

# LA SOSTENIBILIDAD DE LAS ACTIVIDADES TURÍSTICAS, UN APORTE DESDE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

Víctor Ernesto Pérez León<sup>\*</sup>, Rafael Caballero Fernández<sup>\*\*</sup>, María Amparo León Sánchez<sup>\*</sup>; Mercedes González Lozano<sup>\*\*</sup> y Alain Hernández Santoyo<sup>\*1</sup>.

<sup>\*</sup>Departamento De Matemáticas, Universidad de Pinar del Río, Cuba.

<sup>\*\*</sup>Departamento De Economía Aplicada (Matemáticas), Universidad de Málaga, España.

## ABSTRACT

Nowadays the tourism is presented as development alternative for many economies, recognized as one of the most increasing economical activities in last years. In spite of their grateful advantages, it affects the environment where it takes place and that's the reason for which some instruments have been designed to guarantee its sustainability.

In this work we present two applications of the operational research for decision making related to the tourist sustainability. The first one refers to the localization of new tourist products based on a multicriteria approach where economic and ecological aspects of interest are taking into account for the decision maker. In the second, a new methodology is presented for the construction of composite indicators to measure the sustainability in the Cuban nature destinations, these index are obtained by means of Principal Component Analysis (PCA), distance to a reference point and Data Envelopment Analysis (DEA).

**Keywords:** Tourist sustainability, Discrete Multicriteria Programming, Data Envelopment Analysis.

## RESUMEN

En la actualidad el turismo se presenta como alternativa de desarrollo para muchas economías, producto de lo cual constituye una de las actividades económicas de mayor crecimiento en los últimos años. A pesar de sus reconocidas ventajas, provoca afectaciones al entorno donde tiene lugar, producto de lo cual se han diseñado instrumentos para garantizar su sostenibilidad.

En el presente trabajo se presentan dos aplicaciones de la investigación de operaciones para la toma de decisiones en cuanto a la sostenibilidad turística. La primera se refiere a la localización de nuevos productos turísticos mediante un enfoque multicriterio, donde se tienen en cuenta aspectos económicos y ecológicos de interés para el centro decisor. En la segunda se presenta una nueva metodología para la construcción de indicadores sintéticos de sostenibilidad para las zonas de turismo de naturaleza de Cuba, confeccionada mediante el Análisis de Componentes Principales, la distancia a una situación de referencia y el Análisis Envolvente de Datos.

**Palabras Clave:** Sostenibilidad turística, Programación Multicriterio Discreta, Análisis Envolvente de Datos.

## 1. INTRODUCCIÓN

A pesar de sus reconocidas ventajas, el turismo provoca daños al medio ambiente en el entorno donde tiene lugar; además, ocurre en zonas que sobresalen como las más frágiles, desde el punto de vista ecológico (Williams y Ponsford, 2009), motivos por los cuales el término “turismo sostenible” ha surgido como un concepto importante en el intento de integrar ambientalmente el turismo y el desarrollo, pues las consecuencias que trae consigo el rápido crecimiento de esta actividad, no pueden ser ignoradas por mucho tiempo (Gössling et al., 2002; Yildirim et al., 2008).

---

<sup>1</sup> e-mail: [vp\\_leon@mat.upr.edu.cu](mailto:vp_leon@mat.upr.edu.cu), [rafael.caballero@uma.es](mailto:rafael.caballero@uma.es), [maleon@mat.upr.edu.cu](mailto:maleon@mat.upr.edu.cu), [m\\_gonzalez@uma.es](mailto:m_gonzalez@uma.es), [santoyocu@mat.upr.edu.cu](mailto:santoyocu@mat.upr.edu.cu)

Es por ello que, en los últimos años, la medición de la sostenibilidad turística ha pasado a ser uno de los temas más tratados en la literatura, respondiéndose así a la necesidad de desarrollar medidas adecuadas del grado de sostenibilidad mediante la valoración de las interacciones entre los aspectos que determinan dicho objetivo (Pulselli et al., 2006).

El presente estudio tiene como objetivo, presentar las contribuciones de la Programación Matemática a los estudios encaminados a la medición de la sostenibilidad turística, mediante la descripción de varias investigaciones relacionadas con la temática. De este modo, se garantiza que en el proceso de toma de decisiones se tengan en consideración aspectos económicos, sociales y ambientales, representativos de las necesidades de los implicados en el desarrollo del sector. Para ello, en la segunda sección se describe el procedimiento de selección multicriterio de nuevos productos turísticos en Pinar del Río, Cuba. En la sección 3 se comenta la aplicación de la programación matemática en la construcción de indicadores sintéticos de sostenibilidad, y en la sección 4 se presentan las conclusiones de la investigación.

## **2. LOCALIZACIÓN MULTICRITERIO DE NUEVOS PRODUCTOS TURÍSTICOS EN PINAR DEL RÍO, CUBA.**

El primer estudio se centra en la necesidad del Ministerio de Turismo de Cuba (MINTUR), de diversificar la oferta turística para aumentar los ingresos derivados de esta, para lo cual se propone elevar la estancia promedio de los visitantes a la provincia, mediante la elaboración de nuevos productos turísticos. Actualmente no se cuenta con el capital suficiente para desarrollarlos todos, por lo cual se precisa seleccionar uno que será puesto en marcha inicialmente y, manteniendo su desarrollo y utilización de forma sostenible, lograr la generación de los ingresos necesarios para la implementación de los restantes productos.

Los cuatro nuevos productos y el municipio en que tendrán lugar son los siguientes:

- ✓ Centro de Buceo en Cayo Jutías. Minas de Matahambre.
- ✓ Pesca recreativa de Black Bass. Complejo Cuyaguaje, Guane y Sandino.
- ✓ Excursión a Cayo San Felipe. La Coloma, Pinar del Río.
- ✓ Sendero de observación de Aves. Finca San Vicente, Viñales.

De este modo, el objetivo consiste en la selección del producto turístico (alternativa) a desarrollar de forma inicial, para ello, se tuvieron en cuenta varios criterios, principalmente de corte económico y ecológico, de interés para el centro decisor. Dichos criterios están representados por indicadores de sostenibilidad. Estos son: los ingresos esperados, la oferta turística, la capacidad de alojamiento, la capacidad de carga y el número de proyectos de investigación sobre el medio ambiente en el área, como se muestra en (Pérez et al., 2008).

### **2.1 Planteamiento del problema**

En el problema se pretende la maximización simultánea de todos los objetivos, aspecto que es usualmente imposible, dada la existencia de cierto grado de conflicto entre los criterios, lo que demuestra el carácter multiobjetivo, al no existir una alternativa que domina al resto. Aplicaciones similares pueden encontrarse en Current et al., (1990), donde se revisan aspectos multiobjetivo en problemas de localización. De este modo, el problema consiste en la selección del primer producto turístico que entrará en vigor. Se

seleccionará de entre las  $s$  alternativas (productos que conforman el conjunto  $J$ ). Las variables del modelo son las  $y_j$ ; variables binarias que se encuentran asociadas a los productos (tomarán valor 1 si es seleccionado el producto  $j$  con  $j \in J$ , y 0 en caso contrario).

Definición de los criterios:

✓ Ingresos esperados: Mide el comportamiento general de la industria turística, y es de relevante importancia, puesto que la información contenida en este criterio se recaba durante el proceso de planificación y puede ser empleada como referencia para los planificadores.

$$\text{Max} \sum_{j=1}^s p_j d_j y_j, \text{ donde}$$

$p_j$  son los precios correspondientes a cada producto  $j$  ( $j=1, \dots, s$ ),

$d_j$  representa la demanda que tiene este producto  $j$  ( $j=1, \dots, s$ ).

✓ Oferta turística: Este criterio es distintivo de la gama de servicios turísticos que se ofrecen, permite analizar los atractivos de que se dispone para convertirse en un destino de referencia.

$$\text{Max} \sum_{j=1}^s o_j y_j, \text{ donde}$$

$o_j$  es la cantidad de atracciones que componen la oferta turística de la alternativa  $j$  ( $j=1, \dots, s$ ).

✓ Capacidad de alojamiento: Este es uno de los mecanismos más importantes para controlar eficazmente la presión humana sobre los recursos. La falta de este control produce insostenibilidad.

$$\text{Max} \sum_{j=1}^s c_j y_j, \text{ donde}$$

$c_j$  es la cantidad de habitaciones disponibles en el municipio donde se desarrollará el producto  $j$  ( $j=1, \dots, s$ ).

✓ Capacidad de carga: Este criterio se emplea para indicar a cuántos turistas se pueden dar cabida en un determinado lugar o zona sin dañarlo o sin menoscabar el grado de satisfacción de los visitantes OMT (2004).

$$\text{Max} \sum_{j=1}^s k_j y_j, \text{ donde}$$

$k_j$  representa la capacidad de carga del sitio en que tendrá lugar el producto  $j$  ( $j=1, \dots, s$ ).

✓ Número de proyectos de investigación sobre el medio ambiente en el área. Este es indicador demuestra el interés y a preocupación por el medioambiente en el área (Farsari y Prastacos, 2000; OMT, 2004).

$$Max \sum_{j=1}^s h_j y_j, \text{ donde}$$

$h_j$  es el número de proyectos de investigación sobre el medio ambiente que se han llevado a cabo en el municipio donde tendrá lugar el producto  $j$  ( $j=1, \dots, s$ ).

Se requiere una restricción adicional al problema, dada la necesidad de que sea solo uno el producto turístico seleccionado, debido a la disponibilidad de capital, acompañada de la condición de dicotomía de las variables binarias.

$$\sum_{j=1}^s y_j = 1$$

$$y_j \in \{0,1\} \forall j \in J$$

## 2.2 Metodología

Para lograr el objetivo se aplican Técnicas de Decisión Multicriterio Discreta, que hasta el momento no han sido empleadas para resolver problemáticas de este tipo en Cuba, por lo que este trabajo supone la primera experiencia cubana al respecto. En concreto nos enfrentamos a un problema multiobjetivo, pues el contexto decisional está definido por una serie de objetivos (criterios) a optimizar que deben satisfacer un conjunto de restricciones. (Romero, 1993). El problema será resuelto aplicando tres algoritmos diferentes con el objetivo de comparar las soluciones obtenidas: Los métodos PROMETHEE, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT).

### 2.2.1 Método PROMETHEE

PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations), propuesto por Brans et al. (1986), permite ofrecer una ordenación parcial o total de las alternativas, admite la existencia de alternativas incomparables y conduce al decisor a investigar bajo qué criterios estas evidencian un buen comportamiento y bajo cuáles su desempeño es ineficiente.

Para la localización de un único producto turístico se aplica el método PROMETHEE mediante el software Decisión Lab. La solución está dada por la información adicional requerida por el método PROMETHEE: Información entre los distintos criterios (intercriterios) e información propia de cada criterio (intracriterio).

La información entre los distintos criterios consiste en el establecimiento de pesos o ponderaciones que reflejan la importancia relativa que el decisor asigna a cada uno de ellos. Para determinarlos se emplea el programa Expert Choice, basado en la metodología AHP (Analytic Hierarchy Process), (Saaty, 1977).

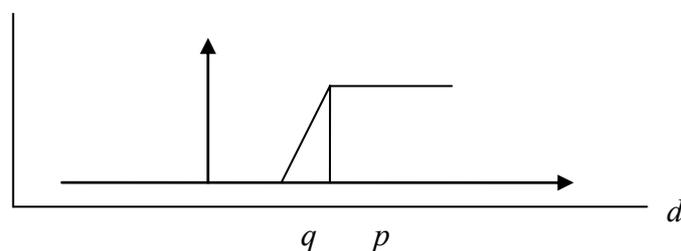
Este procedimiento compara los criterios, dos a dos, asignando a cada una de las comparaciones un valor entre 9 y 1, de acuerdo con la importancia relativa que, para el decisor, tenga un criterio frente a otro. Esta forma de mostrar las preferencias resulta fácil e intuitiva para el decisor (León y Domínguez, 2002), puesto que no tiene que tener en mente más que dos criterios cada vez. Con esta información se construye la matriz de comparaciones binarias de los criterios. Esta verifica que  $a_{ij}=1/a_{ji}$ , es decir, que si el criterio  $i$ -ésimo es  $k$  veces más preferido que el criterio  $j$ -ésimo, entonces el criterio  $j$ -ésimo es  $1/k$  veces más preferido que el criterio  $i$ -ésimo.

En nuestro caso, las comparaciones dieron como resultado iguales ponderaciones para los criterios capacidad de carga y el número de proyectos de investigación, que fueron a su vez los de mayor fortaleza, con 0.283. De igual modo, los criterios ingresos y oferta turística, tienen la misma ponderación, aunque con un valor menor que los dos anteriores, en este caso 0.163. Luego aparece la capacidad de alojamiento, con una ponderación de 0.109. Estos resultados demuestran que el centro decisor le confiere más importancia a los criterios de orden ecológico que a los económicos, y el ratio de inconsistencia es de 0.02, inferior a 0.1, por lo cual el resultado se considera como aceptable para realizar el análisis posterior.

Para encontrar el ranking se utilizó el paquete Decision Lab (2000), que permite obtener una ordenación parcial o total de las alternativas de decisión. Para ello, se modelizan las preferencias dentro de cada criterio, asignando a cada uno un criterio generalizado que se obtiene fijando una función de preferencia para cada criterio

Las funciones de preferencia se definen para dos alternativas cualesquiera entre el total. Estas funciones evaluadas en cada alternativa, permiten comparar cada una con las demás, de forma que sus diferencias sirvan para establecer relaciones de orden completo (PROMETHEE II) o parcial, entre ellas (PROMETHEE I).

Se seleccionan las funciones de preferencia a utilizar, a partir de 6 tipos básicos (Brans y Vincke, 1985; Brans et al.1984, 1986). El decisor es quien decide cuál de los diferentes tipos va a usar y cuál es el valor a asignar a los umbrales correspondientes. En el presente estudio se han seleccionado todas del tipo lineal, pues son de fácil comprensión para el centro decisor, suelen ser las más utilizadas, y son aquellas que mejor se adaptan el problema en cuestión. El siguiente gráfico (*Gráfico 1*) representa este tipo de función.



*Gráfico 1: Criterio Tipo Lineal.*

Los criterios de tipo lineal necesitan dos parámetros de decisión: el umbral de indiferencia  $q$  y el umbral de preferencia  $p$ . Estos tienen un significado real para el decisor, pues puede fijarlos libremente, de acuerdo a sus preferencias. De este modo se podrá establecer una comparación de acuerdo con el valor de los parámetros. Cuando la

diferencia entre el valor de dos localizaciones es menor que  $q$ , existe una situación de indiferencia, por lo cual la función de preferencia toma valor 0, mientras que cuando la diferencia es mayor que  $p$ , se evidencia una preferencia estricta y la función toma valor 1. Siempre que las diferencias se encuentren entre  $q$  y  $p$ , se evidencia una preferencia débil con un valor entre 0 y 1.

Para el problema que se aborda, la elección de los umbrales se realiza a partir de la observación del rango de variación para cada uno de los criterios. Seguidamente se calculan las desviaciones que existen entre todas las alternativas para cada uno de los criterios, comparando cada alternativa con las restantes.

El resultado obtenido se refleja en el gráfico 2, donde el producto “Pesca recreativa de Black Bass” sobresale como la mejor alternativa. Solo se presenta la ordenación total (PROMETHEE II) debido a que no existen alternativas incomparables.

PROMETHEE II

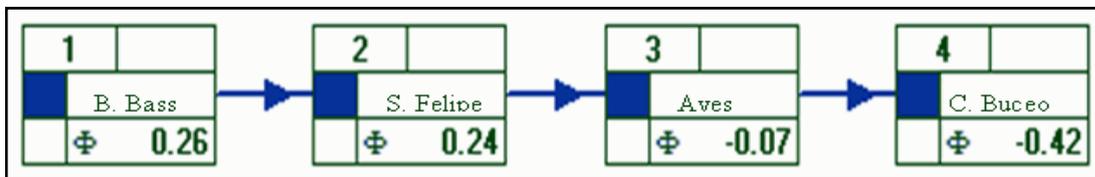


Gráfico 2: Ordenación total.

Mediante el análisis de los perfiles de las alternativas se pueden establecer comparaciones que dan mayor fiabilidad a la selección que se desea realizar, pues permiten determinar la potencialidad de los atributos en cada una, por ejemplo, para la alternativa pesca de Black Bass los valores de los atributos ingresos, oferta turística y proyectos de investigación se encuentran por encima de la media de los valores de estos criterios, y la capacidad de alojamiento y la capacidad de carga se encuentran por debajo (Gráfico 3).

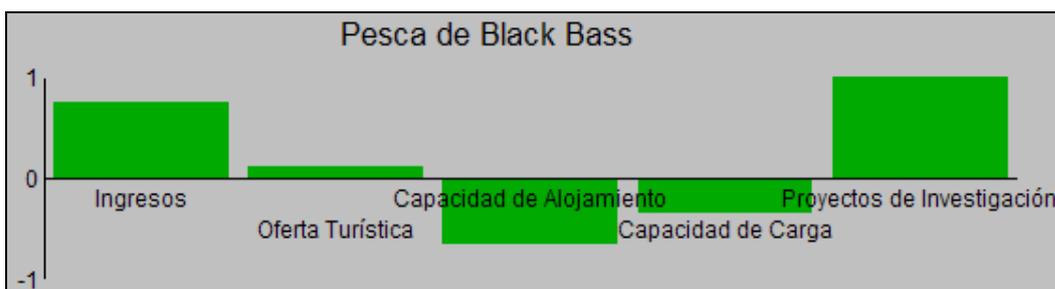


Gráfico 3: Perfil de Pesca de Black Bass.

Los criterios representados por ejes en direcciones similares, en el plano GAIA, expresan preferencias afines, mientras que los que se encuentran en direcciones opuestas corresponden a criterios en conflicto entre sí. La longitud de los ejes es una medida del poder de discriminación de los criterios respecto al conjunto de alternativas.

Los criterios ingresos y oferta turística se encuentran en conflicto, pues sus vectores unitarios tienen direcciones opuestas. Otro par de criterios que están en conflicto

también son la capacidad de alojamiento y el criterio número de proyectos de investigación (Gráfico 4).

La calidad de la información que se brinda está directamente relacionada con el porcentaje  $\Lambda$ , que explica la cantidad de información que conserva el plano. En este caso el plano explica el 78,16% de la variabilidad. Como  $\Lambda$  es superior al 70%, podemos concluir con la afirmación de que el plano ofrece una representación bastante fiable del problema de decisión al que se enfrenta el Grupo Extrahotelero Palmares.

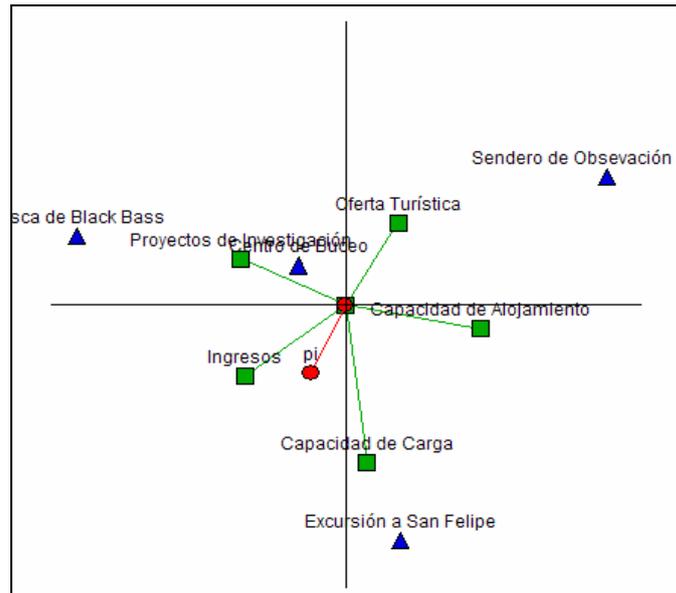


Gráfico 4: Plano GAIA.

El análisis de sensibilidad de los pesos arrojó que el correspondiente a la capacidad de alojamiento puede disminuir hasta cero y no provocaría cambios en la solución, sin embargo, un aumento de tan solo 0,0213 unidades del valor original de su peso, provocaría variación en la solución. En cambio, el criterio proyectos de investigación solo puede disminuir el valor de su peso en 0,0166 sin que varíe la solución; pero, puede aumentar de forma indefinida y el resultado sería el mismo (Tabla 1).

Tabla 1: Intervalos de estabilidad para las ponderaciones.

Criterios	Absolute values			Relative values (%)		
	Weight	Min	Max	Weight	Min	Max
<b>Ingresos</b>	0.1630	0.1058	11.742	16.28%	11.21%	66.02%
<b>Oferta Turística</b>	0.1630	0.1132	0.4449	16.28%	11.90%	34.68%
<b>Capacidad de Alojamiento</b>	0.1090	0.0000	0.1303	10.89%	0.00%	12.75%
<b>Capacidad de Carga</b>	0.2830	0.0481	0.2996	28.27%	6.28%	29.44%
<b>Proyectos de Investigación</b>	0.2830	0.2664	Infinity	28.27%	27.06%	100.00%

### 2.2.2 Resolución mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

La metodología AHP permite ordenar las alternativas de acuerdo a las preferencias del centro decisor; esto se lleva a cabo estableciendo una comparación para cada par de alternativas con respecto a cada criterio. Luego, es posible visualizar el peso total asignado a cada una de las alternativas, resultando como mejor solución, aquella que mayor ponderación obtenga.

Aplicándolo a nuestros datos mediante el empleo del programa Expert Choice se obtuvo la misma ordenación dada por PROMETHEE II, con lo cual se obtuvo un índice de inconsistencia de 0.04, lo que nos permite calificar de aceptable el resultado obtenido. (Gráfico 5).

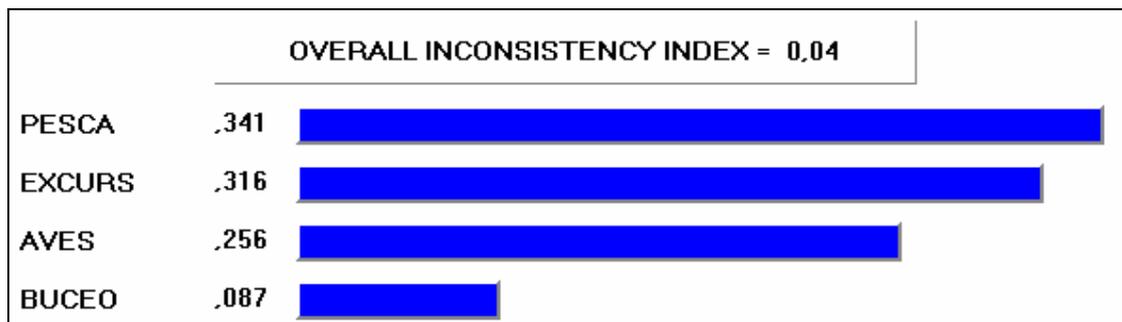


Gráfico 5: Ordenación de las alternativas mediante AHP.

### 2.2.3 Resolución mediante la Teoría de la Utilidad Multiatributo MAUT

El problema se aborda, desde la Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT), con el fin de realizar un análisis más consistente. Esta teoría ha sido desarrollada especialmente por Keeney y Raiffa (1976, 1993), a partir de la teoría de utilidad unidimensional de Von Neumann y Morgenstern (1944), con el objetivo de expresar las preferencias del centro decisor en términos de la utilidad que le reporta. En particular, empleamos la función de utilidad aditiva.

La función de utilidad multiatributo asocia un número real (que representa la utilidad) a cada alternativa. De este modo se logra llegar a una ordenación completa del conjunto de alternativas, en la cual, las diferencias que surjan entre las alternativas quedarán valoradas, debido a que se considera la suma ponderada de las utilidades parciales en cada uno de los criterios de las distintas alternativas.

La valoración de las distintas alternativas (función de utilidad), en este caso, resulta de sumar las contribuciones de cada uno de los atributos considerados, adecuadamente ponderados en función de su importancia. Para el problema que se trata, se tienen cinco criterios, por lo cual la función de utilidad aditiva ponderada se expresa como:

$$U(r_j) = \sum_{i=1}^5 w_i u_i(r_j) \quad i = 1, \dots, 5, \text{ donde}$$

$U(r_j)$  es el valor de la utilidad de la alternativa  $r_j$ , ( $j=1, \dots, s$ ),

$w_i$  es la ponderación o peso asignado al atributo  $i$ , ( $i=1, \dots, 5$ ),

$u(r_i)$  es el valor de la utilidad aditiva del atributo  $i$  para la alternativa  $r_j$ .

Se transforman los datos referentes a cada criterio en utilidades para el decisor y se realiza la suma ponderada. Las funciones de utilidad, para todos los criterios, se consideran lineales, con valores comprendidos en el intervalo  $[0,10]$ , teniendo un mínimo en el valor 0 y un máximo en el valor 10. El gráfico 6 proporciona la ordenación mediante los valores de las sumas ponderadas. El orden de las alternativas se comporta de igual forma que en los métodos anteriores.

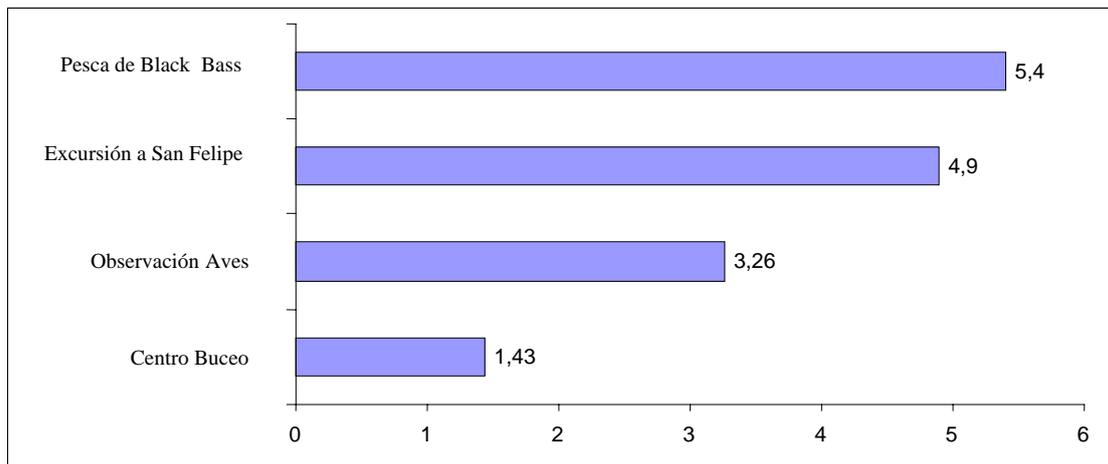


Gráfico 6: Ordenación mediante MAUT.

### 3. INDICADORES SINTÉTICOS PARA MEDIR LA SOSTENIBILIDAD EN LOS DESTINOS DE TURISMO DE NATURALEZA DE CUBA.

En términos de sostenibilidad turística, los indicadores son reconocidos como aquellas características que pueden ser medidas, cuyos niveles absolutos y la dirección en que cambian, tienen como finalidad indicar si un destino analizado presenta una situación más o menos sostenible. Cada uno representa un aspecto de la sostenibilidad, y pueden ser analizados individualmente (enfoque no agregativo) o de conjunto (enfoque agregativo) (Blancas et al., 2010). Para una mayor comprensión del fenómeno se emplean los indicadores sintéticos (*IS*), definidos como la combinación o agregación matemática de los indicadores individuales que representan diferentes dimensiones del concepto cuya descripción es objeto de análisis (Saisana y Tarantola, 2002).

Actualmente existe una gran variedad de métodos para construir los *IS* (OCDE, 2008), y dependen más de las habilidades del modelador que de las reglas aceptadas para su creación (Nardo et al., 2005); por ello, ante la inexistencia de un marco teórico que permita identificar el método más acertado, quedan a elección del analista los procedimientos que serán empleados para su creación, como la determinación de los pesos, el procedimiento de normalización, y la agregación.

En ese sentido, se propone una nueva metodología para construir *IS* mediante la combinación de varias técnicas de programación matemática: Análisis de Componentes Principales (ACP) (técnica estadística de análisis multivariante), la distancia a una situación de referencia (programación multiobjetivo), y Análisis Envolvente de Datos (DEA) técnica de programación lineal).

### 3.1 Procedimiento

El estudio comprende la medición de la sostenibilidad para 15 destinos de turismo de naturaleza, que constituyen la oferta de esta modalidad turística en Cuba. Se obtuvieron 39 indicadores, representativos del concepto de desarrollo sostenible de la OMT, de ellos, 11 sociales, 14 económicos y 14 patrimoniales. Estos últimos, abarcan lo referente al medio natural y cultural. Los indicadores fueron cuantificados de acuerdo a las diferentes fuentes estadísticas de información disponibles y mediante la aplicación de dos encuestas: una a los pobladores de las diferentes zonas, y otra a los visitantes.

### 3.2 Metodología

La nueva metodología está compuesta por dos fases de agregación, con el objetivo de realizar un análisis más detallado. La primera fase propone la obtención de un *IS* para cada dimensión del concepto analizado, mientras que la segunda fase constituye el cálculo de un indicador sintético global (*ISG*) para cada destino bajo consideración.

#### 3.2.1 indicadores sintéticos dimensionales. Primera fase de agregación.

Para la primera fase se propone la obtención del Indicador Sintético de Distancia por Componentes Principales (DCP), que nace de la combinación del análisis de componentes principales ACP (Técnica de análisis multivariante) y el concepto de distancia a un punto de referencia (Filosofía de la decisión multicriterio) (Figueira et al., 2005), propuesto por Lozano et al., (2009) y Blancas et al., (2010). La elección está dada para aprovechar las potencialidades del ACP para obtener de forma endógena las ponderaciones; mientras que, el concepto de distancia a un punto de referencia facilita la interpretación de los resultados, al poder fijar todas las unidades con relación a este; así, el valor que se obtenga le permitirá al usuario determinar cuán distante está de la situación que se considere la mejor. Para la *i*-ésima unidad este se calcula como:

$$DCP_i = \sum_{j=1}^m \left[ XN_{ij} \left( \sum_{q=1}^Q VE_q |Corr_{qj}| \right) \right]$$

Para  $i=1,2,\dots,n$ , donde  $n$  es el número de unidades,  $m$  el número de indicadores iniciales,  $Q$  representa el número de componentes principales seleccionadas,  $VE_q$  es la varianza explicada por la  $q$ -ésima componente y  $Corr_{qj}$  es la correlación entre la  $q$ -ésima componente y el  $j$ -ésimo indicador inicial.

$XN_{ij}$  es el valor normalizado de la  $i$ -ésima observación, evaluada en el  $j$ -ésimo indicador, necesario para normalizar los datos para que las unidades de medida de los indicadores iniciales no tengan efecto sobre el resultado final. Esto se calcula dividiendo la distancia al valor antiideal por la diferencia entre los valores máximos y mínimos de cada indicador:

$$XN_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{*j}}{X_j^* - X_{*j}} \quad 1 \leq i \leq n \quad 1 \leq j \leq m$$

Donde  $(X_1^*, X_2^*, \dots, X_j^*)$  representa el vector ideal, conformado por los valores de referencia máximos, y  $(X_{*1}, X_{*2}, \dots, X_{*j})$  es el vector antiideal, conformado por los valores de referencia mínimos.

El indicador sintético DCP resulta ventajoso porque durante su cálculo se reduce la implicación con el usuario final, los pesos se determinan de forma interna cada indicador inicial se pondera por la cantidad de información que le reporte a la medida sintética.

Al estar basado en la distancia a una situación de referencia se garantiza transparencia en el cálculo y el resultado es de fácil comprensión; pues, las componentes principales, serán las combinaciones lineales de las distancias entre los indicadores y sus unidades de referencia, de modo que lo que se evalúa es la distancia al valor deseado de sostenibilidad, o la lejanía al valor no deseado.

Por último, el analista tiene la posibilidad de obtener los resultados aplicando el procedimiento para la métrica  $L_1$ ,  $L_\infty$  o cualquier métrica intermedia, permitiendo tener en cuenta las soluciones compromiso entre las dos mencionadas.

### **3.2.2 El indicador sintético global. Segunda fase de agregación**

Para calcular el indicador sintético global se propone el Análisis Envolvente de Datos (DEA), aplicado sobre los indicadores dimensionales previamente obtenidos. DEA, conocido como el “Enfoque del Beneficio de la Duda” para el cálculo de indicadores, (Storrie y Bjurek, 2000; Cherchye, 2001; Cherchye et al., 2004; 2007), que fue originalmente propuesto para evaluar el rendimiento macroeconómico (Melyn y Moesen, 1991). En este enfoque, el indicador sintético se define como el ratio entre la suma ponderada de los outputs (indicadores del tipo cuánto más mejor) correspondientes a una unidad y la suma ponderada de los inputs (indicadores del tipo cuanto menos, mejor).

El objetivo es determinar, para cada unidad, el conjunto de pesos o ponderaciones que le proporciona la máxima eficiencia, representada por el ratio output virtual/input virtual. Para la unidad evaluada, los valores de los inputs y outputs virtuales expresan información sobre la importancia que una unidad atribuye a determinados inputs y outputs con el objetivo de obtener su máxima puntuación de eficiencia (Boussofiene et al., 1991).

Dado que en la propuesta, los datos de entrada a DEA son los indicadores dimensionales, todos son positivos; de modo que representan los diferentes outputs, y se asigna un input con valor uno a cada unidad, de modo que el valor del *ISG* se corresponde con el del output virtual. Este modelo es equivalente al original modelo DEA-CCR orientado al input con rendimientos constantes a escala, presentado por Charnes et al. (1978), tal como señala Despotis (2005), el valor del *ISG* para la *i*-ésima unidad se obtiene de la solución de un problema de Programación Lineal:

$$DEAPC_i = \text{Max}_{w_j} \sum_{j=1}^d w_j^i DPC_{ij}$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^d w_j^i DPC_{kj} \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, n \text{ (restricción de normalización)}$$

$$w_j^i DPC_{ij} \geq \omega \quad \forall i = 1, \dots, n; \forall j = 1, \dots, m \text{ (restricción sobre los outputs virtuales)}$$

$$\square w_j^i \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, m \text{ (condición de no negatividad)}$$

Donde  $w_j^i$  es el conjunto de pesos para la  $i$ -ésima observación,  $DPC_{ij}$  representa el  $j$ -ésimo indicador dimensional para la  $i$ -ésima observación;  $DPC_{kj}$  son los indicadores dimensionales para las  $k$ -ésimas observaciones restantes y  $\omega$  es un número real que representa el mínimo valor admitido para el  $j$ -ésimo output virtual.

La función objetivo revela la interpretación del beneficio de la duda; esto es, el problema escoge el conjunto de pesos  $w_j^i$  que maximiza el valor del indicador sintético para la  $i$ -ésima unidad. Como resultado, el mayor valor del peso relativo, se le otorga a los indicadores para los cuales tiene un mejor comportamiento (en términos relativos) cuando se compara con el resto de las unidades evaluadas. Para la mejor situación, el valor de la medida sintética será uno (rendimiento igual a su unidad de referencia), mientras que tomará valor cero la situación menos deseada  $0 \leq DEAPC_i \leq 1$ .

Los pesos no se conocen a priori, y la única restricción sobre estos en el planteamiento es que tienen que ser no negativos (condición de no negatividad), lo que implica que el valor del índice sintético es una función no decreciente de los indicadores iniciales. Para garantizar una interpretación intuitiva de este indicador, se impone que ninguna unidad puede obtener un valor mayor que uno con el mismo conjunto de pesos (restricción de normalización) (Cherchye, 2001).

El hecho de que la única restricción sobre los pesos es que deben ser no negativos resulta inconveniente, debido a que todo el peso relativo se le puede asignar a un único indicador, sin importar el resto. Por ello, en nuestro modelo se propone añadir una nueva restricción (sobre los outputs virtuales), mediante la cual se garantiza que el valor del indicador sintético tenga en consideración todas las dimensiones del concepto medido; esto es, establecer una cota inferior  $\omega$  a cada output virtual.

Como valor de los pesos depende de las unidades de medida de los indicadores iniciales, se debe ser cuidadoso al comparar los pesos obtenidos por este enfoque, así, centraremos el análisis en los outputs virtuales de cada indicador ( $w_j DPC_{ij}$ ), pues son totalmente independientes de las unidades de medida y revelan cuánto contribuye cada dimensión al valor de la medida sintética y, por tanto, su importancia relativa.

La metodología propuesta presenta varias ventajas, pues el valor del indicador sintético es sensible a las necesidades de los implicados, pues pondera con mayor valor aquellos indicadores para los que la unidad obtiene una mejor posición con respecto al resto de unidades evaluadas. Esto se debe a la determinación endógena de los pesos, lo cual constituye a su vez otra ventaja, al no tener que fijarlos a priori.

Se puede prescindir de un procedimiento de normalización, pues el indicador sintético no se ve afectado por las unidades de medida de los indicadores iniciales. Las ponderaciones se hallan de forma tal que las obtenidas para cada unidad bajo evaluación le proporcionen el valor máximo posible para el indicador sintético y se evidencia el carácter flexible de este procedimiento al no exigir que todas las unidades le concedan igual importancia a cada indicador. Por último, DEA permite determinar las unidades de referencia, dentro del conjunto de zonas analizadas, facilitando la comparación.

### 3.2.3 Resultados

Para el cálculo se empleó el programa IndiSin, una herramienta informática que constituye una nueva aplicación para Windows. El programa permite realizar un análisis de las relaciones entre los indicadores de partida, a través de las correlaciones existentes entre ellos, para lo cual se muestra la matriz de correlaciones, y el usuario puede fijar un determinado nivel de correlación, de modo que se señalan aquellas que son iguales o superiores al nivel fijado. Posteriormente, se calculan los indicadores sintéticos dimensionales y globales descritos anteriormente. El programa permite, además, obtener indicadores sintéticos a partir del ACP y la distancia  $DP_2$ , así como calcular los indicadores sintéticos globales con los mismos procedimientos empleados en la primera fase de agregación (detalles de su aplicación se encuentran en Pérez, 2011).

Los valores de los indicadores sintéticos dimensionales se muestran en la tabla 2. En la dimensión social, los mejores destinos son los que mayores beneficios económicos reportan a las comunidades receptoras, pues tienen el mayor número de empleados locales en el turismo, 1871 como promedio, y las mujeres ocupan alrededor del 42,56% del total de puestos de trabajo, en comparación con el 26,5% de las peores, lo que demuestra que son destinos con una gran oportunidad de empleo para las mujeres. Además, sobresalen como los destinos con el mayor grado de seguridad percibido por los turistas y los de mejor calidad en los servicios públicos.

Tabla 2: Indicadores sintéticos dimensionales.

Cuban Nature Destinations	Indicador Sintético Dimensional DCP					
	Social	Ranking	Económico	Ranking	Patrimonial	Ranking
P.N.Guanahacabibes	0,5037	9	0,4370	4	0,6566	4
P. N. Viñales	0,5160	8	0,3957	7	0,5191	14
San Diego de los Baños	0,4412	14	0,3316	14	0,6163	10
Soroa-Las Terrazas	0,4915	11	0,3940	8	0,5403	13
Ciénaga de Zapata	0,5665	2	0,4297	5	0,6322	7
Hanabanilla	0,5223	7	0,3801	10	0,6062	11
Guajimico	0,4112	15	0,2925	15	0,6274	9
Topes de Collantes	0,4634	13	0,5536	1	0,4692	15
Alturas de Banao	0,5270	6	0,3862	9	0,5904	12
P. N. Caguanes	0,5649	4	0,3584	12	0,6329	6
Mayarí	0,5651	3	0,3479	13	0,6609	2

P.N.Desembarco del Granma	0,5010	10	0,3791	11	0,6586	3
Marea del Portillo	0,4857	12	0,3981	6	0,6398	5
Baconao	0,6284	1	0,5291	2	0,7119	1
P.N.Alejandro de Humboldt	0,5620	5	0,5076	3	0,6300	8

En la dimensión económica, los mejores destinos tienen un alto grado de satisfacción para los turistas, representado por la relación calidad-precio, tanto del alojamiento como de la gastronomía. Son los que mayor estancia promedio registran, con un valor promedio de 4,8 noches; tienen la mayor oferta turística, y los que más turistas reciben anualmente, un promedio de 57195 visitantes. Además, son los destinos donde se generan los mayores ingresos turísticos.

En la dimensión patrimonial, los mejores destinos tienen los mayores porcentajes de personas con acceso al agua tratada (80,6%); son las zonas con mayor capacidad para reducir los residuos producidos por la actividad turística, donde se recicla aproximadamente el 18,9% de los residuos que se generan. Además, son los destinos donde menor presión se ejerce sobre las áreas naturales y el patrimonio, con un promedio de 28,3 turistas por Km<sup>2</sup> de sitio y 4 visitantes promedio por en los museos.

Los resultados para la segunda fase se muestran en la tabla 3, donde se exige que cada dimensión aporte, como mínimo, un valor de 0,2 al indicador sintético ( $\omega=0,2$ ), obteniéndose el indicador sintético DEACP (análisis envolvente de datos después de distancia por componentes principales), que constituye una novedosa aplicación de DEA para la construcción de indicadores, en la segunda fase de agregación.

El análisis se realiza a partir de los valores de los outputs virtuales, que expresan la información acerca de la importancia que cada destino le atribuye a las dimensiones de la sostenibilidad, con el objetivo de obtener el máximo valor de eficiencia. Así, es posible determinar la influencia de cada una de las dimensiones en el valor del indicador sintético.

*Tabla 3: Indicador Sintético global DEACP.*

Cuban Nature Destinations	Indicador Sintético Global DEACP				
	Ranking	DEACP	Output Virtual Social	Output Virtual Económico	Output Virtual Patrimonial
P.N.Guanahacabibes	4	0,8506	0,2450	0,2989	0,3067
P. N. Viñales	12	0,7667	0,2749	0,2706	0,2213
San Diego de los Baños	14	0,7293	0,2146	0,2268	0,2879
Soroa-Las Terrazas	13	0,7615	0,2618	0,2694	0,2303
Ciénaga de Zapata	3	0,8651	0,3017	0,2939	0,2695
Hanabanilla	10	0,7971	0,2541	0,2599	0,2832
Guajimico	15	0,6931	0,2	0,2	0,2931
Topes de Collantes	5	0,8343	0,2254	0,4089	0,2
Alturas de Banao	11	0,7965	0,2807	0,2641	0,2517

P. N. Caguanes	7	0,8157	0,3009	0,2451	0,2698
Mayarí	6	0,8215	0,2748	0,2379	0,3087
P.N.Desembarco del Granma	8	0,8106	0,2437	0,2592	0,3076
Marea del Portillo	9	0,8073	0,2363	0,2723	0,2988
Baconao	1	1	0,3057	0,3618	0,3325
P.N.Alejandro de Humboldt	2	0,9169	0,2734	0,3750	0,2686

Los resultados obtenidos permiten establecer un orden entre los destinos comparados, al no existir empates en la primera posición. El valor del GSI para el destino más sostenible se reparte de forma casi equitativa entre las tres dimensiones, pero sobresale la económica, a pesar de ser aquella en la cual no ocupa la primera posición con el indicador DCP. Esta es la que más aporta a dicha unidad, pero no es en la que aparece como referencia frente al resto. Por ello, el éxito de la eficiencia se debe a que resulta la zona de mejor desempeño social y patrimonial.

Solo dos destinos ponderan con el mínimo valor las dimensiones patrimonial y económica, las cuales representan sus debilidades de acuerdo al indicador sintético DCP. De este modo, la forma empleada para el cálculo del GSI permite determinar las fortalezas y debilidades para cada destino mediante los valores de los outputs virtuales.

#### 4. CONCLUSIONES

En el presente estudio se describen varias aplicaciones de la Investigación de Operaciones en temas relacionados con la sostenibilidad ambiental; específicamente la sostenibilidad del turismo, requerida por el rápido crecimiento del sector en los últimos años. Las conclusiones de los análisis realizados pueden ser empleadas como guía práctica para definir, cuantificar y emplear la información contenida en los indicadores de sostenibilidad para otros productos o destinos turísticos.

En la primera iniciativa analizada el problema multiobjetivo fue resuelto mediante tres vías diferentes que dieron resultados similares, poniendo de manifiesto la consistencia de los mismos y presentando al método PROMETHEE, el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y la Teoría de la Utilidad Multiatributo (MAUT) como procedimientos de cálculo complementarios dentro de la Teoría Multicriterio. La ordenación obtenida fue presentada al Grupo Extrahotelero Palmares, el encargado de los nuevos productos en el Ministerio del Turismo en Pinar del Río.

La segunda aplicación descrita proporciona un modelo de agregación que posibilita determinar los indicadores iniciales, tomando en consideración las necesidades de todos los implicados en el desarrollo del turismo de naturaleza, representar los niveles deseados de consecución de los objetivos planificados en determinado período, realizar un análisis por dimensiones, y de forma general del concepto evaluado; dinamizar el proceso de cálculo, analizar las relaciones entre los indicadores de partida, y presentar los resultados de manera que garantice la mayor comprensión por parte de los usuarios finales.

Los resultados constituyen importantes puntos de partida para los planificadores de la actividad turística de naturaleza, por cuanto, permiten evaluar el desempeño social, económico y patrimonial de cada una de las unidades analizadas, así global, e identificar

los aspectos que generan un mejor/peor comportamiento en cuanto a la sostenibilidad. Estos pueden ser aplicados a otras modalidades turísticas y es evidencia de la gran ayuda que proporciona la aplicación de las técnicas empleadas en la búsqueda de soluciones a los problemas reales que se presentan en las organizaciones.

## REFERENCIAS

[1] BLANCAS, F. J., GONZALEZ, M., LOZANO, M. and PÉREZ, F. (2010): The assessment of sustainable tourism: Application to Spanish coastal destinations. **Ecological Indicators** 10, 484–492.

[2] BOUSSOFIANE, A., DYSON, R.G. and THANASSOULIS, E. (1991): Applied data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research** 52, 1-15.

[3] BRANS, P., MARESCHAL, B. and VINCKE, PH. (1986): How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, 24, 228-238.

[4] CHARNES, A., COOPER, W. W. and RHODES, E. (1978): Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research** 2, 429-444.

[5] CHERCHYE, L. (2001): Using data envelopment analysis to assess macroeconomic policy performance. **Applied Economics** 33, 407-416.

[6] CHERCHYE, L., MOESEN, W. and VAN PUYENBROECK, T. (2004): Legitimately Diverse, yet Comparable: on Synthesizing Social Inclusion Performance in the EU. **Journal of Common Market Studies** 42, 919-955.

[7] CHERCHYE, L., MOESEN, W., ROGGE, N. and VAN PUYENBROECK, T. (2007): An introduction to benefit of the doubt composite indicators. **Social Indicators Research** 82 (1), 111-145.

[8] CURRENT, J., MIN, H. and ECHILLING, D. (1990): Multiobjective analysis of facility locations decisions. **European Journal of Operational Research** 49, .295-307.

[9] DESPOTIS, D. K. (2005): A reassessment of the human development index via data envelopment analysis. **Journal of the Operational Research Society** 56, 969-980.

[10] FARSARI, Y. and PRASTACOS, P. (2000): Sustainable tourism indicators. Case-study for the municipality of Hersonissos, **Proceedings of The International Scientific Conference on Tourism on Islands and Specific Destinations**, University of the Aegean, Chios.

[11] FIGUEIRA, J., GRECO, S. and EHRGOTT, M. Eds. (2005): **Multiple Criteria Decision Analysis. Estate of Art Surveys**. Springer, New York.

- [12] GÖSSLING, S., HANSSON, C. B., HÖRSTMEIER, O. and SAGGEL, S. (2002): Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability. **Ecological Economics**, 43, 199–211.
- [13] KEENEY, L. and RAIFFA, H. (1976, 1993): **Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs**. 1a edn. Wiley, New York; 2a edn. Cambridge University Press, Cambridge.
- [14] LEÓN, M. A., DOMINGUEZ, F. (2002): Modelo de decisión multicriterio discreto en la selección de alternativas de aprovechamiento de la madera. **Rect@. Toma de decisiones con criterios múltiples**, 1, 212-226.
- [15] LOZANO, M., PÉREZ, V. E. and BLANCAS, F. J. (2009): Indicadores sintéticos de sostenibilidad turística para destinos rurales: El caso andaluz. **Innovación, Creatividad y Nuevos Modelos de Gestión**, 487-509.
- [16] MELYN W. and MOESEN W.W. (1991): **Towards a synthetic indicator of macroeconomic performance: unequal weighting when limited information is available**. Public Economic Research Paper 17, CES, KU Leuven.
- [17] NARDO, M., SAISANA, M., SALTELLY, A., TARANTOLA, S., HOFFMAN, A. and GIOVANNINI, E. (2005): **Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide**. OECD Statistics Working Paper, OECD.
- [18] OMT (2004): **Indicadores de sostenibilidad para los destinos turísticos. Guía Práctica**, edn. Organización Mundial del Turismo, Madrid, España.
- [19] ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2008): **Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide**. OECD.
- [20] PÉREZ, V. E., (2011): Procedimiento de agregación para la construcción de indicadores sintéticos de sostenibilidad en las zonas de turismo de naturaleza en Cuba. **Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Económicas. Universidad de La Habana**, Cuba.
- [21] PÉREZ, V. E., CAMARGO, I., A., CABALLERO, R. and GONZÁLEZ, M. (2008): Selección multicriterio de nuevos productos turísticos en Pinar del Río, Cuba. **Investigación Operacional 2** (2), 98-107.
- [22] PULSELLI, F.M., CIAMPALINI, F., TIEZZI, E. and ZAPPIA, C. (2006): The index of sustainable economic welfare IESW for a local authority: A case study in Italy. **Ecological Economics** 601, 271-281.
- [23] ROMERO, C. (1993) **Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones**. Alianza editorial, S.A. Madrid, España.

- [24] SAATY, T.L. (1977): A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology** 15, 234-281.
- [25] SAISANA M. and TARANTOLA S. (2002): **State-of-the-art report on current methodologies and practices for composite indicator development**. Joint Research Centre, European Commission.
- [26] STORRIE, D. and BJUREK, H. (2000): **Benchmarking the basic performance indicators using efficiency frontier techniques**, Report presented in the European Commission, DG employment and social affairs.
- [27] VON NEUMANN, J. and MORGENSTERN, O. (1944): **Theory of games and economic behaviour**. Princeton University Press, New Jersey.
- [28] WILLIAMS, P. and PONSFORD, I. (2009). Confronting tourism's environmental paradox: Transitioning for sustainable tourism. **Features** 41, 396-404.
- [29] YILDIRIM, B., AK, T. and ÖLMEZ, Z. (2008): Assessment of the natural-cultural resources in Çanakkale for nature-based tourism. **Environment, Development and Sustainability** 10, 871–881.