque los resultados obtenidos por los diferentes métodos de estimación puedan diferir, en la literatura no se encuentra evidencia alguna sobre la superioridad absoluta de uno de ellos respecto a los otros (Fichtner, 1986).

Dada la adecuación de todos ellos para la estimación de prioridades antes referidas, en este trabajo se ha optado por el método operativo más simple, como es el de la media geométrica por filas (Aguarón y Moreno-Jiménez, 2000). Así, el cálculo de los pesos particulares que cada partícipe p asigna a los diferentes (sub)criterios k (w_{kp}) se realiza a través de la siguiente expresión algebraica:

$$w_{kp} = \sqrt[k]{\prod_{l=1}^{k=K} a_{klp}} \quad [\text{V.9}]$$

donde a_{klp} representa el valor de la comparación entre el (sub)criterio k y el (sub)criterio l realizado por el partícipe p .

Es importante aclarar en cualquier caso que el método comentado hasta el momento permite el cálculo de los pesos de los diferentes (sub)criterios que cuelgan de un nodo concreto. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la estructura jerárquica planteada (véase esquema V.1) dispone en total de 10 nodos: un nodo de primer orden del que cuelga los tres objetivos (sostenibilidad económica, social y ambiental), tres nodos de segundo orden de los que depende dos principios diferentes, y seis nodos de tercer orden de los que cuelgan un número variable de indicadores. Así pues, la determinación del conjunto de pesos de toda la estructura exige el plantear 10 ejercicios diferenciados de comparación por pares, la construcción de las correspondientes matrices de Saaty y la estimación de los vectores de pesos en cada caso.

En principio esta técnica del AHP se pensó para decisores individuales, pero pronto se extendió como técnica válida para la decisión de grupos (Easley et al., 2000). Este último caso, como a continuación se explica, es el que ha de aplicarse en este trabajo. Efectivamente, las ponderaciones a utilizar en la investigación requieren considerar las opiniones de un conjunto de personas (p), a partir de las cuales se han obtenido de forma individualizada las correspondientes matrices de comparación por pares ($A_p = a_{klp}$) y las correspondientes ponderaciones (w_{kp}). Esta información individual ha tenido que ser tratada adecuadamente para poder obtener la oportuna síntesis de ponderaciones a nivel agregado (w_k). En este sentido, cabe señalar que esta síntesis se ha realizado siguiendo los procedimientos propuestos por Forman y Peniwati (1998). Según estos autores, para decisiones de grupo en el ámbito social (basadas en opiniones o preferencias de carácter subjetivo) se recomienda el método de *agregación de ponderaciones individuales* (w_{kp}) estimado a través de la media geométrica:

$$w_k = \sqrt[p]{\prod_{p=1}^{p=P} w_{kp}} \quad [\text{V.10}]$$

Por el contrario, para decisiones de grupo de carácter eminentemente técnico (basadas en información de carácter objetivo), el método que estos mismos autores sugieren es la *agregación de juicios individuales* (a_{klp}) a través también de la media geométrica:

$$a_{kl} = \sqrt[p]{\prod_{p=1}^{p=P} a_{klp}} \quad [V.11]$$

Con los valores resultantes de a_{kl} se puede estimar la correspondiente la matriz de Saaty agregada. A partir de ésta se podrán estimar los oportunos pesos, que serán las correspondientes ponderaciones agregadas (w_k).

Llegados a este punto es necesario especificar qué personas se han considerado las más adecuadas para realizar las ponderaciones requeridas para la construcción de los Indicadores Sintéticos de Sostenibilidad Agraria (ISSA). En este sentido, de acuerdo a lo comentado anteriormente, para este trabajo se ha considerado que la importancia relativa de los objetivos (importancia de la sostenibilidad económica, social y ambiental sobre la sostenibilidad global del olivar) y de los principios (funciones concretas a desempeñar por los sistemas de olivar) debe determinarla el conjunto de la sociedad que alberga el sistema agrario objeto de estudio. Con ello se asume, como ya se indicaba en la introducción, que la sostenibilidad es una construcción social. Con este propósito se ha desarrollado una *encuesta de opinión pública* para que una muestra representativa de la ciudadanía andaluza exprese sus preferencias sobre los bienes y servicios públicos que el olivar de la Comunidad Autónoma debe suministrar (ver apartado VI.4). El núcleo del cuestionario en que se ha basado esta encuesta ha estado compuesto por las comparaciones por pares necesarias para poder construir las matrices individuales de Saaty ($A_p = a_{klp}$) del nodo de primer orden (una matriz de 3x3) y las de los tres nodos de segundo orden (tres matrices de 2x2) para cada entrevistado. Dado el carácter subjetivo de las preferencias reflejadas en las matrices de Saaty individuales, el procedimiento de agregación seguido para obtener las preferencias del conjunto de la sociedad andaluza (w_k) ha sido el de agregación de ponderaciones individuales (w_{kp}) a través de la media geométrica (véase ecuación [V.10]).

Por el contrario, la ponderación de los indicadores en relación con sus correspondientes principios, dado su carácter eminentemente técnico, se ha considerado más adecuado que se base en la opinión de un *panel de expertos* en temas relacionados con la sostenibilidad del olivar. En este caso dicho panel ha sido el mismo que ha colaborado en la investigación participando en la selección del plan de indicadores de sostenibilidad (ver apartado VI.5). Con este fin, se ha diseñado igualmente un cuestionario a responder por los expertos del panel, a través del cual se han recopilado las opiniones (comparaciones por pares) individuales necesarias para construir las seis matrices de Saaty ($A_p = a_{klp}$) correspondientes al nivel más

bajo de la jerarquía (una matriz de 3×3, dos de 4×4, dos matrices de 5×5 y una última de 6×6). En este caso, dado que se tratan de ponderaciones de carácter técnico, el proceso para obtener los pesos del conjunto del panel (w_k) ha sido la agregación de juicios individuales (a_{kjp}) a través de la media geométrica y la posterior estimación de ponderaciones a partir de las correspondientes matrices de Saaty grupales (véase ecuación [V.11]).

Finalmente debe comentarse que la estructura jerárquica del AHP exige que los pesos obtenidos en cada nivel de la misma se normalicen para que sumen siempre la unidad. Esta circunstancia es de especial relevancia en el nivel jerárquico de los indicadores, pues son estos pesos normalizados (w_k^*) los que van a emplearse en el cálculo de los indicadores sintéticos basados en esta técnica de ponderación. En este sentido conviene aclarar que estos pesos normalizados resultan de multiplicar los pesos derivados de cada indicador respecto al resto de indicadores que cuelgan del mismo nodo por las ponderaciones de los (sub)criterios jerárquicamente superiores (en nuestro caso, por los pesos de sus correspondientes principios y objetivos). Así por ejemplo, el peso normalizado del primero de los indicadores (*RENTOLIV*) se obtendrá de la siguiente forma: $w_{RENTOLIV}^* = W_{RENTOLIV} \times W_{eco_privada} \times W_{eco}$.

V.6 Resumen de las metodologías a aplicar para el cálculo de los ISSA

Calculados así los pesos normalizados w_k^* , cabe comentar que la resolución de problemas a través de la técnica AHP es equivalente a la optimización de una función de utilidad multiatributo, tal y como demuestra Zahedi (1987). Así, tradicionalmente el AHP se ha venido asociando bien a una función de utilidad aditiva (Kamenetzky, 1982) o multiplicativa (Barzilai y Golani, 1994):

$$U_{aditiva}(x_i) = \sum_{k=1}^{k=n} w_k^* \cdot U_k(x_i) \quad [V.12]$$

$$U_{multiplicativa}(x_j) = \prod_{i=1}^{i=n} U_i(x_j)^{w_i^*} \quad [V.13]$$

donde $U(x_j)$ es la utilidad total proporcionada por la alternativa i , w_k^* es el peso normalizado de los atributos considerados, y $U_k(x_j)$ representa la utilidad parcial proporcionada por el atributo k en la alternativa i . Adaptando esta misma formulación a nuestro caso, el cálculo de los ISSA pueden realizarse a través de las siguientes expresiones:

$$ISSA_{a_i} = \sum_{k=1}^{k=K} w_k^* \cdot I_{ki} \quad [V.14]$$

$$ISSA_{m_i} = \prod_{k=1}^{k=K} I_{ki}^{w_k^*} \quad [V.15]$$

donde $ISSA_{a_i}$ y $ISSA_{m_i}$ son los índices que cuantifican la sostenibilidad global aportada por la explotación i , w_k^* es el peso normalizado del indicador k , e I_{ki} representa el valor igualmente normalizado del indicador k para la explotación i .

De la misma forma los pesos w_k^* derivados de la metodología AHP pueden a ser empleados para la aplicación del método de agregación multicriterio, siguiendo para ello la expresión siguiente:

$$ISSA_{mcdm_i(\lambda)} = (1 - \lambda) \left[\underset{k}{Min} (w_k^* \cdot I_{ki}) \right] + \lambda \sum_{k=1}^{k=K} w_k^* I_{ki} \quad [V.16]$$

Como ya se ha comentado, la aplicación conjunta de todas estas opciones metodológicas de agregación va a permitir calcular siete indicadores sintéticos de sostenibilidad agraria diferentes ($ISSA_{a_i}$, $ISSA_{m_i}$ y $ISSA_{mcdm_i(\lambda)}$ para valores de λ iguales a 0, 0,25, 0,5, 0,75 y 1). Con ello se pretende, como ya se ha comentado, ganar en información, al objeto de poder realizar los oportunos análisis comparativos y poder llegar a conclusiones más robustas.