

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS

FACULTAD MATEMÁTICA, FÍSICA Y COMPUTACIÓN



**MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE
DE LOS TERRITORIOS CUBANOS**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER EN
CIENCIA DE LA COMPUTACIÓN**

Autor: Lic. Alexis Fajardo Moya

Tutor: Dr.C. Carlos Pérez Risquet

SANTA CLARA

2019

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de la Maestría en Ciencia de la Computación, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto en forma parcial como total, y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de la institución.

Firma del autor

Los abajo firmantes certifican que el presente trabajo ha sido revisado y el mismo cumple los requisitos establecidos, referidos a la temática señalada.

Firma del Tutor

Dr.C. Carlos Pérez Risquet

Firma de la Coordinadora de la
Maestría

Dra.C. María Matilde García Lorenzo

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Dr.C. Carlos Pérez Risquet, por la confianza, la dedicación y la atención para realizar este trabajo. Por ser más que tutor: educador y amigo.

A mi familia: soporte, inspiración y motivación para continuar trabajando. Por siempre estar ahí y ser pacientes. Por apoyarme incondicionalmente.

A los miembros del claustro de la Maestría en Ciencia de la Computación, con quienes me he formado desde el pregrado hace 14 años. A la profesora María Matilde García Lorenzo, quien se ha preocupado y ocupado de que culminen exitosamente mis estudios de postgrado.

A todos los profesores e investigadores que he consultado en un momento u otro del curso de la investigación.

A todos los que colaboraron en la recopilación de los datos: a los especialistas de AZCUBA, de la Delegación Provincial del CITMA, de difusión de la ONEI, de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos y de la Empresa Provincial de Suelos y Fertilizantes.

RESUMEN

El desarrollo sostenible constituye una preocupación de especialistas e investigadores de diversas ramas de la ciencia. El desarrollo sostenible suele medirse mediante un índice de sostenibilidad compuesto, con el objetivo de realizar comparaciones, determinar avance o retroceso en la sostenibilidad, por lo que constituye una herramienta adecuada de apoyo al proceso de toma de decisiones. Diversas investigaciones se han desarrollado sobre la temática de sostenibilidad y la construcción de índices para su evaluación. La aplicación de diversas técnicas de análisis de datos y de toma de decisiones basadas en múltiples criterios, ha contribuido a la obtención de índices alineados a la perspectiva de sostenibilidad fuerte. El procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible territorial de los territorios cubanos presenta oportunidades de mejora basadas en la aplicación de diversas técnicas, con el fin de obtener un índice de desarrollo sostenible territorial (IDST) más representativo al comportamiento de los datos y alineado con la perspectiva de sostenibilidad fuerte. La presente investigación propone un conjunto de adecuaciones al procedimiento a partir de la modificación de varias de sus fases y la adición de otra nueva, proponiendo la aplicación de técnicas y métodos que apoyan el proceso de construcción del IDST y las decisiones a adoptar en varias de las etapas. Se implementaron nuevas funcionalidades en una nueva versión de la aplicación informática existente, que responden a las adecuaciones propuestas al procedimiento, dotándola de herramientas para la experimentación y de características de marco tecnológico. Se demostró la factibilidad de la aplicación del procedimiento modificado a través de su aplicación en la evaluación y comparación del desarrollo sostenible de las quince provincias cubanas y su municipio especial, en un periodo de diez años. Los resultados presentados demostraron las mejoras del procedimiento modificado con respecto al inicial, permitiendo identificar puntos críticos en el comportamiento del desarrollo sostenible de cada territorio y en la comparación entre los territorios.

ABSTRACT

Sustainable development is a concern of specialists and researchers from various branches of science. Sustainable development is usually measured by a composite sustainability index, with the aim of making comparisons, determining progress or setback in sustainability, so it is an adequate tool to support the decision-making process. Several investigations have been developed on the subject of sustainability and the construction of indexes for evaluation. The application of various techniques of data analysis and decision-making based on multiple criteria has contributed to obtaining indexes aligned with the perspective of strong sustainability. The procedure for the evaluation of the territorial sustainable development of the Cuban territories presents opportunities for improvement, based on the application of various techniques, in order to obtain a territorial sustainable development index (TSDI) that is more representative of the behavior of the data and aligned with the strong sustainability perspective. The present investigation proposes a set of adjustments to the procedure based on the modification of several of its phases and the addition of a new one, proposing the application of techniques and methods that support the process of construction of the TSDI and the decisions to be taken in several stages of the process. New functionalities were implemented in a new version of the existing computer application, which responds to the proposed adjustments to the procedure, providing it with tools for experimentation and features of a technological framework. The feasibility of the application of the modified procedure was demonstrated through its application in the evaluation and comparison of the sustainable development of the fifteen Cuban provinces and its special municipality, over a period of ten years. The results presented demonstrated the improvements of the modified procedure with respect to the initial one, allowing to identify critical points in the behavior of the sustainable development of each territory and in the comparison between the territories.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE MEDIANTE ÍNDICES DE SOSTENIBILIDAD COMPUESTOS	10
1.1. El desarrollo sostenible como referencia	10
1.1.1. Dimensiones del desarrollo sostenible.....	11
1.1.2. Enfoques del desarrollo sostenible	12
1.1.3. Soporte al desarrollo sostenible	13
1.2. Evaluación del desarrollo sostenible mediante indicadores	14
1.2.1. Indicadores de sostenibilidad física	15
1.2.2. Indicadores de sostenibilidad integral.....	16
1.2.2.1. Fuerza Motriz-Estado-Respuesta.....	16
1.2.2.2. Marcos ordenadores temáticos	17
1.2.3. Índices de sostenibilidad compuestos	17
1.3. Construcción de índices sostenibilidad compuestos	18
1.3.1. Selección de indicadores.....	20
1.3.1.1. Técnicas estadísticas para la selección de indicadores.....	20
1.3.1.2. Métodos basados en expertos para la selección de indicadores	21
1.3.1.3. Selección de indicadores basados en marcos de referencia.....	22
1.3.2. Normalización.....	23
1.3.2.1. Z-score	23
1.3.2.2. Método Min-Max	24
1.3.2.3. Procedimiento de normalización lineal	24
1.3.2.4. Distancia a un marco de referencia	25
1.3.3. Ponderación	26
1.3.3.1. Igual ponderación	27
1.3.3.2. Análisis de componentes principales.....	27
1.3.3.3. Opinión pública	27
1.3.3.4. Proceso de jerarquías analíticas.....	28
1.3.4. Agregación.....	29
1.3.4.1. Métodos de agregación aditivos	30

1.3.4.2. Métodos de agregación geométricos	31
1.3.4.3. Métodos de agregación no compensatorios.....	32
1.3.4.4. Métodos de agregación combinados	33
1.4. Construcción de índices de sostenibilidad compuestos mediante el enfoque de toma de decisiones basada en múltiples criterios.....	34
1.4.1. Métodos elementales.....	35
1.4.2. Métodos basados en el valor y la utilidad.....	36
1.4.3. Enfoque de relación de precedencia de rango	37
1.4.4. Métodos basados en el análisis envolvente de datos	38
1.4.5. Métodos basados en funciones de distancia	39
1.5. Evaluación mediante índices en Cuba.....	40
1.5.1. Sostenibilidad de la actividad turística	41
1.5.2. Índice de Desarrollo Humano Territorial.....	42
1.5.3. Índice Global de Desempeño Ambiental	43
1.5.4. Índice de Desarrollo Sostenible Territorial.....	43
Conclusiones parciales	45
CAPÍTULO 2. ADECUACIONES AL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LOS TERRITORIOS CUBANOS	47
2.1. Oportunidades de mejoras al procedimiento.....	47
2.1.1. Seleccionar indicadores	49
2.1.2. Ponderar indicadores.....	49
2.1.3. Seleccionar alternativa de agregación.....	53
2.1.4. Calcular los índices	54
2.2. Propuestas de adecuaciones al procedimiento	54
2.2.1. Subproceso “Seleccionar los indicadores”	55
2.2.2. Subproceso “Ponderar indicadores”	58
2.2.2.1. Ponderación para la evaluación en el tiempo de un territorio	58
2.2.2.2. Ponderación para la comparación entre los territorios	59
2.2.3. Fase III “Seleccionar el método de agregación”	62
2.2.4. Subproceso “Calcular el IDST”	65
2.2.5. Subproceso “Calcular índices de las áreas claves”	66

2.2.6. Subproceso “Calcular índices de las dimensiones”	66
2.2.7. Método de agregación compuesto: ideal desplazado ponderado geométrico	67
2.3. Diseño de la aplicación informática	69
2.3.1. Características generales de SEDST versión 1.0	69
2.3.2. Arquitectura de SEDST versión 1.5	69
2.3.3. Biblioteca de métodos para la construcción de índices de sostenibilidad	71
2.3.4. Especificación del componente Análisis	72
2.3.5. Especificación del componente Evaluación	73
2.3.6. Especificación del componente Ponderación	74
2.3.7. Subsistema “Servicios de procesamiento avanzado de datos”	76
Conclusiones parciales	77
CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LOS TERRITORIOS CUBANOS	
3.1. Caracterización de los territorios cubanos	80
3.2. Sistema de indicadores para la construcción del IDST	81
3.3. Selección de indicadores mediante el análisis de componentes principales	84
3.3.1. Selección de indicadores del sistema original	85
3.3.2. Selección de indicadores del sistema para el análisis de los territorios	87
3.4. Selección del método de agregación	92
3.5. Evaluación de la sostenibilidad de los territorios cubanos en el tiempo	95
3.6. Comparación de los territorios cubanos en un instante de tiempo	100
Conclusiones parciales	106
CONCLUSIONES GENERALES	109
RECOMENDACIONES	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS	119

INTRODUCCIÓN

La problemática medioambiental se ha convertido, desde de la década de los 70 del pasado siglo, en una de las principales preocupaciones de políticos, ambientalistas, ecologistas, organizaciones no gubernamentales, instituciones científicas y la sociedad en su conjunto. El origen de dichos problemas está en los sistemas de desarrollo que se han asumido, sustentados en patrones de producción y consumo irracionales, causantes del atraso y la pobreza que azota a gran parte de la humanidad y de graves problemas ambientales que suponen un riesgo para nuestra propia especie.

El desarrollo sostenible ha sido un objetivo global por aproximadamente tres décadas. Fue inicialmente enunciado en el Reporte de Brundtland (World Commission on Environment and Development, 1987a) como “(...) administrar los recursos naturales para asegurar tanto el desarrollo humano sostenible como la supervivencia humana” y también como “la capacidad (de la humanidad) de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras a satisfacer sus propias necesidades” (World Commission on Environment and Development, 1987b). Estos pronunciamientos constituyen una prueba de que los investigadores le han prestado especial atención al análisis de la sostenibilidad, especialmente a los indicadores de desarrollo sostenible, para confirmar la sostenibilidad del desarrollo de las actividades humanas y su impacto en el medio ambiente en sus respectivas áreas.

El concepto de desarrollo sostenible plantea la búsqueda de progreso económico que no descuide aspectos cualitativos, tales como la calidad de vida y la preservación del medioambiente, sin olvidar el compromiso ético con las generaciones venideras. Se considera así como un proceso multidimensional que afecta al sistema económico, ecológico y social.

A partir de la celebración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, en Rio de Janeiro en 1992, la política de desarrollo sostenible es considerada como la meta hacia la cual deben dirigirse todas las naciones. Como resultado de la referida Conferencia se aprobó la Agenda 21, documento político a través del cual la comunidad internacional se comprometió a poner en práctica un programa que contiene las estrategias

para prevenir el deterioro del medio ambiente, y establecer las bases para un desarrollo sostenible a escala planetaria en el siglo XXI (UNSD, 1992).

Posteriormente, y ante los retos que constituye el desarrollo global sostenible y el desbalance aportado por las naciones en la aplicación de estrategias y medidas efectivas en pos del desarrollo sostenible, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó una resolución denominada “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, que constituye “(...) un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad.” (UN, 2015). En este documento rector se trazan lineamientos en la forma de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 metas, los que son de carácter integrado e indivisible y conjugan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: económica, social y ambiental.

El Gobierno cubano, y la sociedad en su conjunto, han evidenciado su interés por la protección del medio ambiente en la isla. A partir del triunfo revolucionario de 1959, el pensamiento y la acción ambiental cubana han crecido y se han perfeccionado paralelamente al proyecto de elevar el nivel y la calidad de vida del pueblo cubano. Esto se evidencia a través de varios hitos, entre los que se encuentran la Ley 33 de Protección del Medio Ambiente y del Uso Racional de los Recursos Naturales de 1981 (Asamblea Nacional del Poder Popular, 1981); la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) en 1994 (Ecured, 2019a); la Ley 81 del Medio Ambiente de 1997 (Asamblea Nacional del Poder Popular, 1997); la aprobación de los Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución en 2011 (VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, 2011); la Tarea Vida, que tiene como propósito enfrentar el cambio climático y sus efectos en el archipiélago cubano (Ecured, 2019b); y la más reciente ratificación el 24 de febrero de 2019 de la Constitución de la República de Cuba (ANPP, 2019; Ecured, 2019c), en cuyo texto se refrenda el compromiso de la nación con alcanzar el desarrollo sostenible, abordado explícitamente en varios capítulos del texto constitucional.

Paralelamente a la creación del marco regulatorio que ampara la protección del medio ambiente, y a la creación de las instituciones ambientales y científicas dedicadas a esta actividad, en Cuba se ha conformado un basamento de información estadística que ha permitido capturar el comportamiento y la evolución de diversos indicadores que tributan a las tres dimensiones de la sostenibilidad. El crecimiento y disponibilidad de esta información

estadística constituye un logro positivo, pero a la vez constituye un reto su procesamiento y transformación, para proveer a los decisores de información resumida, que les permita conocer los avances y retrocesos en las actividades y planes que tributan al desarrollo sostenible.

Para conocer si realmente las actividades humanas asociadas al desarrollo de la sociedad pueden considerarse sostenibles, se necesitan indicadores. El Capítulo 40 de la Agenda 21 se refiere a la importancia de crear indicadores de desarrollo sostenible “a fin de aportar bases sólidas al proceso de toma de decisiones en todos los niveles y contribuir a una sustentabilidad autorreglamentada, de los sistemas que integran el medio ambiente” (UNSD, 1992). Por su parte en el Artículo 47 de la Agenda 2030, se establece que son los gobiernos los principales responsables de realizar en sus respectivas naciones, el seguimiento y examen de los progresos conseguidos en el cumplimiento de los objetivos y las metas; y en su Artículo 48 se establece de la necesidad de construir indicadores para apoyar esa labor.

En un proceso de desarrollo sustentable los indicadores no constituyen un fin en sí mismo, sino herramientas que permiten conocer tendencias, el cumplimiento de objetivos y brindan la posibilidad de intervenir oportunamente permitiendo una toma de decisiones fundamentada. Al disponer de un conjunto amplio de indicadores, que pueden ser diversos y con unidades de medidas diferentes, se requiere de un instrumento que agregue todos los datos que aporten los indicadores en una medida resumen.

La medición agregada del desarrollo sostenible usualmente se presenta en la forma de un índice de sostenibilidad compuesto (ISC) y ha evolucionado como un objetivo en el análisis de sistemas ambientales y de sostenibilidad. Un ISC ofrece información resumida a los decisores para monitorear rendimiento, evaluar el progreso de políticas, comparar resultados de análisis y como apoyo a la toma de decisiones. Son precisamente los índices un instrumento ampliamente empleados en la medición y/o evaluación del desarrollo sostenible. Han sido abordados para proveer información que resuma el comportamiento de diversos y numerosos indicadores bases, con el objetivo de apoyar las actividades de toma de decisiones.

Según Nardo et al. (2008), el número de ISC en existencia alrededor del mundo crece año tras año, en especial por su propósito de resumen, enfocándose y condensando la complejidad

de la dinámica del ambiente. De acuerdo a Paruolo et al. (2013) y Singh et al. (2007), los ISC son mucho más fáciles de interpretar que tratar de hallar una tendencia común en varios indicadores individuales. En la práctica han sido aplicados en dimensiones relevantes de la realidad, como la competitividad de los países (World Economic Forum, 2017a) y la calidad de los gobiernos (World Justice Project, 2016), por solo mencionar algunos.

En Cuba se han realizado varias investigaciones, cuyos resultados fundamentales han sido la construcción de ISC para la medición de determinado componente social, ambiental, de rendimiento o de sostenibilidad. Ejemplos de estos trabajos son los conducidos por Albert et al. (2013) en la evaluación de la sostenibilidad de la actividad turística, Medel González (2012) en la evaluación del desempeño ambiental de entidades empresariales, Méndez Delgado y Lloret Feijóo (2012) en determinar el índice de desarrollo humano territorial, y Vega Calcines (2014) con su propuesta de índice para la evaluación del desarrollo sostenible territorial.

La construcción de ISC posee sus retos por la ambigüedad propia del concepto. No obstante, se han elaborado numerosas propuestas tanto de sistemas de indicadores como de metodologías para su definición (El Gibari et al., 2019; Gan et al., 2017; Kadoić et al., 2018; Li y Mathiyazhagan, 2018). De acuerdo a Saisana y Tarantola (2002), un ISC es la combinación matemática de indicadores individuales que representan diferentes dimensiones de un concepto cuya descripción es el objetivo del análisis. La construcción de índices compuestos ha sido abordada desde diversos ángulos; la literatura provee un amplio rango de enfoques metodológicos (El Gibari et al., 2019; Gan et al., 2017). Sin embargo, generalmente la construcción de un ISC involucra tres procesos principales, los cuales son:

- Normalización: Es la transformación de los datos a una escala común debido a la diferencia de las unidades de medidas de los indicadores.
- Ponderación: Es el proceso de asignar el peso o nivel de importancia a cada indicador con respecto al ISC, ya sea mediante métodos basados en expertos o automáticamente a partir de los propios datos.
- Agregación: Es el proceso de agregar los datos normalizados de los indicadores y sus pesos asignados en el ISC mediante una operación aritmética o procedimiento de cálculo.

La determinación de cuál técnica emplear en cada etapa del proceso de construcción de un ISC ha sido objeto de varias investigaciones, con resultados que han trazado pautas, lineamientos o buenas prácticas generales. Pero la diversidad de metodologías empleadas, la diversidad de índices compuestos construidos y la combinatoria de los métodos empleados evidencian que aún no existe una práctica generalizada.

Basándose en los principios generales que se deben cumplir para la construcción de un ISC, Vega Calcines (2014) propuso un procedimiento para la construcción del Índice de Desarrollo Sostenible Territorial (IDST). Mediante el IDST, se pueden controlar las políticas y planes de los territorios en cuanto al cumplimiento de las pautas trazadas para alcanzar niveles adecuados de desarrollo sostenible, midiendo sus avances y/o retrocesos, lo que lo convierte en una herramienta efectiva de apoyo a la toma de decisiones de los gobiernos de las provincias cubanas. En su investigación, Vega Calcines (2014) recomendó emplear las potencialidades del procesamiento de la información, de forma tal que se evolucionara su procedimiento con el propósito de obtener un IDST que reflejase con mayor certeza la variación en el comportamiento de los indicadores que se seleccionen para su construcción.

La referida metodología cuenta con cuatro fases que permiten realizar el diagnóstico del territorio, la estructuración del sistema de indicadores, el cálculo del IDST y la evaluación de los resultados. En cada una de las fases se emplean herramientas o métodos de apoyo al proceso, basados en las investigaciones que conformaban el marco teórico de referencia en su momento. Varias problemáticas han sido identificadas en la aplicación del procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible en las provincias cubanas, y por ende en los IDST que se obtienen tras su aplicación y en el análisis de los resultados.

Un primer problema radica en la selección de los indicadores que conformarían el marco ordenador temático, en cuya propuesta Vega Calcines (2014) estableció descartar los indicadores que presenten valores perdidos en la serie de tiempo, producto de la no disponibilidad de los datos estadísticos en las fuentes oficiales, y realizar un análisis multifactorial mediante un análisis de componentes principales con el objetivo de eliminar las dependencias entre los indicadores que se encuentren correlacionados. La primera propuesta se justifica, pues para medir el desarrollo sostenible de forma concreta se requieren de datos completos; la segunda propuesta requiere de proponer un método que permita

obtener el subconjunto de indicadores de todos los candidatos a partir de las componentes principales que se obtienen de la aplicación de la referida técnica estadística, o por el contrario, proponer un procedimiento completo para la selección de los indicadores.

El segundo problema consiste en la ponderación de los elementos que conforman el marco ordenador temático (MOT) del IDST. El MOT propuesto por Vega Calcines (2014) se estructura de forma jerárquica, con el IDST en el nivel objetivo o en la raíz de la jerarquía; al IDST tributan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: ambiental, económico y social; a cada dimensión se le subordinan áreas claves, en las cuales se encuentran agrupados los indicadores. Cada uno de estos elementos (dimensiones, áreas claves e indicadores) poseen un peso o nivel de importancia en el rango de $(0,1]$, y deben cumplir que la sumatoria de los pesos de los elementos que se encuentran en el mismo nivel y que se subordinan al mismo elemento en el nivel inmediato superior debe ser la unidad (1). Al calcular el IDST de forma recursiva desde los indicadores hacia las áreas claves, y desde las áreas claves hacia las dimensiones, se obtienen índices intermedios que permiten fundamentar el IDST que se obtiene; este proceso es equivalente a obtener los pesos globales de los indicadores a través del producto de su propio peso con el peso del área clave y de la dimensión a la que se subordinan en la jerarquía, y ejecutar la agregación ponderada de los valores de los indicadores empleando este peso global. Esta forma de ponderar los elementos del MOT tiene un efecto indeseado, y es que los pesos globales de los indicadores se descompensan o desequilibran si el MOT no está balanceado en cada uno de sus niveles. Esto quiere decir que si dos indicadores, a criterio del decisor, poseen la misma importancia para el desarrollo sostenible, pueden concluir con pesos globales distantes si poseen distintas cantidades de elementos “hermanos” en la jerarquía, en el que influye también la cantidad de “hermanos” que posean los elementos a los que se subordina en los niveles superiores de la jerarquía.

Por otra parte, la selección del método de ponderación y el método de agregación debe tributar a la perspectiva de la sostenibilidad (sostenibilidad débil o sostenibilidad fuerte) del índice en cuestión (Gan et al., 2017), tanto para la evaluación del desarrollo sostenible a lo interno de un territorio en el tiempo, como para la comparación entre los territorios en un instante de tiempo determinado. El IDST se concibió alineado a la perspectiva de sostenibilidad fuerte, por tanto los métodos seleccionados para la ponderación y la agregación

deben ser sometidos a reconsideración. Además, está el carácter compensatorio del método de agregación seleccionado para la construcción del IDST (suma ponderada simple o suma ponderada) y la falta de una medida objetiva que permita evaluar varios métodos de agregación como parte del procedimiento.

Todos los elementos anteriormente expuestos constituyen una situación problemática a resolver en la presente investigación. El problema científico radica en la carencia de técnicas y métodos concretos que complementen el procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible en las provincias cubanas y que respalden de forma objetiva las decisiones que se adopten a lo largo de su ejecución, hasta la obtención del IDST.

Las más recientes investigaciones dirigidas a evaluar determinado componente ambiental, económico o social a través de índices compuestos, han arrojado una amplia gama de técnicas, métodos y metodologías aplicables al procedimiento propuesto por Vega Calcines (2014). En correspondencia con lo planteado se formula la siguiente hipótesis investigativa: La aplicación de técnicas y métodos que complementen el procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible en las provincias cubanas, permitirá fundamentar las decisiones que se adopten a lo largo de la ejecución del procedimiento, alineado con la perspectiva de sostenibilidad fuerte que se desea medir mediante el IDST, lo que potenciará los análisis que se puedan realizar empleando esta medida con un impacto positivo para la toma de decisiones.

Esta hipótesis quedará probada si:

1. Se evidencia la factibilidad de la aplicación de las técnicas y métodos que se seleccionen para complementar el procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible en las provincias cubanas.
2. Se logran identificar puntos críticos en el desarrollo sostenible del objeto de estudio práctico a partir de los resultados obtenidos con el análisis del IDST al aplicar las nuevas técnicas y métodos.
3. Se adicionan nuevas funcionalidades y bibliotecas a la aplicación informática existente que implementen las propuestas de cambios al procedimiento.

En conformidad con la hipótesis planteada, el objetivo general de la investigación es: Modificar el procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible de los territorios cubanos, para la alineación del Índice de Desarrollo Sostenible Territorial a la perspectiva de sostenibilidad fuerte, mediante el desarrollo y la aplicación de métodos que sustenten las decisiones adoptadas a lo largo del proceso de construcción del índice, y su implementación en una nueva versión de la aplicación informática existente.

Este objetivo general se puede desglosar en los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar las técnicas y métodos aplicables al procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible territorial a partir del análisis de la literatura relacionada con la construcción de índices de sostenibilidad compuestos.
2. Proponer las técnicas y métodos que solucionen los problemas identificados modificando las etapas del procedimiento.
3. Adicionar las bibliotecas y funcionalidades en una nueva versión de la aplicación informática existente que implementen las modificaciones realizadas al procedimiento.
4. Aplicar el procedimiento modificado para la evaluación de los territorios cubanos.

Para dar cumplimiento al sistema de objetivos propuestos, este trabajo de investigación transitó por varias etapas, cuyos resultados tributan a la estructura de la presente tesis de la siguiente forma.

El CAPÍTULO 1 aborda los elementos teóricos y prácticos que sustenta la construcción de índices de sostenibilidad compuestos, profundizando en los métodos para la selección de indicadores, la ponderación de indicadores y la agregación de los datos.

El CAPÍTULO 2 retoma las oportunidades de mejora del procedimiento y se presentan las propuestas de solución a cada una de las problemáticas identificadas. Además, aborda los aspectos de diseño y arquitectura de la nueva versión de la aplicación informática para incorporar las modificaciones al procedimiento.

El CAPÍTULO 3 muestra los resultados de la aplicación de las adecuaciones realizadas al procedimiento en la evaluación del desarrollo sostenible en una década de las quince

INTRODUCCIÓN

provincias cubanas y su municipio especial, así como en la comparación entre los dieciséis territorios en cada uno de los diez años.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones generales producto de la investigación realizada.

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE MEDIANTE ÍNDICES DE SOSTENIBILIDAD COMPUESTOS

El desarrollo sostenible es un concepto fundamentado en la propuesta de garantizar la continuidad del desarrollo y la evolución de la raza humana en armonía con el medio ambiente. Su correcta evaluación constituye una herramienta de apoyo al proceso de toma de decisiones en todos los niveles de dirección. En el presente capítulo se abordarán los aspectos fundamentales relacionados con la conceptualización del desarrollo sostenible, el marco regulatorio y político que lo rige tanto a nivel internacional como nacional, los métodos para su evaluación y su aplicación en el contexto nacional, basado en resultados de investigaciones y aplicaciones prácticas empleando herramientas informáticas.

1.1. El desarrollo sostenible como referencia

La década de los 70 marcó el inicio de las primeras manifestaciones de alarma sobre el desequilibrado crecimiento industrial y su negativo impacto en el medio ambiente. A finales de los años 80 y principios de los 90 el debate sobre la sostenibilidad adquirió mayor connotación, convirtiéndose en uno de los principales temas de análisis por parte de la comunidad científica y política a nivel mundial. Durante la década de los 90 el debate se centró en su faceta medioambientalista; posteriormente, producto de una mayor profundización en el estudio de la sostenibilidad, se comenzaron a considerar otros puntos de vista como el ámbito sociocultural y económico como factores también importantes dentro del estudio de la sostenibilidad (Linares et al., 2013).

Achkar et al. (2005) definieron el término sustentabilidad como “el estado de condición del sistema ambiental en el momento de producción, renovación y movilización de sustancias o elementos de la naturaleza, minimizando la generación de procesos de degradación del sistema, tanto presentes como futuros”.

El desarrollo sostenible es un proceso multidimensional que implica la búsqueda de equilibrio entre el desarrollo económico, social y ecológico (ver Figura 1.1). La puesta en marcha de una estrategia de desarrollo sostenible requiere que las partes involucradas en estos tres procesos negocien y asuman sus compromisos (Casares Long y Arca Ruibal, 2002).

Los principios básicos sobre los que debe sustentarse este proceso multidimensional e intertemporal son la equidad, la conservación, la eficiencia, la gobernabilidad y la identidad (Márquez y Cuétara, 2006).

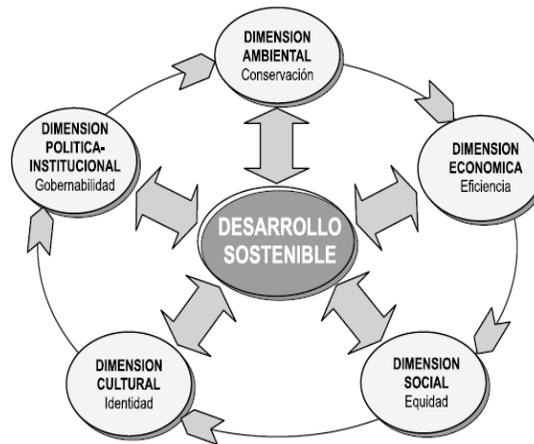


Figura 1.1. Multidimensionalidad del desarrollo sostenible. Fuente: Márquez y Cuétara (2006).

No obstante a las múltiples definiciones que se le han dado al desarrollo sostenible, el desafío común que plantean estos conceptos es ligar los componentes económicos, sociales y ambientales para crear un proyecto social que permita desarrollar actividades económicas dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas locales, de manera tal que la población local se beneficie integralmente mientras se preserva el bienestar de la gente en cualquier lugar del planeta y de las generaciones futuras (Devuyst, 2001).

1.1.1. Dimensiones del desarrollo sostenible

Según Achkar et al. (2005) las tres dimensiones del desarrollo sostenible están ampliamente reconocidas, ellas son:

- La dimensión ambiental: considera aquellos aspectos relacionados con la preservación y potenciación de la diversidad y complejidad de los ecosistemas, su productividad, los ciclos naturales y la biodiversidad.
- La dimensión económica: incluye a todo el conjunto de actividades humanas relacionadas con la producción, distribución y consumo de bienes y servicios, así como el uso de energía, la generación y el manejo de desechos y el transporte.
- La dimensión social: se refiere a la distribución adecuada tanto entre la población actual (equidad intrageneracional) como entre las generaciones actuales y futuras (equidad intergeneracional) de los costes y beneficios, así como a la cobertura de las

necesidades básicas humanas, incluyendo también aspectos culturales, políticos, demográficos, institucionales y las relaciones sociales.

Por su parte DiSano (2002) establece que se pueden definir de forma independiente otras dimensiones como la política- institucional y la cultural.

1.1.2. Enfoques del desarrollo sostenible

Los avances logrados en la comprensión del proceso de desarrollo y su dinámica cambiante han contribuido a aumentar el caudal de conocimientos en esta temática. Según Sepúlveda (2008), los principales enfoques en el desarrollo sostenible provienen del campo de la economía ambiental y del enfoque de acceso a posibilidades de Amartya Kumar Sen (Sen y Clapp, 2000), quien propuso un enfoque alternativo a la tradicional economía del bienestar, cuyo principal objetivo se basa en lo que los individuos son capaces de hacer.

En la vertiente de la economía ambiental, la ineficiencia y la ineficacia del mercado, han sido señaladas como las principales responsables por la degradación de los recursos naturales. Así, se ha exhortado a gestionar apropiadamente esos recursos y a brindarles la debida importancia a los aspectos participativos y distributivos del desarrollo, tanto entre generaciones, como entre los distintos grupos sociales de una misma generación.

En el enfoque de acceso a posibilidades el desarrollo es un estado de bienestar común, y el bienestar no se relaciona exclusivamente con indicadores económicos positivos, sino que el desarrollo se entiende como un proceso donde los objetivos económicos son solo un medio para alcanzar un fin mayor: la libertad humana. Según esta perspectiva el éxito de una sociedad debe juzgarse por las posibilidades reales que las personas tienen para elegir el nivel de vida que desean tener. Entonces, el bienestar se mide por el acceso real que tengan las personas a las oportunidades sin importar factores como el género, la edad, la etnia, entre otros (Sepúlveda, 2008). El enfoque de Sen hace hincapié en que el crecimiento económico no es sinónimo de desarrollo, aunque no niega la importancia del crecimiento económico como motor del desarrollo. Por tanto, el fomento de las actividades productivas debe ir acompañado de políticas que permitan la distribución de los beneficios entre todos los miembros de la sociedad.

Los enfoques citados ponen de manifiesto los variados temas y disciplinas que se vinculan con el desarrollo sostenible, así como la manera vertiginosa en que este evoluciona en términos conceptuales y metodológicos.

1.1.3. Soporte al desarrollo sostenible

El reto del desarrollo sostenible cuenta con una serie de documentos políticos que sustentan su concepto, siendo la Agenda 21 el que más vigencia conserva en la actualidad. La Agenda 21 es un documento político y su aprobación fue el resultado de la Cumbre de Río del año 1992 (UNSD, 1992). A través de este documento la comunidad internacional se comprometió a poner en práctica un programa que contiene las estrategias para prevenir el deterioro del medio ambiente y establecer las bases para un desarrollo sostenible a escala planetaria en el siglo XXI, e insiste en que el desarrollo sostenible sólo es posible si se planifica de manera explícita (CITMA et al., 2012). Para casi todas las cuestiones importantes especifica un proceso lento y profundo de análisis simultáneo de un gran número de aspectos, de toma de decisiones concretas sobre asuntos prioritarios, de creación y perfeccionamiento de sistemas de control a largo plazo, compromisos y sacrificios e incentivos y motivaciones, así como objetivos cuantificables y fechados para ejecutar el resultado de las decisiones adoptadas (Local Government Management Board, 1993).

A partir del triunfo revolucionario de 1959 el pensamiento y la acción ambiental cubana han crecido y se han perfeccionado paralelamente al proyecto de elevar el nivel y la calidad de vida del pueblo cubano (ONEI, 2009). Los siguientes documentos evidencian este accionar:

- Ley 33 de Protección del Medio Ambiente y del Uso Racional de los Recursos Naturales de 1981 (Asamblea Nacional del Poder Popular, 1981);
- Decreto Ley 118 de enero de 1990 “Estructura, Organización y Funcionamiento del Sistema Nacional de Protección del Medio Ambiente y su Órgano Rector” (Consejo de Estado, 1990);
- Promulgación en 1992 del Artículo 27 de la Constitución de la República de Cuba de 1976 (Asamblea Nacional del Poder Popular, 1992);
- Ley 81 del Medio Ambiente en 1997 (Asamblea Nacional del Poder Popular, 1997, p. 81);
- Establecimiento de la Estrategia Ambiental Nacional en 1997;

- Aprobación de los “Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución” en 2011 (VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, 2011);
- Aprobación del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030: propuesta de visión de la nación, ejes y sectores estratégicos (VII Congreso del Partido Comunista de Cuba, 2016); y
- Promulgación de la nueva Constitución de la República de Cuba en 2019 (ANPP, 2019).

La confirmación de la toma de conciencia del Estado en pos de la protección del medio ambiente y la sostenibilidad del proceso revolucionario cubano, lo constituye la creación del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) en 1994.

1.2. Evaluación del desarrollo sostenible mediante indicadores

Las evaluaciones de sostenibilidad emergieron como una de las herramientas más útiles para hacer operativo el concepto de desarrollo sostenible. Según Fernández Latorre (2006) un problema epistemológico que surge ineludiblemente es si existe un cuerpo teórico unificado que defina el camino metodológico básico para la elaboración de indicadores de sostenibilidad y medio ambiente. Aunque numerosos autores señalan requisitos que deberían cumplir los indicadores, estas indicaciones son habitualmente de naturaleza puntual o parcial, sin llegar a instituir un método sólido que totalice y guíe la compleja labor de diseño de indicadores de sostenibilidad y medio ambiente, así como el diseño de sistemas de indicadores.

Según Castro Bonaño (2002), un indicador es una variable que representa a otra variable o a un conjunto de variables en un modelo simplificado del sistema en estudio. Ofrece información que permite evaluar condiciones y tendencias, comparar lugares y situaciones, obtener información de forma prioritaria y rápida, anticipar las condiciones y tendencias futuras. Por tanto, sirve como instrumento para valorar la efectividad de las medidas que se hayan tomado para contrarrestar o atenuar los problemas que reflejan.

Castro Bonaño (2002) establece que la definición de los indicadores de sostenibilidad refleja el concepto de desarrollo sostenible que se desea implementar. Su finalidad es indicar de alguna forma si las actividades humanas y el uso de los recursos naturales o determinadas funciones

ambientales asociadas al desarrollo de la sociedad, pueden considerarse sustentables de acuerdo a algún criterio de sostenibilidad. Este objetivo marca la diferencia con respecto a indicadores económicos convencionales como el Producto Interno Bruto y la Renta Percápita, que mistifican las auténticas condiciones de equilibrio y sostenibilidad de los modelos de desarrollo.

Destacan los trabajos realizados en el campo de los indicadores y sistemas de información para el desarrollo sostenible de Meadows (1998), la teoría y los métodos de indicadores de desarrollo sostenible de Bossel (1999) y las metodologías para el desarrollo de programas nacionales de indicadores de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. En investigaciones realizadas por Castro Bonaño (2002), Márquez y Cuétara (2006), Sepúlveda (2008), Martínez de la Vega et al. (2014) y Arnés (2011) se han desarrollado y aplicado metodologías para la evaluar la sostenibilidad desde distintos enfoques, ámbitos y escalas. Según Arnés (2011), aunque no todas las evaluaciones contemplan los mismos principios, cualquier proceso de medición o valoración de la sostenibilidad debe guiarse por una visión operativa del desarrollo sostenible, basándose en objetivos claros sobre la base de un enfoque comprehensivo u holístico.

Los aportes realizados en materia de evaluación de la sostenibilidad se pueden agrupar básicamente en tres grupos: indicadores de sostenibilidad física, indicadores de sostenibilidad integral e índices agregados de sostenibilidad.

1.2.1. Indicadores de sostenibilidad física

Según Castro Bonaño (2002), los indicadores de sostenibilidad física difieren de los meramente medioambientales, en base a que los primeros reflejan no sólo las condiciones y presiones medioambientales, sino también el grado en que ciertas presiones o impactos sobre la Tierra pueden afrontarse a largo plazo sin afectar las estructuras y procesos básicos para la vida. El interés no radica por tanto en el conocimiento de determinado contaminante sino en relacionarlos en términos de distancias con los objetivos de política definidos acerca de emisiones máximas o capacidad de carga crítica. Pueden expresarse en términos de flujos, tasas de crecimiento o tasa de desviación respecto al umbral, objetivo o estándar.

1.2.2. Indicadores de sostenibilidad integral

El grupo de indicadores de sostenibilidad integral se refiere a sistemas de indicadores que desde una visión integradora consideran no únicamente los indicadores ambientales, sino también los referidos a las cuestiones sociales, económicas e institucionales. Un sistema de indicadores organizado de acuerdo a un marco conceptual coherente, adquiere mayor utilidad que si se presenta como un mero listado de elementos.

1.2.2.1. Fuerza Motriz-Estado-Respuesta

El marco FMER fue desarrollado y adoptado por la ONU a partir de 1995, tomando como base el modelo Presión-Estado-Respuesta diseñado por la Organización de Cooperación para Desarrollo Económico (OCDE) en 1993 para reflejar aspectos puramente ambientales, con la idea de incorporar las connotaciones sociales, económicas e institucionales del desarrollo sostenible. El FMER establece los siguientes grupos de indicadores (Quiroga Martínez, 2007):

- **Indicadores de Fuerza Motriz:** representan actividades humanas, procesos y patrones que tienen un impacto en el desarrollo sostenible. Corresponden al desarrollo a nivel de empresas, industrias o sectores económicos, así como a tendencias sociales. Son ejemplos de este grupo la tasa de crecimiento de la población y la emisión de gases de efecto invernadero.
- **Indicadores de Estado:** proveen un índice del estado del desarrollo sostenible o de un aspecto particular de éste en cierto momento. Corresponden a indicadores cualitativos o cuantitativos. Ejemplos de este grupo lo constituyen la expectativa de escolaridad y la concentración de contaminantes en zonas urbanas.
- **Indicadores de Respuesta:** indican opciones de políticas y otras respuestas sociales a los cambios en el estado del desarrollo sostenible. Estos indicadores proveen una medida de la disposición y efectividad social en la construcción de respuestas. Incluye legislaciones, regulaciones, instrumentos económicos, actividades de comunicación. Ejemplos de este grupo lo constituyen la cobertura de tratamiento de aguas y gasto en la disminución de la contaminación.

Según Quiroga Martínez (2007), la crítica sobre linealidad y causalidad se mantiene en este esquema. Es poco generalizable y de escasa confiabilidad al no considerar la

interdependencia entre los diferentes factores y el carácter de multicausalidad que opera en los fenómenos sociales y ambientales. Estas mismas razones conspiran en contra de saber cuáles de las medidas propuestas se consideran como efectivas para mejorar el estado. Por estas razones la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS) de las Naciones Unidas decidió abandonar este enfoque.

1.2.2.2. Marcos ordenadores temáticos

Quiroga Martínez (2007) establece que los indicadores se pueden organizar esquematizándolos por temas y subtemas, para generar cierta lógica en la comunicación de los resultados. Los marcos temáticos en general están estructurados de acuerdo a las condiciones institucionales de los países y a las prioridades de sostenibilidad en sí. Las dinámicas del medio ambiente y sostenibilidad, que son multisectoriales y complejas, encuentran en estos esquemas una manera de presentar los indicadores. Estos marcos han sido utilizados por varios países como Canadá, Suecia, Nueva Zelanda, España, Estados Unidos y casi todos los países latinoamericanos y caribeños.

Los marcos ordenadores temáticos también pueden utilizarse para monitorear el avance respecto a objetivos concretos de medio ambiente y sostenibilidad que se plantean. El sistema mundial de Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) se estructura en grandes objetivos con metas más concretas, a las cuales se asocian indicadores con metas cuantitativas y temporales para medir los progresos hacia el logro de los objetivos. En el contexto del Programa de Trabajo de la CDS, se desarrolló en 2001 un marco ordenador temático en el cual se definieron 57 indicadores centrales de desarrollo sostenible, organizados en cuatro dimensiones, 18 temas y 38 subtemas. Este marco tuvo la ventaja de que los temas y subtemas reflejaron los énfasis nacionales tanto de los problemas como de los desafíos del desarrollo sostenible (UNDPI, 2009).

1.2.3. Índices de sostenibilidad compuestos

Los índices de sostenibilidad compuestos (ISC) basan su obtención en el proceso de sintetizar o agregar en un índice varios indicadores que tributan a la sostenibilidad y que se le subordinan a una jerarquía temática basada ya sea en dominios, áreas claves o la combinación de ambos. Existen dos corrientes en la discusión sobre ISC:

- La primera se relaciona con el concepto de “sustentabilidad débil”, según el cual es posible asignar valores monetarios actualizados a los recursos naturales y a los servicios ambientales de la naturaleza, pudiendo estimar así el desgaste del capital natural en términos monetarios. En esta corriente se destacan los índices IBES, Riqueza Verdadera y Ahorro Genuino (WorldBank, 1999).
- La segunda corriente parte del concepto de “sustentabilidad fuerte”, que sostiene que es necesario determinar la capacidad del planeta para sostener al conjunto de la economía humana y mantener las funciones ecosistémicas que aseguren la vida en general. En este grupo se encuentran Huella Ecológica e Índice del Planeta Vivo (Achkar et al., 2005; Loh et al., 2005).

Los ISC poseen elementos valiosos tales como su capacidad de sintetizar elementos de las dinámicas ecológica, económica y social. Sin embargo, poseen inconvenientes desde el punto de vista metodológico, derivadas de la heterogeneidad de las variables y la simplificación excesiva. Según Romero (2012), en torno a la sostenibilidad resulta engorroso además justificar la selección de las variables y su importancia, ya que no existe consenso en la comunidad científica para ello. Por su parte, Quiroga Martínez (2007) establece que a menudo se tendía a pensar que los indicadores sintéticos y los sistemas de indicadores eran aproximaciones antagónicas, aunque la práctica ha demostrado que pueden complementarse porque todo trabajo de integración de varias variables, en una sola expresión numérica, implica la generación de componentes previas que pueden expresarse por separado a través de un sistema, de forma que el decisor las utilice de una u otra forma, de acuerdo a sus necesidades.

1.3. Construcción de índices sostenibilidad compuestos

Los ISC se han tornado más importantes con el objetivo de evaluar y comparar el rendimiento de países, regiones o instituciones. Su amplia variedad revela su reconocimiento como herramienta para la evaluación de políticas y para la comunicación. De acuerdo con Nardo et al. (2008), el número de ISC existentes alrededor del mundo crece año tras año, especialmente por su propósito de resumir, enfocarse y condensar la complejidad de ambiente dinámico. Según El Gibari et al. (2019), los ISC son mucho más fáciles de interpretar que

intentar detectar las tendencias y los comportamientos en múltiples indicadores de diferentes tipos.

En la práctica, los ISC han sido aplicados en dimensiones relevantes de la realidad, como la competitividad entre los países (World Economic Forum, 2017a), la calidad de sus gobiernos (World Justice Project, 2016), la libertad de prensa (Freedom House, 2017), el desarrollo humano a nivel global, regional y nacional (UNDP, 2016), la medida de paz mundial (Institute For Economics & Peace, 2017), la competitividad en el turismo (World Economic Forum, 2017b), la medida de desarrollo económico de los países (The World Bank, 2017), y la eficiencia de las universidades (*Academic Ranking of World Universities*, *Times Higher Education World University Ranking* o *QS World University Ranking*), por solo mencionar algunos.

Según Saisana y Tarantola (2002), un ISC es la combinación matemática de indicadores individuales que representan diferentes dimensiones de un concepto cuya descripción es el objetivo del análisis. La construcción del ISC ha sido abordada desde diversos ángulos. La literatura refleja la diversidad de enfoques metodológicos.

La construcción del ISC es un proceso dinámico y multinivel como se muestra en la Figura 1.2.

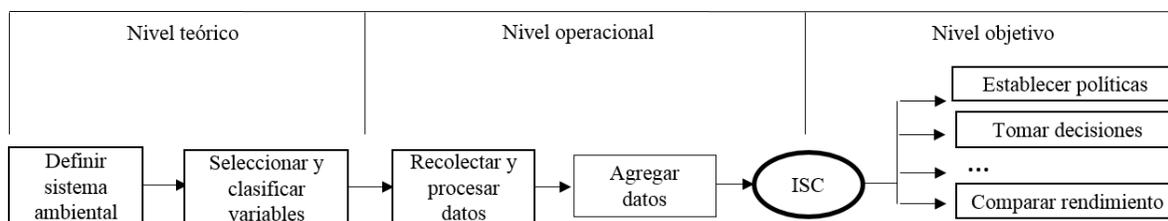


Figura 1.2. Proceso de construcción de un índice de sostenibilidad compuesto. Fuente: elaboración propia basada en Zhou et al. (2006).

En el nivel teórico, expertos de las ramas medioambientales, económicas y sociales están usualmente involucrados en el propósito de desagregar el sistema objeto de estudio en varios subtemas y en la selección de los indicadores ambientales más representativos. En el nivel operacional, investigadores afines a las ramas de las matemáticas, la computación y el procesamiento de la información, intervienen con el propósito de recolectar y procesar la información, y proponer métodos efectivos para la normalización, ponderación y agregación

de los indicadores seleccionados con el fin de obtener el índice de sostenibilidad (Gan et al., 2017; Zhou et al., 2006). En el nivel objetivo los decisores emplean el índice para controlar y establecer nuevas políticas, tomar decisiones y hacer comparaciones de los sistemas en el tiempo.

Según El Gibari et al. (2019), generalmente la construcción de un ISC se resume a tres procesos principales: la normalización de los datos de los indicadores, la ponderación de los indicadores y la agregación de los datos. Otros autores adicionan como paso previo a los antes mencionados la selección de los indicadores (fundamentalmente en el nivel teórico del proceso de construcción del ISC de la Figura 1.2) (Medel González, 2012; Munda, 2005; Vega Calcines, 2014).

1.3.1. Selección de indicadores

La selección adecuada de los indicadores sobre los que se construye el ISC influye en el objetivo de sostenibilidad a medir. La literatura refleja la aplicación de diversos enfoques en su determinación, entre ellos se encuentran la aplicación de técnicas estadísticas para detectar los indicadores cuyos datos hipotéticamente poseen mayor relevancia estadística al objetivo de la sostenibilidad, los métodos participativos y los métodos basados en sistemas de referencia.

1.3.1.1. Técnicas estadísticas para la selección de indicadores

Las técnicas estadísticas de análisis multivariado constituyen un instrumento útil en la selección de indicadores al elaborar un indicador sintético que resuma la variabilidad observada en un conjunto de variables. Según Castro Bonaño (2002), el análisis de componentes principales (ACP) es la técnica con mayor aceptación en la elaboración de índices, aplicados ampliamente en los ámbitos de las ciencias sociales y ambientales.

El método ACP es un procedimiento estadístico cuyo objetivo es reducir la dimensionalidad de los datos, sin pérdida significativa de información, empleando técnicas de transformación lineal (Dunteman, 1989). Empleando la estructura de correlación de los datos originales, ACP extrae componentes ortorrómbicas que comparten las variables altamente correlacionadas. Las componentes con mayores valores de proporción de varianza son retenidas mientras que las componentes menos informativas son ignoradas. Las componentes retenidas se rotan de

forma tal que cada indicador original se carga solamente en una componente principal. Según Castro Bonaño (2002), también ha sido empleado para sintetizar la información contenida en un número elevado de indicadores sobre diversos factores determinantes del nivel de desarrollo, calidad de vida y bienestar.

1.3.1.2. Métodos basados en expertos para la selección de indicadores

Entre los métodos que involucran la participación de expertos o interesados en el objeto de sostenibilidad a medir se encuentra la metodología propuesta por Fernández-Sánchez y Rodríguez-López (2010) para identificar indicadores de sostenibilidad en proyectos de la construcción. Aunque el área de aplicación de la metodología es específica, las etapas que la componen son aplicables a cualquier proceso de construcción de índices de sostenibilidad. En la Figura 1.3 se muestran las cinco etapas de la metodología.

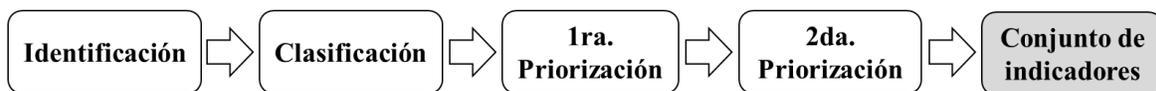


Figura 1.3. Método para la selección de indicadores empleado la participación de expertos o interesados en el objetivo de sostenibilidad a medir. Fuente: Fernández-Sánchez y Rodríguez-López (2010).

En la fase de Identificación, Fernández-Sánchez y Rodríguez-López (2010) propusieron emplear varias técnicas, entre las que se encuentra la revisión de documentación, recopilación de información a través de encuestas y entrevistas, tormentas de ideas y la comparación con otras áreas o herramientas existentes. En las etapas de clasificación y priorización de los indicadores, propusieron emplear alguno de los siguientes esquemas: a través de los pilares del desarrollo sostenible, seguir el ciclo de vida del proyecto o distribuyendo las oportunidades identificadas (en la forma de los indicadores candidatos) en los diferentes elementos del proyecto. La selección de los indicadores más influyentes para el desarrollo sostenible se ejecuta empleado el principio de Pareto (Craft y Leake, 2002), que establece que el 80% de los problemas son originados por el 20% de las causas, por tanto el 80% del problema de sostenibilidad puede medirse con el 20% de los indicadores identificados. La primera priorización de los indicadores se ejecuta de acuerdo a un marco de referencia basado en normas ISO para los proyectos específicos de construcción y la segunda empleando una matriz de priorización mediante el proceso de jerarquías analíticas (AHP, por sus siglas en inglés) (Saaty y Saaty, 2003).

Por otra parte, los Principios de Bellagio (Hardi et al., 1997) constituyen una guía para todo el proceso de evaluación de la sostenibilidad, incluyendo la selección y el diseño de los indicadores, de conjunto con su interpretación y la comunicación de sus resultados. Fueron concebidos para su uso en actividades de inicio o mejora del proceso de evaluación de grupos de comunidades, corporaciones, gobiernos nacionales e instituciones internacionales. El Principio 1 parte del punto de inicio de cualquier evaluación, estableciendo la visión de desarrollo sostenible y objetivos precisos que brinden una definición práctica de la visión establecida en términos de que sean significativos para el proceso de toma de decisiones. Los Principios del 2 al 5 manejan los contenidos que debe poseer cualquier proceso de evaluación enfocándose en las temáticas priorizadas de la actualidad. Los Principios del 6 al 8 manejan las cuestiones claves del proceso de evaluación, mientras que los Principios del 9 al 10 establecen la necesidad de mantener capacidades de evaluación continuas. De forma general, los Principios de Bellagio establecen el proceso de selección de los indicadores basados en el objetivo del proceso de evaluación. Para apoyar el proceso de selección una vez identificado el objetivo a evaluar, se emplean cuestionarios, consultas y matrices de decisión (Hardi et al., 1997).

1.3.1.3. Selección de indicadores basados en marcos de referencia

Los marcos de referencia establecen pautas o guías generales a seguir en el proceso de evaluación de la sostenibilidad. Estudios posteriores a la década de los 90, con el fin de aportar guías precisas, establecieron indicadores específicos que debían homogeneizar el proceso de evaluación de la sostenibilidad. Entre estos indicadores de referencia se encuentran los establecidos por la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas en marzo de 2001 (CSD, 2001), a partir de una prueba piloto emprendida en varios países con el fin de evaluar los niveles de desarrollo sostenibles alcanzados. Este estudio permitió identificar 12 indicadores usados frecuentemente por los países, 8 usados indistintamente por varios países y 12 sugeridos por los países como un aporte significativo a la evaluación de la sostenibilidad. Este marco de indicadores fue posteriormente actualizado en 2006 acorde con la evolución del objetivo de sostenibilidad a medir (Quiroga Martínez, 2007).

1.3.2. Normalización

Supóngase la existencia de m sistemas ambientales comparables S_i ($i = 1, 2, \dots, m$), cuyos índices de sostenibilidad serán calculados basados en n variables ambientales V_j ($j = 1, 2, \dots, n$). La matriz $X = (x_{ij})_{m \times n}$ denota la matriz ambiental original, donde x_{ij} es el valor del sistema S_i correspondiente a la variable ambiental V_j obtenido en un instante de tiempo y una localización geográfica determinada. Así mismo se asume que w_j es el peso asignado a la variable ambiental V_j . Como las variables que componen V_j usualmente poseen diferentes unidades de medida, primeramente se aplica un procedimiento de normalización a X antes de la agregación (Chang y Yeh, 2001; Zeleny, 1982). Posterior a la normalización, las variables resultantes, es decir r_{ij} , se tornan adimensionales y satisfacen “a mayor valor, mejor”. Cuatro de los mecanismos para la normalización de indicadores son el Z-score, el método Min-Max, el procedimiento de normalización lineal y la distancia a un sistema de referencia.

1.3.2.1. Z-score

Z-score es una técnica empleada en el establecimiento de indicadores de todo tipo. Su objetivo es transformar y normalizar variables para hacerlas comparables sobre la base de una unidad común. Representa la desviación del valor de la media dividida entre el promedio de la desviación de la media de la variable (véase la Ecuación 1.1), donde μ es la media de la variable a normalizar y σ es la desviación de la media de la variable a normalizar.

$$Z - score = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

La función estandariza la variable haciendo su media cero y la desviación estándar la unidad, los valores pueden ser positivos y negativos. Con el valor del estadígrafo se localiza en la tabla de la distribución normal y se obtiene el valor del indicador el cual está comprendido entre cero y uno. Las restricciones prácticas que puede tener este método de normalización es que se hace necesaria la existencia de una cantidad de mediciones previas para determinar la media y la desviación de la media de la variable. Según Medel González (2012), el método Z-score tiene una ventaja al no ser tan sensible con los valores extremos.

1.3.2.2. Método Min-Max

El método Min-Max es conocido como la distancia al mejor y al peor desempeño, pues escala los valores entre esos dos estados. Un ejemplo práctico de la aplicación de este método se puede apreciar en el cálculo del Índice de Desarrollo Humano Territorial en Cuba, para determinar la medida crítica en función del valor deseable del indicador y el valor de privación fijado (Méndez Delgado y Lloret Feijóo, 2012) (véase la Ecuación 1.2).

$$IP_i = \frac{\max X_i - X_i}{\max X_i - \min X_i} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Al representar una medida de privación, para obtenerse el valor porcentual normalizado de cumplimiento del indicador se utiliza la Ecuación 1.3 presentada por Krajnc y Glavič (2005).

$$IP_i = 1 - \frac{\max X_i - X_i}{\max X_i - \min X_i} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Para el caso específico de los indicadores de sostenibilidad, los valores deseables y de privación pueden fijarse tomando determinados valores de referencia o tomarse de los máximos y mínimos de una serie de datos histórica. A pesar de las críticas a este método, según Castro Bonaño (2002) si los límites están bien estimados, ya sea tomados de un volumen considerable de mediciones o empleando máximos y mínimos empíricos, los resultados pueden ser adecuados.

1.3.2.3. Procedimiento de normalización lineal

La normalización lineal consiste en fijar el valor de la meta y asignarle el 100% al valor líder; los demás valores se ordenan en puntos porcentuales separados de la meta. Este método fue defendido por Esty et al. (2005) y Zhou et al. (2006), quienes recomiendan la Ecuación 1.4.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij}\}} & \text{si } V_j \text{ satisface "a mayor valor mejor"} \\ \frac{\min\{x_{ij}\}}{\{x_{ij}\}} & \text{si } V_j \text{ satisface "a menor valor mejor"} \\ \frac{\min\{x_{ij}, x^0_j\}}{\max\{x_{ij}, x^0_j\}} & \text{si } x^0_j \text{ es el valor ideal para } V_j \end{cases} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Se puede apreciar que los valores normalizados mediante la Ecuación 1.4 son adecuadamente interpretables y además tiene en cuenta la naturaleza del indicador (Zhou et al., 2006).

1.3.2.4. Distancia a un marco de referencia

El procedimiento de normalización empleando la distancia a un marco de referencia parte de definir cuáles serán los valores de referencia para cada indicador. Estos valores de referencia, al ser exógenos con respecto a los datos, requieren de la participación de expertos de las diferentes dimensiones de la sostenibilidad que tributan al ISC. Otra alternativa para obtener los valores de referencia se basa en los estándares definidos por organizaciones internacionales, que establecen el marco de referencia común a ser empleados por todos los países o instituciones que deseen emitir determinado criterio o evaluación sobre el comportamiento de ciertos indicadores. En su investigación, Vega Calcines (2014) propuso emplear una variación del método de normalización lineal expuesto anteriormente, empleado los valores de referencia que se definieron para cada indicador.

En la Ecuación 1.5 se define la normalización de las variables de tipo “a mayor valor mejor” estableciendo a V_j^* como el valor deseado mínimo. En la Ecuación 1.6 se define la normalización de las variables de tipo “a menor valor mejor”, donde V_j^* representa el máximo valor de privación. En la Ecuación 1.7 define la normalización de las variables cuyos valores ideales se encuentran en el intervalo $[V_{jmin}^*, V_{jmax}^*]$.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{V_j^*} & \text{si } V_j \text{ satisface "a mayor valor mejor"} \\ 1; x_{ij} \geq V_j^* & V_j^* \text{ es el valor deseado} \end{cases} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{V_j^*}{x_{ij}} & \text{si } V_j \text{ satisface "a menor valor mejor"} \\ 1; x_{ij} \leq V_j^* & V_j^* \text{ es la privación} \end{cases} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{V_{jmin}^*}; x_{ij} < V_{jmin}^* \\ 1; V_{jmin}^* \leq x_{ij} \leq V_{jmax}^* \\ \frac{V_{jmax}^*}{x_{ij}}; x_{ij} > V_{jmax}^* \end{cases} \quad \text{si los valores ideales de } V_j \text{ están en un rango} \quad \text{Ecuación 1.7}$$

1.3.3. Ponderación

Los indicadores pueden ponderarse teniendo en cuenta la medida de la distancia de los indicadores simples con respecto a un nivel de referencia, la opinión de los expertos o el reflejo de las preferencias sociales en base a algún tipo de encuesta. Según Gan et al. (2017), determinar los pesos de los indicadores es una actividad engorrosa pero fundamental; los indicadores deben ponderarse de acuerdo a su contribución a la sostenibilidad.

La literatura refleja la existencia de diversas técnicas para la ponderación de indicadores. Un estudio realizado por Gan et al. (2017) refleja la preferencia en la construcción de índices de sostenibilidad de los métodos de ponderación igualitaria, análisis de componentes principales, opinión pública, asignación de presupuesto, análisis de regresión y el proceso de jerarquías analíticas. Un resumen detallado del empleo de varias técnicas en la ponderación de indicadores se refleja en la Figura 1.4.

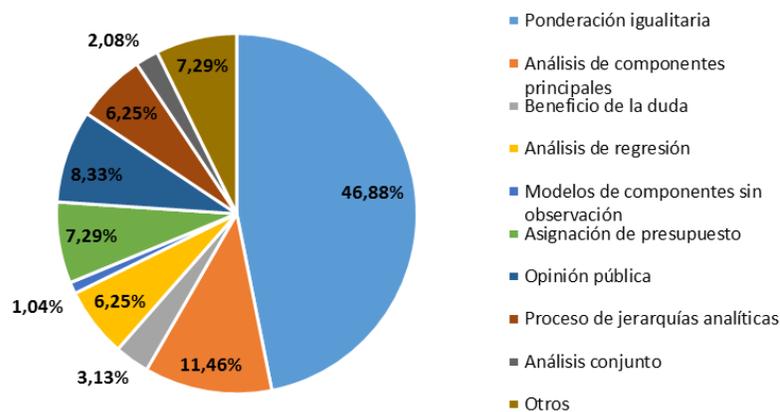


Figura 1.4. Proporción de métodos empleados en la ponderación de indicadores. Fuente: Gan et al. (2017).

La mayor cantidad de ISC se han construido empleando igual ponderación para los indicadores, la cual ha sido una práctica ampliamente criticada (Díaz-Balteiro et al., 2017; Díaz-Balteiro y Romero, 2004; Gan et al., 2017; Mikulić et al., 2015). Algunas técnicas emplean los datos para obtener los pesos, como son el análisis de factores (Dunteman, 1989), el análisis de componentes principales, el análisis de regresión (Nardo et al., 2005) y el análisis envolvente de datos (Nardo et al., 2005). Otras técnicas se denominan como participativas, pues emplean opiniones de los participantes, ya sean expertos o no, para determinan los pesos; entre ellas se encuentran el análisis conjunto (Wind y Green, 2013), la

asignación de presupuesto (Saisana y Tarantola, 2002), el beneficio de la duda (Nardo et al., 2005) y la opinión pública (van Haaster et al., 2017). También han sido empleadas algunas técnicas de toma de decisiones basadas en múltiples criterios como el proceso de jerarquías analíticas y el proceso de redes analíticas (Görener, 2012; Hernández et al., 2010; Saaty y Saaty, 2003).

1.3.3.1. Igual ponderación

Según Nardo et al. (2005), el método de la ponderación igualitaria puede emplearse cuando todos los indicadores se consideran igualmente importantes, o cuando no se dispone de evidencia estadística o empírica que sostenga un esquema de ponderación diferente. Es reconocida como la estrategia de ponderación más sencilla y que puede ser replicada fácilmente por otros. Varios índices de sostenibilidad como el Índice de Planeta Vivo (Loh et al., 2005), el Índice de Desarrollo Humano (UNDP, 1990) y el Índice de Ahorro Genuino (WorldBank, 1999) fueron construidos empleando esta estrategia. A pesar de su simplicidad, su uso ha causado controversias, fundamentalmente por la validez y transparencia de los índices que se han construido con este procedimiento (Geniaux, 2009; Mikulić et al., 2015; Rowley et al., 2012).

1.3.3.2. Análisis de componentes principales

Según Gan et al. (2017), el ACP ha sido empleado en la ponderación de sistemas de indicadores. Para ser empleado en la ponderación de índices de sostenibilidad, las componentes retenidas (que se conforman por la combinación de varios de los indicadores originales), son definidas como dimensiones, cuyas ponderaciones se obtienen de sus respectivas varianzas explicadas (Vitunskiene y Dabkiene, 2016). Como ACP reduce la dimensión de los datos en las componentes principales, su uso se recomienda cuando un sistema con numerosos indicadores debe ser considerado. Aunque su uso en la ponderación puede reducir el riesgo de la doble ponderación de indicadores, fue originalmente concebida para determinar la correlación entre indicadores o variables y no con el fin de la ponderación (Gan et al., 2017).

1.3.3.3. Opinión pública

Los pesos basados en la opinión pública se obtienen a partir de encuestas o consultas populares. Los encuestados pueden expresar sus preferencias sobre una agenda pública en

términos de “preocupación”. Los indicadores que reciben alta preocupación reciben alta ponderación y viceversa. Este proceso es útil para procesos basados en múltiples criterios y puede hacer que el proceso en sí sea participativo y transparente (Munda, 2004). Sin embargo, los pesos basados en este método expresan la preocupación popular en vez de la importancia de los indicadores para medir el desarrollo sostenible (Nardo et al., 2005). Por ejemplos, algunas personas pueden mostrar mayor preocupación por la contaminación del aire que por la pérdida de biodiversidad, puesto que la primera posee un impacto directo en su salud, sin embargo ambas son igualmente importante en términos de sostenibilidad. Este método posee la limitación de que los pesos no pueden transferirse al análisis de otros sistemas en una región geográfica distinta (Gan et al., 2017).

1.3.3.4. Proceso de jerarquías analíticas

El proceso de jerarquías analíticas (AHP, por sus siglas en inglés), es una técnica de decisión multicriterio desarrollada por Saaty (1980). Permite combinar factores cualitativos y cuantitativos en el proceso de selección. Es usado para establecer prioridades en una compleja situación problemática donde intervengan varios factores y la cuantificación de la prioridad relativa de cada alternativa en una escala que enfatiza la importancia intuitiva de los decisores, de conjunto con la consistencia de sus juicios al establecer comparaciones entre las variadas alternativas (Lombera y Rojo, 2010). El método AHP compara los criterios por pares según la escala o intensidad de preferencia de Saaty, la cual varía desde el valor 1 que indica la igualdad en la preferencia de dos criterios y el valor 9 que significa la prevalencia absoluta de un criterio sobre el otro. Con la selección de criterios a pares y sus resultados se construye la matriz de decisión (Saaty, 2008, 1980).

Varias investigaciones han ilustrado la preferencia de asignación sobre ciertos atributos por encima o por debajo de otros, siempre que la información no esté completa. El campo de la ingeniería ambiental y la sostenibilidad no han escapado a esta preferencia; algunos ejemplos de la aplicación del AHP en estas ramas se pueden apreciar en Tao y Hung (2003), Krajnc y Glavič (2005), Abella y Van Westen (2007), Gomez-Limón et al. (2008) y Lombera y Rojo (2010).

Según Hernández et al. (2010) el AHP es el método de decisión multicriterio más referenciado en la literatura desde finales del pasado siglo. Otros como Hermans et al. (2008)

plantean que esta ha sido una de las técnicas más usadas para la evaluación de los pesos de los indicadores ambientales tomando como ejemplos *Indoor Environment Index* (Chiang y Lai, 2002) y *Environmental Friendliness* (Puolamaa et al., 1996). También Saaty y Saaty (2003) plantean que los pesos k_i de los indicadores de sostenibilidad se obtienen generalmente haciendo uso del método de decisión AHP. A pesar de la amplia aceptación del AHP en la construcción de índices, Gan et al. (2017) establecen que brinda una visión poco realista de fenómenos naturales que en ocasiones suelen ser más ininteligibles, con un mayor número de relaciones e interrelaciones, convirtiendo el modelo en una estructura compleja. De forma similar al método de ponderación mediante la opinión pública, está limitado por lo local de las preferencias que emiten los expertos de un indicador sobre otro, lo que limita su generalización a otras localizaciones geográficas.

1.3.4. Agregación

La agregación consiste en sintetizar en un índice los valores correspondientes a los indicadores o subíndices que en la jerarquía establecida se le subordinan. Tiene en cuenta los valores correspondientes a las mediciones realizadas a los indicadores, o los valores calculados para el caso de los subíndices, y el peso asociado a cada uno, según corresponda.

Los métodos de agregación igualmente varían. La literatura refleja tres clasificaciones generales de métodos de agregación: los métodos de agregación aditivos, los métodos de agregación geométricos y los métodos de agregación no compensatorios (El Gibari et al., 2019; Gan et al., 2017; Zhou et al., 2006). Una distinción básica usualmente se realiza entre la agregación aditiva y la agregación geométrica. En la Figura 1.5 se muestra la proporción del empleo de estas técnicas en diversas investigaciones que se han realizado para la evaluación de la sostenibilidad mediante índices (Gan et al., 2017).

Existen otras técnicas de agregación basadas en métodos para la toma de decisiones basada en múltiples criterios (TDMC). Según Paruolo et al. (2013), las reglas de agregación lineal han sido criticadas debido a que bajos rendimientos en algunos indicadores pueden ser compensados por buenos rendimientos en otros indicadores; esta característica se denomina compensación. En oposición a eso, reglas de agregación no compensatoria y no lineales han sido defendidas en la literatura (Billaut et al., 2009; Munda, 2008).

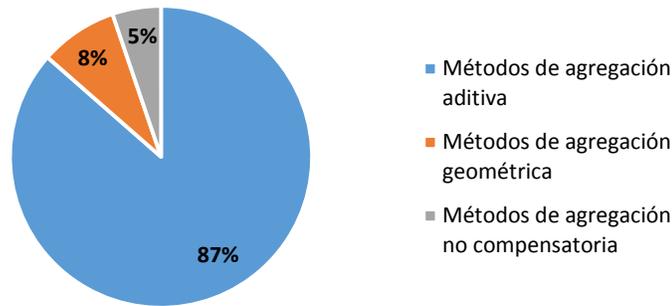


Figura 1.5. Proporción de métodos empleados para la agregación de indicadores. Fuente: Gan et al. (2017).

En esta corriente, la compensación puede ser: completa (métodos aditivos y métodos compensatorios), parcial (métodos geométricos y los métodos parcialmente compensatorios), o sin compensación (técnicas no compensatorias).

1.3.4.1. Métodos de agregación aditivos

Los métodos de agregación aditivos emplean funciones que suman los valores normalizados de los indicadores o subíndices para formar un índice de sostenibilidad. El método de agregación más empleado es la suma ponderada (SP), formulada mediante la Ecuación 1.8. La característica de continuidad de la SP implica que el límite para el índice de sostenibilidad se puede definir con precisión si ya se conoce el error de medición relativo de un conjunto de indicadores. Según Pollesch y Dale (2015), esta propiedad puede usarse para análisis de sensibilidad y cuantificación de la incertidumbre, ambas son elementos importantes en la evaluación de la sostenibilidad.

$$I_i = \sum_{j=1}^{i=n} w_j r_{ij} \quad i = 1, 2 \dots m \quad \text{Ecuación 1.8}$$

Sin embargo, se deben acotar dos características importantes de la SP. La primera está conectada a la preferencia de independencia entre los indicadores. Los índices de sostenibilidad deben ser mutuamente y preferencialmente independientes cuando se usan métodos de agregación aditiva lineales. Esto significa que las contribuciones de todos los indicadores pueden ser agregadas para alcanzar un valor total, implicando que no existe sinergia o conflicto entre los diferentes indicadores, una suposición que parece ser poco realista en muchas situaciones (Nardo et al., 2005). La segunda característica es que los pesos

empleados en la SP se convierten en tasas de compensación en vez de coeficientes de importancia, porque la naturaleza intrínseca de los métodos aditivos implica una lógica de compensación. Por tanto, según Gan et al. (2017), la SP no debe emplearse cuando la interacción entre indicadores sea sustancial.

1.3.4.2. Métodos de agregación geométricos

Los métodos de agregación geométricos emplean funciones multiplicativas en vez de aditivas. De forma contraria a los métodos aditivos, los métodos geométricos solo permiten compensación entre los indicadores dentro de ciertas limitaciones. Este requerimiento existe debido a la desigualdad de las medias geométrico-aritméticas (Bullen, 2013), que limita la debilidad de que los indicadores con bajo rendimiento sean compensados por aquellos que poseen alto rendimiento. Sin embargo, valores marginales significativos puede medirse empleando métodos geométricos cuando aumentan los valores de indicadores con valores absolutos relativamente bajos (Nardo et al., 2008).

El método del producto ponderado (PP), formulado mediante la Ecuación 1.9, es un método de agregación geométrico con el que el sistema con pobre rendimiento en algunos atributos recibe una mayor penalización (Chang y Yeh, 2001; Yoon y Hwang, 1995).

$$I_i = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Ecuación 1.9}$$

Otro método de agregación geométrico empleado en la construcción de índices de sostenibilidad es el método de la media geométrica ponderada (MGP), formulado mediante la Ecuación 1.10.

$$I_i = \prod_{j=1}^{j=n} (w_j r_{ij})^{1/n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{Ecuación 1.10}$$

Si los pesos de los indicadores son iguales, ambos métodos proporcionan el mismo resultado excepto con una proporción de diferencia constante en los índices calculados. Sin embargo, si se considera la situación en que los valores normalizados de los indicadores son iguales, sería lógico creer que los valores de los índices son irrelevantes a los pesos. Esta conclusión

aplica al método PP pero no para el método MGP. Por lo tanto, el método PP podría ser más apropiado que el método MGP para la construcción de índices de sostenibilidad (Zhou et al., 2006).

1.3.4.3. Métodos de agregación no compensatorios

Como los métodos aditivos y geométricos implican que la compensación entre los subcomponentes de sostenibilidad es aceptable, el empleo de estos métodos para agregar indicadores es usualmente controversial, especialmente cuando se adopta la perspectiva de sostenibilidad fuerte (Pollesch y Dale, 2015; Rowley et al., 2012). Cuando la compensación entre los indicadores se considera como inaceptable, los métodos de agregación no compensatorios resultan importantes.

Estos métodos se basan en dos puntos de vista: las propiedades de las funciones de agregación (Pollesch y Dale, 2015) y la perspectiva de toma de decisiones basadas en múltiples criterios (Munda, 2005). El enfoque multicriterio no compensatorio se basa en la preferencia de los decisores y se centra sobre el hecho de que el objetivo de la mayoría de los índices es para crear comparaciones entre sistemas (Munda y Nardo, 2005). Por tanto, el objetivo de estos métodos es construir un algoritmo de comparación que sea más consistente que la regla de agregación lineal (Munda, 2005). Dos procedimientos se emplean para calcular el índice: 1- las unidades se comparan por pares de acuerdo a todo el conjunto de indicadores para construir una matriz de clasificación; 2- las unidades son clasificadas en un pre orden completo de acuerdo a la matriz de clasificación (Munda y Nardo, 2005).

La formulación del método de agregación no compensatorio de Munda y Nardo (2005) se puede apreciar en la Ecuación 1.11, donde $Rank(Unit_i)$ es la clasificación general de las n unidades investigadas, φ_* es la puntuación correspondiente a la clasificación general de las unidades investigadas, y e_{jk} es el elemento genérico de la matriz de clasificación.

$$Rank(Unit_i)$$
$$s. t. \quad \varphi_* = \max \sum e_{jk}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Ecuación 1.11

1.3.4.4. Métodos de agregación combinados

La combinación o hibridación de métodos busca mejorar los resultados de la operación realizada empleando las potencialidades de cada método de forma combinada. Los métodos de agregación combinados buscan complementar los métodos tradicionales con las características no compensatorias que proporcionan otros métodos. El método del ideal desplazado ponderado (IDP) se basa en el concepto de que el mejor sistema es aquel que debe tener la menor distancia con respecto al sistema ideal (Zeleny, 1982). Se formula mediante la Ecuación 1.12, donde p es la métrica que constituye un número real que pertenece el intervalo $[1, \infty)$ o ∞ , mediante el cual se pueden conformar familias de índices de sostenibilidad.

$$I(p)_i = \left[\sum_{j=1}^n w_j^p r_{ij}^p \right]^{1/p} \tag{Ecuación 1.12}$$

Para $p = 1$ el método representa la suma ponderada, por tanto el índice que se obtiene es el resultado de la agregación. Cuando $p = \infty$, el valor representa el valor ponderado del indicador de menor rendimiento en la forma $Min[w_j r_{ij}]$. Este método fue investigado para la construcción de un índice de sostenibilidad apropiado por Díaz-Balteiro y Romero (2004), quienes lo reformularon acorde a la Ecuación 1.13 (IDP_λ) con el objetivo de reducir el costo computacional derivado de resolver el sistema no lineal para p en el intervalo de $[2, \infty]$, para obtener un índice representativo del balance entre los indicadores que conforman el sistema y el resultado de la agregación.

$$I_i = (1 - \lambda) \left[Min_j(w_j r_{ij}) \right] + \lambda \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \tag{Ecuación 1.13}$$

El parámetro de control $\lambda \in [0,1]$ establece la relación entre “máxima sostenibilidad agregada” y “sostenibilidad más balanceada”. Para $\lambda = 1$ se obtiene como sistema más sostenible aquel con el mejor resultado de agregación, y para $\lambda = 0$ se obtiene como sistema más sostenible aquel con mejor balance de desempeño entre los n indicadores de sostenibilidad considerados.

El experimento conducido por Zhou et al. (2006) arribó a la conclusión de que el índice que se obtiene mediante el método IDP para $p = \infty$ no es apropiado para la construcción del IS, aunque no debía ser ignorado porque provee algunas implicaciones sobre el balance de los sistemas estudiados y por tanto constituye un complemento en el proceso de toma de decisiones. En el caso de IDP_λ formulado por Díaz-Balteiro y Romero (2004), para el vector ideal de rendimiento de los indicadores de tamaño n , $r_i^* = (1,1, \dots, 1)$, el índice solamente alcanza el valor 1 cuando $\lambda = 1$ y por tanto el mejor resultado será la agregación. Cuando este parámetro varía, el miembro izquierdo, que no representa un índice en sí, actúa como métrica de descompensación y no se arriba al valor 1 de rendimiento para el vector ideal r_i^* . La Tabla 1.1 muestra los datos de un sistema de indicadores previo a la agregación.

Tabla 1.1. Sistema de tres indicadores con igual ponderación. Fuente: elaboración propia.

	Indicador		
	V1	V2	V3
Valor normalizado	1	1	1
Peso	0.33	0.33	0.33
Valor normalizado ponderado	0.33	0.33	0.33

El resultado de la agregación ante el vector ideal es 1, siendo 0.33 el mínimo valor ponderado normalizado. La Tabla 1.2 muestra los IS calculados variando el parámetro de control λ .

Tabla 1.2. Índices de sostenibilidad para tres indicadores con valores normalizados ideales y pesos iguales, variando el parámetro de control λ . Fuente: elaboración propia.

	Variación del parámetro lambda (λ)										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
IS	0.33	0.4	0.46	0.53	0.6	0.66	0.73	0.8	0.86	0.93	1

Por tanto el índice que provee este método se puede usar con fines comparativos entre los sistemas pero no para establecer un grado de desarrollo sostenible que aplique a una escala cualitativa cuando λ sea menor que 1.

1.4. Construcción de índices de sostenibilidad compuestos mediante el enfoque de toma de decisiones basada en múltiples criterios

La construcción de ISC involucra tomar decisiones cuando se combinan criterios de diferentes naturalezas. Esto requiere un número de pasos en la que los decisores deben tomar decisiones (Becker et al., 2016). Sobre este aspecto, algunos autores han expresado que las

técnicas de TDMC son adecuadas en marcos multidimensionales cuando se agregan varios indicadores simples en uno compuesto (El Gibari et al., 2019; Freudenberg, 2003; Nardo et al., 2008, 2005; Saisana y Tarantola, 2002), considerando que TDMC es una rama conocida de la toma de decisiones, consistente en analizar un conjunto de posibles alternativas, tomando en consideración diferentes criterios de forma simultánea.

El Gibari et al. (2019) propuso cinco categorías para clasificar las metodologías de TDMC empleadas en la construcción de ISC. Esta clasificación de los métodos está enfocada en la técnica empleada para agregar los criterios (indicadores) y consisten en: métodos elementales, métodos basados en el valor y la utilidad, enfoque de relación de precedencia de rango, métodos basados en el análisis envolvente de datos, y los métodos basados en funciones de distancia.

1.4.1. Métodos elementales

Los métodos elementales forman la base de las evaluaciones iniciales realizadas en TDMC. Según Lai et al. (2008), estos métodos permiten reducir problemas complejos a una base singular para la selección de una opción preferida por una condición simple. Los métodos elementales más comunes son la suma ponderada simple y el producto ponderado, abordados en secciones anteriores. La idea básica en el trasfondo de estos métodos es que el rendimiento global de una alternativa se computa como la suma ponderada (o como producto en el caso del producto ponderado) de sus valores para cada criterio. Esto significa una compensación total en el caso de la suma ponderada y una compensación parcial en el caso del producto ponderado. Ambos métodos requieren la normalización de los indicadores antes de la agregación.

Otras investigaciones, desde la perspectiva de TDMC, son las conducidas por Haider et al. (2018), quienes desarrollaron un conjunto de indicadores de sostenibilidad adecuados para abarcar los aspectos de sostenibilidad de espacios residenciales de pequeño tamaño, empleando herramientas para la evaluación de la sostenibilidad en sitios residenciales y métodos expertos basados en la suma simple ponderada; por su parte Zhou et al. (2006) propusieron una medida objetiva para comparar los métodos de agregación basándose en el concepto de “pérdida de información”; Arbolino et al. (2018) emplearon la suma simple ponderada y el modelo de análisis de componentes principales para medir el cumplimiento

de las políticas ecológicas de las industrias diseñando el Índice de Sostenibilidad Ambiental de la Industria.

1.4.2. Métodos basados en el valor y la utilidad

Los métodos basados en el valor y la utilidad consisten en diseñar un medio para asociar un número real con cada alternativa y producir un orden de preferencia para las alternativas, basado en los juicios de los decisores. En este grupo se encuentran la teoría de utilidad de múltiples atributos (MAUT por sus siglas en inglés) y la teoría del valor de múltiples atributos (MAVT por sus siglas en inglés). MAUT consiste en la determinación de funciones parciales de utilidad para calcular una función global de utilidad U , mientras que MAVT consiste en la determinación de funciones parciales de valor y en establecer pesos a los criterios para calcular una función global de valor V . Según El Gibari et al. (2019), en ambos casos se emplean modelos aditivos y multiplicativos para obtener las función global de utilidad (o valor, según corresponda), permitiendo una compensación parcial. Un ejemplo lo constituye el trabajo desarrollado por Frank et al., (2016), quienes basados en un enfoque empleando una escala de curva-S para normalizar los indicadores y MUAT para consolidarlos en un índice, propusieron un marco de evaluación que consolida indicadores de sostenibilidad ambiental reportados por compañías de gas y petróleo en un índice compuesto.

La técnica de evaluación simple de múltiples atributos (SMART, por sus siglas en inglés) forma igualmente parte de este conjunto de técnicas. Consiste en una forma de implementar MAUT empleando promedios lineales ponderados, lo que produce aproximaciones cercanas a funciones de utilidad. El Gibari et al. (2019) establece que SMART permite una compensación total entre el conjunto de atributos a evaluar. Bezama et al. (2007) combinaron varias herramientas de análisis multicriterio para elaborar un modelo de balance comparativo para un proyecto austríaco de remediación: AHP para la ponderación de los subobjetivos de primer nivel del modelo, SMART para la ponderación de los objetivos a nivel de un cuadro de mando integral, y la medida de rendimiento compuesta fue evaluada empleando MAUT.

La técnica de medición de la atracción mediante la evaluación basada en categorías (MACBETH, por sus siglas en inglés) fue introducida por e-Costa y Vansnick (1994) y requiere juicios cualitativos sobre las diferencias de valor para ayudar a un individuo o grupo a cuantificar la atracción relativa de las opciones. Emplea un protocolo de preguntas y

respuestas que involucra solo dos opciones para cada pregunta, resultando en una comparación por pares. Las diferencias en cuanto a la atracción se mide en términos de siete categorías semánticas en el rango de nulo a extremo. Rodrigues et al. (2017) propusieron extender el enfoque de mapas de razonamiento a través de un modelo de evaluación estructural multilínea, construido mediante el método multicriterio MACBETH.

En general, cuando se construyen índices compuestos, estos métodos asocian una función parcial de utilidad o valor a cada indicador de acuerdo a sus prioridades y los juicios de los decisores. Entonces la función global empleando los respectivos pesos, juega el papel del índice compuesto y la función parcial de utilidad o valor implica una normalización.

1.4.3. Enfoque de relación de precedencia de rango

El enfoque de relación de precedencia de rango involucra métodos basados en comparaciones entre un par de opciones para determinar si “una alternativa a es al menos tan buena como una alternativa b ”. En esta familia destacan dos métodos: el método de eliminación y alternativa que exprese la realidad (ELECTRE, por sus siglas en inglés) y el método de organización de preferencias de rangos para evaluaciones enriquecidas (PROMETHEE, por sus siglas en inglés).

ELECTRE fue introducido por Roy (1990) y selecciona una alternativa como la mejor acción de un conjunto de acciones disponibles; se ha aplicado a tres problemas principales: selección, comparación y ordenamiento. En este método se emplean valores de umbral e índices de concordancia y discordancia. Attardi et al. (2018) definieron y probaron un enfoque basado en ELECTRE para la construcción de un índice de eficiencia de políticas de uso de la tierra.

PROMETHEE fue propuesto por Brans et al. (1986) y ejecuta una comparación por pares de las alternativas para ordenarlas con respecto a cierto criterio. Antanasijević et al. (2017) emplearon PROMETHEE para analizar 38 índices compuestos correspondientes a un periodo de 10 años, para determinar el rendimiento general de sostenibilidad en 30 países europeos.

Ambos métodos permiten la compensación parcial entre los criterios (indicadores en el caso de índices de sostenibilidad). Su aplicación en la construcción de índices compuestos implica que los decisores deben asociar los correspondientes parámetros (umbrales o subcriterios) a

cada indicador, además de los pesos. El valor final que se obtiene de la aplicación de ambos métodos es el ISC. Estos métodos no requieren normalizar antes de agregar las variables, porque emplean los datos originales para ejecutar las comparaciones. Implícitamente estos métodos convierten cada indicador a la escala de 0 a 1.

1.4.4. Métodos basados en el análisis envolvente de datos

Los métodos basados en el análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) es un enfoque no paramétrico que emplea programación lineal como un elemento instrumental, con el propósito en sus inicios de evaluar la eficiencia de un conjunto unidades comparables (Charnes et al., 1978). DEA permite la compensación total entre los criterios. La construcción de ISC empleando estos métodos se puede realizar de dos formas. La primera, considerando los indicadores simples como variables de entrada o de salida, dependiendo del tipo que sean (“a mayor valor, mejor” o “a menor valor, mejor”), entonces se obtiene el ISC aplicando el procedimiento DEA estándar. El segundo enfoque consiste en crear una salida (o entrada) arbitraria y considerar todos los indicadores simples como entradas (o salidas); este enfoque también es conocido como el modelo de beneficio de la duda (BoD, por sus siglas en inglés), que fue originalmente concebido para la evaluación del rendimiento de las macroeconomías (Melyn y Moesen, 1991), y posteriormente fue adaptado a la teoría de índices (Cherchye y Kuosmanen, 2004).

En la actualidad este método es reconocido para la construcción de ISC. Según Nardo et al. (2005), al emplear este método el ISC se obtiene en el rango de 0 (peor desempeño posible) a 1 (mejor desempeño), y se define como la proporción del rendimiento actual de una variable sobre su mejor desempeño posible, donde los indicadores se basan usualmente en los valores normalizados de escalas lineales en el rango de mínimos a máximos. Además, esta técnica permite al analista determinar endógenamente los pesos de los indicadores simples. Ejemplos de su aplicación se pueden encontrar en Amado et al. (2016), Martí et al. (2017) y Rogge, (2018).

Un método de construcción del ISC que pertenece a esta familia de técnicas fue la propuesta por Zhou et al. (2010), quienes propusieron dos modelos de optimización lineales para determinar el conjunto de pesos de mejor desempeño y el conjunto de pesos de peor desempeño para cada entidad a evaluar, con un enfoque de maximización y minimización,

respectivamente. Este método se aplicó en la construcción del Índice de Desarrollo Humano de las Naciones Unidas para 27 países de Asia y Pacífico con los datos del año 2005.

1.4.5. Métodos basados en funciones de distancia

Según Díaz-Balteiro et al. (2017), la idea de los métodos basados en funciones de distancia consiste en sustituir la maximización de una función teniendo en cuenta las preferencias de los decisores, como una función de utilidad, mediante la minimización de la distancia existente entre una alternativa y el punto, o los puntos, que poseen buenas propiedades de preferencia. El uso de estos métodos para construir el ISC requiere de la evaluación de los niveles de preferencia por parte de los decisores, de conjunto con los pesos. En algunos casos se requiere de una normalización previa a la agregación de las variables, mientras que en otros las funciones objetivo producen valores normalizados.

En esta familia de métodos se pueden distinguir algunos con mayor nivel de aplicación en el campo de los ISC (El Gibari et al., 2019):

- El método de programación por objetivo: Los decisores establecen objetivos para cada criterio que consideren como buenos. Con la ayuda de dos variables de desviación, midiendo por debajo y por encima de los resultados, se define como solución preferida a aquella que minimiza las desviaciones del conjunto de objetivos.
- El método de programación basado en compromiso: El punto de referencia es un vector ideal o utópico definido por los valores óptimos de los criterios considerados.
- La técnica para preferencias de orden mediante similitud con soluciones ideales (TOPSIS, por sus siglas en inglés): Considera dos puntos de referencia, el punto ideal y el anti ideal, de manera tal que una solución preferida deberá tener la menor distancia con respecto al ideal y simultáneamente la máxima distancia con respecto al anti ideal. Permite la compensación total entre los criterios.
- El principio del análisis relacional gris (GRA, por sus siglas en inglés): Es similar a TOPSIS. El grado de relación gris es definido para mostrar la cercanía entre las alternativas. Usualmente se define la solución ideal y se calcula el grado de relación entre sus alternativas asociadas.

1.5. Evaluación mediante índices en Cuba

La voluntad de Cuba con relación al medio ambiente y los recursos naturales se manifestó desde la promulgación en 1993 del artículo 27 de la Constitución de 1976, que expresa: “El Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar esta política. Es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna y todo el rico potencial de la naturaleza.”.

Con la aprobación de los “Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución” en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba se ratificó, específicamente en el lineamiento 133, que las políticas medioambientales del país deben estar encaminadas a “Sostener y desarrollar investigaciones integrales para proteger, conservar y rehabilitar el medio ambiente y adecuar la política ambiental a las nuevas proyecciones del entorno económico y social. Priorizar estudios encaminados al enfrentamiento al cambio climático y, en general, a la sostenibilidad del desarrollo del país. Enfatizar la conservación y uso racional de recursos naturales como los suelos, el agua, las playas, la atmósfera, los bosques y la biodiversidad, así como el fomento de la educación ambiental”.

En el contexto de la política ambiental para un desarrollo económico y social sostenible, en Cuba se ha trabajado durante años en el desarrollo de un conjunto de indicadores que representen de modo adecuado el quehacer ambiental de las autoridades y de toda la sociedad cubana en el alcance de las metas de nuestra sostenibilidad (CITMA et al., 2009). Los mayores esfuerzos han estado dirigidos a la elaboración de reportes oficiales de la nación y en el sector turístico, sin embargo las administraciones provinciales no cuentan con procedimientos de evaluación de sostenibilidad a través de sistemas de indicadores que consideren e integren los factores ecológicos, económicos y sociales, que les permitan conocer las tendencias, el cumplimiento de objetivos y les brinden la posibilidad de intervenir oportunamente.

A escala nacional se han realizado algunas aproximaciones en torno al desarrollo sostenible tal como la elaboración del informe “Situación Ambiental Cubana 2004” que contiene un

compendio de indicadores ambientales y socioeconómicos que permiten conocer algunas tendencias del clima y los recursos hídricos, el balance de la dinámica forestal, los resultados de la aplicación del Programa de Mejoramiento y Conservación de los Suelos, los avances alcanzados en la aplicación del concepto de Producción Más Limpia, una actualización del diagnóstico de las principales bahías cubanas, así como un balance resumido de los principales efectos de la sequía en el país (CITMA y AMA, 2005).

Otro resultado identificativo del accionar nacional en pos del desarrollo sostenible es el informe “Evaluación del Medio Ambiente Cubano: GEO Cuba 2007”. En este documento se examina el período 2000-2007 y se aplica la metodología GEO del PNUMA que toma en cuenta las prioridades e identifica los principales indicadores ambientales mediante el análisis de las fuerzas motrices, las presiones, el estado, el impacto, las respuestas, así como las interrelaciones que se producen en el medio ambiente. Entre los resultados de esta evaluación se indicó la prioridad de profundizar en el perfeccionamiento de indicadores, que midan con mayor efectividad los cambios en el estado del medio ambiente y su repercusión sobre la sociedad, la obtención de mayor información cuantificable y sistematizada sobre los diferentes componentes del medio ambiente, el empleo de los sistemas de información geográfica para hacer más comprensible los resultados que se obtengan y su divulgación con un lenguaje dirigido para una mejor comprensión del contenido que contribuya a elevar la participación ciudadana (Fernández et al., 2009).

En el año 2010, se presentó el informe “Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible: Indicadores de seguimiento: Cuba 2009”, elaborado con el objetivo de divulgar el progreso alcanzado por Cuba respecto a los compromisos asumidos en la Conferencia de Rio de Janeiro en 1992 y en Johannesburgo en el año 2002. El informe presenta un total de 59 indicadores consensuados a nivel nacional, de los cuales 9 son de seguimiento a las metas de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (CITMA et al., 2009).

1.5.1. Sostenibilidad de la actividad turística

En el sector turístico se han realizado varias evaluaciones de la sostenibilidad, dada la importancia del sector para la economía cubana y la necesidad de proteger los ecosistemas costeros y montañosos de los impactos que genera. Varias investigaciones y aplicaciones se han realizado por especialistas vinculados al sector:

- La selección y aplicación de un sistema de indicadores adaptados al Valle de Viñales fue ejecutado como parte del proyecto “Diagnóstico de la actividad turística en Viñales (Cuba) y tendencias de su desarrollo sostenible” (Albert et al., 2013). Su principal objetivo fue valorar la sostenibilidad respecto al ámbito medioambiental y social de ese destino turístico y realizar propuestas de mejoras.
- El procedimiento metodológico utilizado para el estudio de la sostenibilidad en el litoral de la provincia de Holguín, basado en la concepción del ordenamiento geocológico o ambiental, dio como resultado un sistema de indicadores que permitió evaluar de forma sintética el grado de sustentabilidad turística usando como unidades de referencia espacial las Unidades de Gestión Turística (UGT). Estas unidades se caracterizan por la homogeneidad de sus atributos naturales, económicos y socioculturales (Chávez y Osorio, 2006).
- Los sistemas de indicadores diseñados por Martínez de la Vega et al. (2014) para medir la sostenibilidad turística de instalaciones y destinos de la provincia de Villa Clara y el ecosistema Sabana-Camagüey, entre otros. Estos sistemas de indicadores, se estructuraron de acuerdo a las tres dimensiones del desarrollo sostenible y su objetivo es calcular el Índice de Sustentabilidad Turística. El instrumento que apoya la recogida de datos y el cálculo del referido índice es un libro Microsoft Excel.

1.5.2. Índice de Desarrollo Humano Territorial

El Índice de Desarrollo Humano Territorial (IDHT), propuesto por Méndez Delgado y Lloret Feijóo (2012), es un índice compuesto por indicadores que reflejan los adelantos y oportunidades que tiene el hombre. Teniendo en cuenta las tres dimensiones fundamentales del desarrollo humano, escogieron seis variables para representar las dimensiones.

El resultado de la aplicación de este índice posibilitó la medición del desarrollo y por tanto la comparación en esos indicadores entre cada una de las provincias del país y en el municipio especial Isla de la Juventud entre los periodo de 1985 y 2008 (Delgado y Feijóo, 2011). El IDHT posibilitó la comparabilidad de los resultados, pues las variables empleadas para el cálculo del índice fueron las mismas y correspondieron a cada uno de los años, lo que hizo homogéneo el resultado (Méndez Delgado y Lloret Feijóo, 2012).

1.5.3. Índice Global de Desempeño Ambiental

La Evaluación del Desempeño Ambiental (EDA), propuesto por Medel González (2012), es un procedimiento de apoyo al proceso de gestión interna de las empresas que permite conocer de manera continua el verdadero impacto causado sobre el medio ambiente basado en un grupo de indicadores ambientales. Su objetivo principal es evaluar el estado del desempeño ambiental, tanto de una empresa como de una de sus unidades de negocio, a través de un Índice Global de Desempeño Ambiental (IGDA) basado en los indicadores ambientales de la empresa. Como resultado de esta investigación, se aplicó el procedimiento en cuatro centrales eléctricas de la UEB de generación distribuida de la Empresa Eléctrica de Villa Clara, permitiendo identificar puntos críticos y oportunidades de mejoras para reorientar esfuerzos de la dirección hacia las principales debilidades detectadas.

1.5.4. Índice de Desarrollo Sostenible Territorial

Vega Calcines (2014) propuso un procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible a escala territorial, con el fin de aportar bases para la toma de decisiones. El procedimiento tiene por objetivo estimar, y a la vez representar, el grado relativo de desarrollo sostenible de un territorio. Al aplicarlo se obtiene el Índice de Desarrollo Sostenible Territorial (IDST) y un sistema de indicadores organizado mediante un marco ordenador temático, que permite determinar el comportamiento de los indicadores que componen el índice. La factibilidad de la aplicación del procedimiento y sus instrumentos de apoyo fue demostrada mediante su aplicación en la provincia de Villa Clara en el periodo comprendido entre los años 2008 y 2012, lo que permitió identificar puntos críticos y oportunidades de mejoras para reorientar esfuerzos hacia los principales problemas de la localidad (Vega Calcines, 2014).

El procedimiento está compuesto por cuatro fases:

- Fase 1: Diagnóstico del territorio.
- Fase 2: Estructuración del sistema de indicadores.
- Fase 3: Cálculo del Índice de Desarrollo Sostenible Territorial.
- Fase 4: Evaluación de los resultados.

Vega Calcines (2014) propuso un marco ordenador temático del sistema de indicadores que se ilustra en la Figura 1.6. En el primer nivel se encuentra el IDST, como medida objetiva a alcanzar; en el segundo nivel se encuentran las tres dimensiones del desarrollo sostenible

(Achkar et al., 2005); en el tercer nivel se encuentran las áreas claves que tributan a cada dimensión del desarrollo sostenible, cuyo objetivo fundamental es agrupar los indicadores de acuerdo a su temática de impacto para poder realizar análisis intermedios en el proceso de toma de decisiones; en el cuarto nivel del marco ordenador temático se encuentran los indicadores, agrupados en sus respectivas áreas claves.

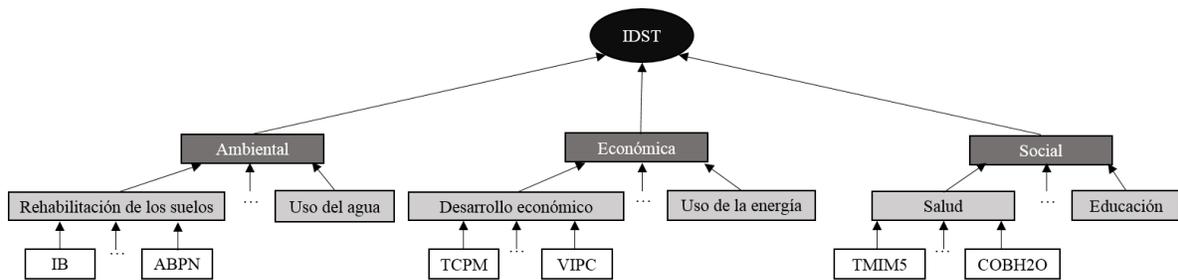


Figura 1.6. Diagrama resumen del marco ordenador temático para la construcción del IDST. Fuente: elaboración propia.

En resumen, el sistema de indicadores está compuesto por las tres dimensiones del desarrollo sostenible, 10 áreas claves y 30 indicadores.

El procedimiento emplea varias técnicas de procesamiento de información en cada etapa del proceso de construcción del IDST. Para detectar correlaciones y dependencias entre los indicadores, Vega Calcines (2014) se apoyó en un análisis de componentes principales empleando la herramienta SPSS¹. Ejecutó la ponderación del sistema de indicadores empleando el *software Expert Choice*², que posee una implementación del método AHP. A priori decidió emplear como método de agregación la suma ponderada, basado en su amplio uso y facilidad de interpretación por personas que no son expertas.

La modelación del sistema de indicadores, la captación de los datos de los indicadores, el cálculo del IDST y la presentación de los resultados se realizó en una aplicación informática de la autoría de Vega Calcines (2014) cuyas interfaces de presentación de resultados se pueden constatar en la Figura 1.7.

¹ Página web de la herramienta: <https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software>

² Página web de la herramienta: <https://www.expertchoice.com/ahp-software>

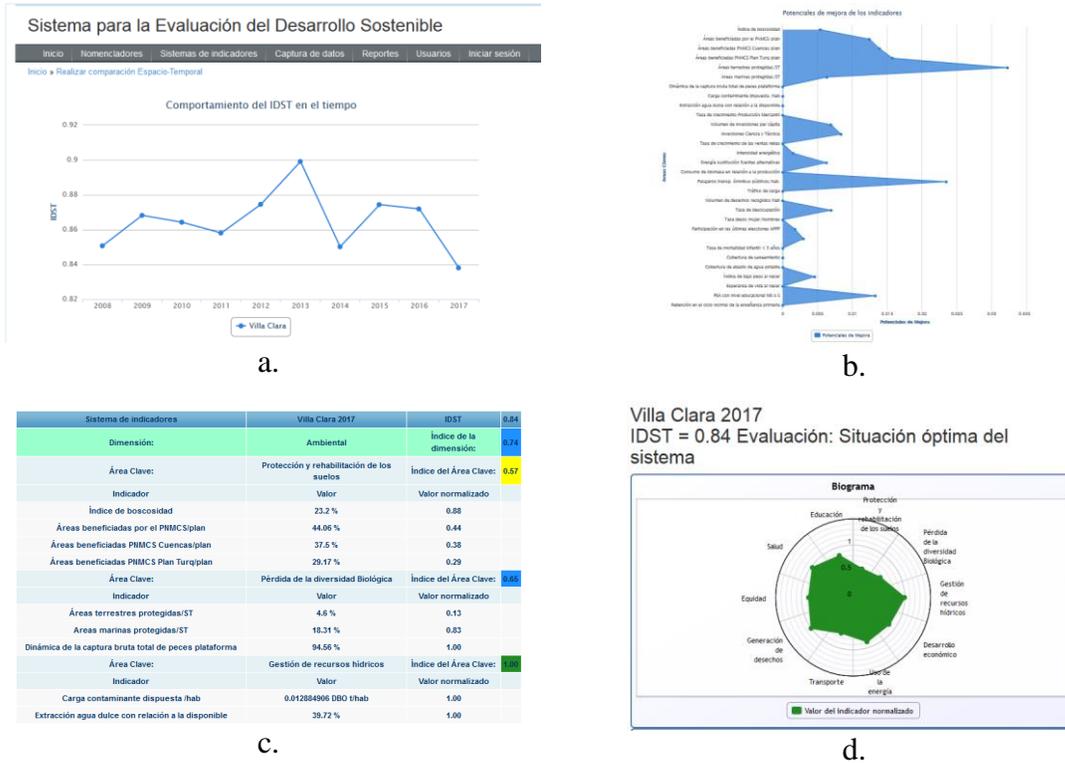


Figura 1.7. Sistema para la Evaluación Sostenible Territorial: a. Gráfico de comparación espacio-temporal del IDST de un territorio en un periodo de tiempo; b. Gráfico del cálculo del potencial de mejora de los indicadores; c. Tabla resumen del sistema de indicadores y sus índices intermedios por dimensiones y áreas claves; d. Gráfico resumen del comportamiento de las áreas claves en el cálculo del IDST para un territorio en un instante de tiempo. Fuente: Sistema para la Evaluación del Desarrollo Sostenible Territorial (SEDSTv1.0) (Vega Calcines, 2014).

Los análisis abarcan la presentación de los resultados del cálculo del IDST, la ejecución de análisis espacio-temporales para series anuales de los indicadores, la presentación en forma de tablas de los índices intermedios de las dimensiones y las áreas claves del marco ordenador temático, y el cálculo de los potenciales de mejoras de los indicadores con vistas al apoyo a la toma de decisiones por parte de los decisores.

Conclusiones parciales

La variedad de índices de sostenibilidad que se han expuesto corroboran la importancia de los ISC según las necesidades de evaluación y de la toma de decisiones. Diseñar e implementar un ISC no está sujeto a un procedimiento universal estándar, sino que cada país o institución deberá realizar un diseño propio que garantice que los indicadores producidos sean realmente útiles para la toma de decisiones. Los marcos ordenadores temáticos continúan siendo una herramienta adecuada para estructurar un sistema de indicadores, de

acuerdo a las necesidades del proceso de toma de decisiones para la cual se construye el índice.

La literatura refleja una amplia variedad de métodos y técnicas para la construcción de ISC, pero sus fases fundamentales lo constituyen la normalización, la ponderación y la agregación. La correcta selección de los procedimientos o métodos a emplear en cada una de esas etapas determinan la calidad del índice que se construya.

En el caso de la ponderación existen dos enfoques fundamentales: la ponderación endógena y la ponderación exógena. La ponderación exógena se basa en los criterios de expertos, pero se limitan a la región o localidad donde hayan sido emitidos los criterios, por lo que poseen un carácter territorial específico. La ponderación endógena determina los pesos como parte del método de construcción del índice de sostenibilidad y constituye una alternativa que soluciona el problema de la escala espacial de la evaluación o comparación que se efectúe, o cuando no se conocen a priori los niveles de relevancia o importancia de los indicadores.

Los métodos de agregación son diversos y pueden clasificarse de acuerdo al grado de compensación entre las variables durante la agregación. Los métodos aditivos permiten mayor compensación entre los indicadores que los métodos geométricos. Los métodos no compensatorios permiten obtener índices alineados al concepto de sostenibilidad fuerte. Los métodos de agregación combinados permiten establecer un balance entre el resultado de la agregación y el equilibrio del sistema de indicadores, por lo que resultan adecuados para la obtención de índices de sostenibilidad fuertes.

El procedimiento propuesto por Vega Calcines (2014) abarca las etapas requeridas para la construcción de un ISC, pero acorde con el creciente avance de las investigaciones alrededor de la evaluación o medición de la sostenibilidad, se pueden aplicar otras técnicas a las originalmente propuestas, complementar el procedimiento con nuevas etapas que fortalezcan el nivel operacional del proceso de construcción del índice y mejorar el cálculo del índice en sí. Este procedimiento se encuentra parcialmente automatizado en una aplicación informática, lo que constituye una base tecnológica a emplear en la presente investigación.

CAPÍTULO 2. ADECUACIONES AL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LOS TERRITORIOS CUBANOS

La evaluación de la sostenibilidad es un proceso adaptativo y cambiante, de acuerdo a la propia variabilidad del objetivo que se desea medir. Emplear las potencialidades del procesamiento de la información para optimizar y mejorar el proceso de evaluación de la sostenibilidad mediante un índice de sostenibilidad es un proceso continuo y adaptativo. El procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible a escala territorial, propuesto por Vega Calcines (2014), requiere emplear técnicas de análisis que fundamenten la adopción de las diferentes herramientas que se adopten para la construcción del IDST.

En el presente capítulo se profundizará en el procedimiento de evaluación de la sostenibilidad territorial, identificándose los subprocesos que requieren técnicas de análisis de la información para apoyar la toma de decisiones requeridas en cada etapa. Además se propondrán un conjunto de adecuaciones y propuestas de técnicas a los subprocesos que presenten oportunidades de mejora, se identificarán las nuevas funcionalidades a implementar en el sistema de información desarrollado por Vega Calcines (2014) para incorporar las técnicas de análisis propuestas, se especificarán los elementos de la ingeniería de software requeridos para la implementación de las nuevas funcionalidades y las características arquitectónicas de la solución.

2.1. Oportunidades de mejoras al procedimiento

La Sección 1.5.4 expone los elementos generales del proceso de construcción del IDST según la propuesta de Vega Calcines (2014). En la Figura 2.1 se muestra el procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible, con las cuatro fases generales que lo componen y el conjunto de subprocesos asociados a cada fase.

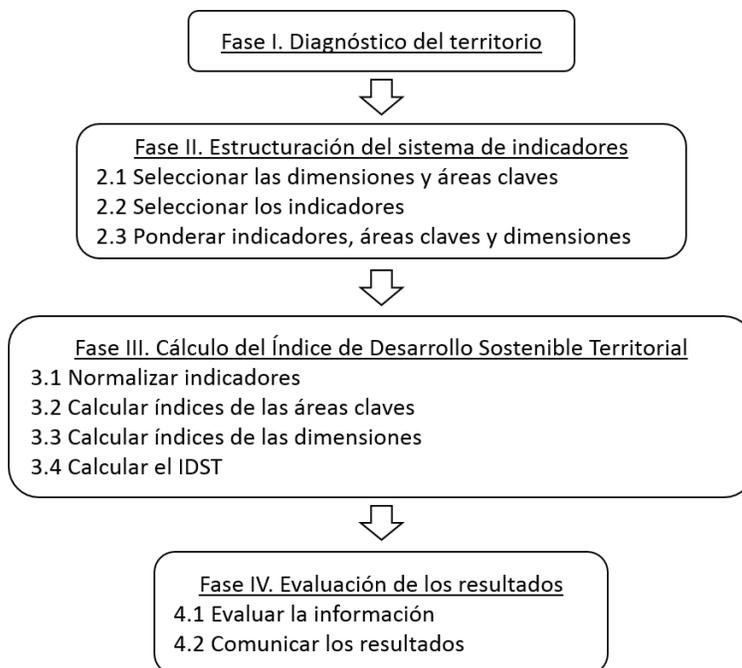


Figura 2.1. Estructura del procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible territorial. Fuente: Vega Calcines (2014).

El objetivo del procedimiento es la evaluación de la sostenibilidad a escala territorial, empleando para ello el IDST y su transformación a una evaluación cualitativa empleando la escala de la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Escala cualitativa para la evaluación del desarrollo sostenible territorial a través del IDST. Fuente: Vega Calcines (2014).

Rango		Nivel de evaluación
Min.	Max.	
0.80	1.00	Situación óptima del sistema
0.60	0.79	Situación estable del sistema
0.40	0.59	Situación inestable del sistema
0.20	0.39	Situación crítica del sistema
0.00	0.19	Alta probabilidad de colapso del sistema

El procedimiento describe cada una de las fases y los subprocesos subyacentes, estableciendo técnicas de análisis y herramientas específicas en cada una de las etapas de la construcción del índice hasta culminar con la evaluación de la sostenibilidad territorial. Las técnicas de análisis y las herramientas propuestas en las distintas fases tuvieron un enfoque sobre la base del análisis realizado a un nivel teórico, lo que influyó en los cálculos realizados a nivel operacional, según el proceso de construcción de un índice de sostenibilidad de la Figura 1.2.

2.1.1. Seleccionar indicadores

En el subproceso “Seleccionar los indicadores” de la Fase II del procedimiento, Vega Calcines (2014) propone realizar la selección de los indicadores basados en dos tipos de técnicas: 1- métodos empíricos y 2- análisis multivariados. Entre los métodos empíricos propone prescindir de aquellos indicadores que no posean datos en la serie de tiempo y la consulta con expertos para determinar aquellos que sean más relevantes para medir la sostenibilidad de un territorio. Continuando con la selección, propone someter los indicadores asociados a cada dimensión de la sostenibilidad a un análisis multifactorial aplicando un análisis de componentes principales (ACP), con el objetivo de reducir el conjunto indicadores, eliminando las correlaciones entre sí.

Si bien el ACP reduce el sistema de indicadores en sus denominadas componentes principales, las cuales constituyen la combinación lineal de todos los indicadores de entrada al análisis, y que cumplen con la propiedad de no correlacionarse entre sí, a nivel de los indicadores no se especifican cuáles se pueden considerar como más relevantes a partir de los resultados obtenidos. Además, las componentes principales no constituyen una fuente de información o dato de entrada al cálculo del IDST.

2.1.2. Ponderar indicadores

En el subproceso “Ponderar indicadores, áreas claves y dimensiones” de la Fase II, Vega Calcines (2014) propone emplear el proceso de jerarquías analíticas (AHP) (Saaty, 1980) para ponderar los elementos del marco ordenador temático para la construcción del IDST.

En su concepción, el IDST está alineado al concepto de “sostenibilidad fuerte”, pues su objetivo es determinar la capacidad del medio ambiente para sostener las actividades humanas y poder mantener las funciones ecosistémicas que aseguren la continuidad de la vida a escala territorial. Además, el IDST permite realizar dos tipos de análisis: 1- análisis temporal para un territorio con el objetivo de evaluar la evolución del desarrollo sostenible y 2- comparación espacio-temporal del desarrollo sostenible entre los territorios cubanos en un intervalo de tiempo determinado.

El estudio realizado por Gan et al. (2017), en el que resume las principales técnicas de ponderación y agregación empleadas para la construcción de índices de sostenibilidad,

concluye con una propuesta de proceso para decidir “cuándo emplear qué”, de acuerdo a los diferentes criterios objetivos que condicionan la evaluación que se desea realizar. En la Tabla 2.2 se exponen los métodos de ponderación y los principales criterios a los que aplica el IDST según el proceso propuesto por Gan et al. (2017), el que puede consultarse íntegramente en el Anexo 1.

Tabla 2.2. Resumen de métodos de ponderación analizados en el procedimiento para determinar “cuándo emplear qué”. REC, OK y NO denotan que un método es recomendado, aplicable y no debe ser utilizado en determinada situación, respectivamente, asumiendo que cada método se emplea individualmente. Fuente: Gan et al. (2017).

Método	Escala				Perspectivas de la sostenibilidad	
	Escala espacial		Escala temporal		Sostenibilidad débil	Sostenibilidad fuerte
	Abarcadora	Específica	Amplia	Reducida		
Igual ponderación	REC	REC	REC	REC	REC	NO
ACP†	REC	OK	OK	REC	REC	NO
Beneficio de la duda	REC	OK	OK	REC	REC	NO
Análisis de regresión	REC	OK	OK	REC	REC	NO
Modelos de componentes no observados	REC	OK	OK	REC	REC	NO
Asignación de presupuesto	NO	REC	REC	REC	OK	OK
Opinión pública	NO	REC	REC	REC	OK	OK
AHP‡	NO	REC	REC	REC	REC	NO
Análisis conjunto	NO	REC	REC	REC	REC	NO

† Análisis de componentes principales

‡ Proceso de jerarquías analíticas (AHP, por sus siglas en inglés)

Según Gan et al. (2017), al emplear el método AHP no se obtiene un índice alineado al concepto de sostenibilidad fuerte. Otro problema al emplear el método AHP resulta al realizar una evaluación con escala espacial abarcadora, debido a que los juicios de los expertos estarían supeditados al territorio al cual pertenecen. Por tanto, los análisis que se realicen al emplear el método AHP para ponderar los elementos del sistema, solo miden un nivel de sostenibilidad débil, y solo se podrían aplicar en los análisis temporales a lo interno de cada territorio.

En la Tabla 2.2 se puede apreciar que los métodos de ponderación que permiten obtener índices alineados a la perspectiva de sostenibilidad fuerte son la asignación de presupuesto

(Nardo et al., 2008, 2005) y opinión pública (Munda, 2004; Nardo et al., 2005; Parker, 1991; van Haaster et al., 2017). En el caso del método asignación de presupuesto, u opinión de expertos, los pesos que se obtienen pueden ser engañosos, al ponderar la urgencia o necesidad de intervención política en vez de importancia (Nardo et al., 2005). Esto provocaría que los pesos no podrían transferirse de una región a otra, porque reflejarían condiciones locales específicas, condición que se refleja en la Tabla 2.2. El método opinión pública, abordado en la Sección 1.3.3, posee la misma restricción que la asignación de presupuesto para el caso de análisis donde la escala espacial sea abarcadora, como el caso de la comparación de la sostenibilidad entre los territorios cubanos, y podrían conducir a pesos que reflejan la preocupación pública en vez de importancia.

Si el IDST debe estar alineado a la perspectiva de sostenibilidad fuerte y debe emplearse en los análisis de comparación a escala espacial abarcadora, entonces los métodos AHP, asignación de presupuesto y opinión pública no son aplicables porque no cumplen con ambas condiciones. Por tanto, el procedimiento no cuenta con un método de ponderación que cumpla con ambos requisitos para el análisis comparativo de los territorios en un instante de tiempo. En el caso del análisis temporal a lo interno de cada territorio, se podrían emplear alguno de los dos métodos de ponderación que se recomiendan para este tipo de análisis y para el enfoque de sostenibilidad fuerte del IDST, que son la asignación de presupuesto y la opinión pública. La necesidad de poder realizar los dos tipos de análisis abordados mediante el IDST, permiten identificar oportunidades de mejora al procedimiento en la etapa de ponderación.

Existe otra problemática asociada a la ponderación de los elementos que conforman el marco ordenador temático (MOT) del IDST. El MOT propuesto por Vega Calcines (2014) se estructura de forma jerárquica, con el IDST en el nivel objetivo o en la raíz de la jerarquía; al IDST tributan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: ambiental, económico y social; a cada dimensión se le subordinan áreas claves, en las cuales se encuentran agrupados los indicadores. Cada uno de estos elementos (dimensiones, áreas claves e indicadores) posee un peso o nivel de importancia en el rango de $(0,1]$, y deben cumplir que la sumatoria de los pesos de los elementos que se encuentran en el mismo nivel y que se subordinan al mismo elemento en el nivel inmediato superior debe ser la unidad (1).

Al calcular el IDST de forma recursiva desde los indicadores hacia las áreas claves, y desde las áreas claves hacia las dimensiones, se obtienen índices intermedios que permiten fundamentar el IDST que se obtiene; este proceso es equivalente a obtener los pesos globales de los indicadores a través del producto de su propio peso con el peso del área clave y de la dimensión a la que se subordinan en la jerarquía, y ejecutar la agregación ponderada de los valores de los indicadores empleando este peso global. Esta forma de ponderar los elementos del MOT tiene un efecto indeseado, y es que los pesos globales de los indicadores se descompensan o desequilibran si el MOT no está balanceado en cada uno de sus niveles. Esto quiere decir que si dos indicadores, a criterio del decisor, poseen la misma importancia para el desarrollo sostenible, pueden concluir con pesos globales distantes si poseen distintas cantidades de elementos “hermanos” en la jerarquía, en el que influye también la cantidad de “hermanos” que posean los elementos a los que se subordina en los niveles superiores de la jerarquía. La Figura 2.2 muestra de forma gráfica la problemática expuesta, cuando a priori se han establecido pesos iguales para cada elemento del MOT.

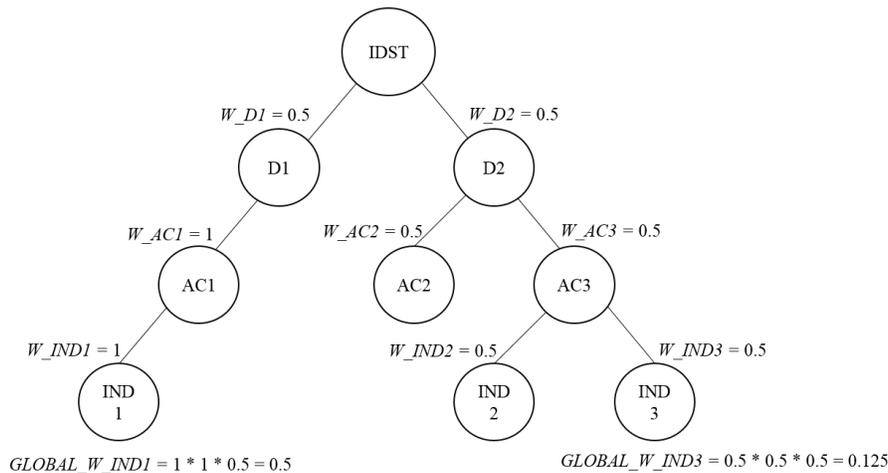


Figura 2.2. Consecuencia del desbalance en el Marco Ordenador Temático para el peso global de los indicadores relativo al IDST. Fuente: elaboración propia.

Hipóticamente, para un decisor el indicador IND1 podría tener la misma significación para la sostenibilidad que el indicador IND3, sin embargo el desbalance en la estructura del MOT provoca que el peso global del primero sea de 0.5 mientras que el del otro sea de 0.125. El problema del desbalance que produce la ponderación de todos los elementos del MOT en relación al nivel de importancia global de los indicadores con respecto al IDST, permite identificar oportunidades de mejoras en la ponderación del sistema de indicadores, en el

proceso de construcción del IDST y en la obtención de los índices intermedios de las áreas claves y las dimensiones.

2.1.3. Seleccionar alternativa de agregación

La selección del método de agregación no es una actividad que se ejecute en el procedimiento propuesto por Vega Calcines (2014). Teniendo en cuenta la importancia que representa el método de agregación que se seleccione para la construcción del IDST, se requiere de un mecanismo que permita la evaluación de varias alternativas de agregación basado en un criterio objetivo. Gan et al. (2017) abarcaron en su estudio los métodos de agregación, resumiendo qué método emplear ante los diversos escenarios identificados en la construcción de índices de sostenibilidad. En la Tabla 2.3 se muestra el análisis realizado por Gan et al. (2017) para los métodos de agregación, el cual puede consultarse íntegramente en el Anexo 1.

Tabla 2.3. Resumen de métodos de agregación analizados en el procedimiento “cuándo emplear qué”. REC, OK y NO denotan que un método es recomendado, aplicable y no debe ser utilizado en determinada situación, respectivamente, asumiendo que cada método se emplea individualmente. Fuente: Gan et al. (2017).

Método	Escala				Perspectivas de la sostenibilidad	
	Escala espacial		Escala temporal		Sostenibilidad débil	Sostenibilidad fuerte
	Abarcadora	Específica	Amplia	Reducida		
Agregación aditiva	REC	REC	REC	REC	REC	NO
Agregación geométrica	REC	REC	REC	REC	REC	NO
MNC/FCD†	REC	REC	REC	REC	NO	NO
MNC/TDMA‡	REC	REC	REC	REC	NO	NO
Métodos combinados	REC	REC	REC	REC	REC	REC

† Métodos de agregación no compensatorios empleando funciones conjuntivas o disyuntivas

‡ Métodos de agregación no compensatorios para la toma de decisiones basada en múltiples atributos

Según Gan et al. (2017), los métodos de agregación combinados deben emplearse si se desea obtener un índice alineado a la perspectiva de sostenibilidad fuerte. Para la construcción del IDST, Vega Calcines (2014) propuso emplear la suma ponderada, perteneciente a los métodos de agregación aditivos, con el cual solamente se podría obtener un índice desde la perspectiva de sostenibilidad débil, lo cual se contradice con la propia concepción del IDST.

2.1.4. Calcular los índices

En la Sección 2.1.2 se abordó la problemática relacionada al efecto indeseado que produce la ponderación de todos los elementos del MOT en el nivel de importancia global que adquieren los indicadores para el IDST. Esta oportunidad de mejora conlleva a cambios no solo en la forma que se pondera el sistema, sino también en la forma que se calculan los índices de las dimensiones, los índices de las áreas claves y el IDST.

2.2. Propuestas de adecuaciones al procedimiento

El procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible en las provincias cubanas propuesto por Vega Calcines (2014), según el análisis realizado en la Sección 2.1, presenta varias oportunidades de mejoras, con el objetivo de obtener un índice más representativo al comportamiento de los datos y que se ajuste a la perspectiva de sostenibilidad fuerte.

El diagrama de la Figura 2.3 muestra la estructura del procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible territorial con las adecuaciones a partir de las oportunidades de mejoras identificadas.

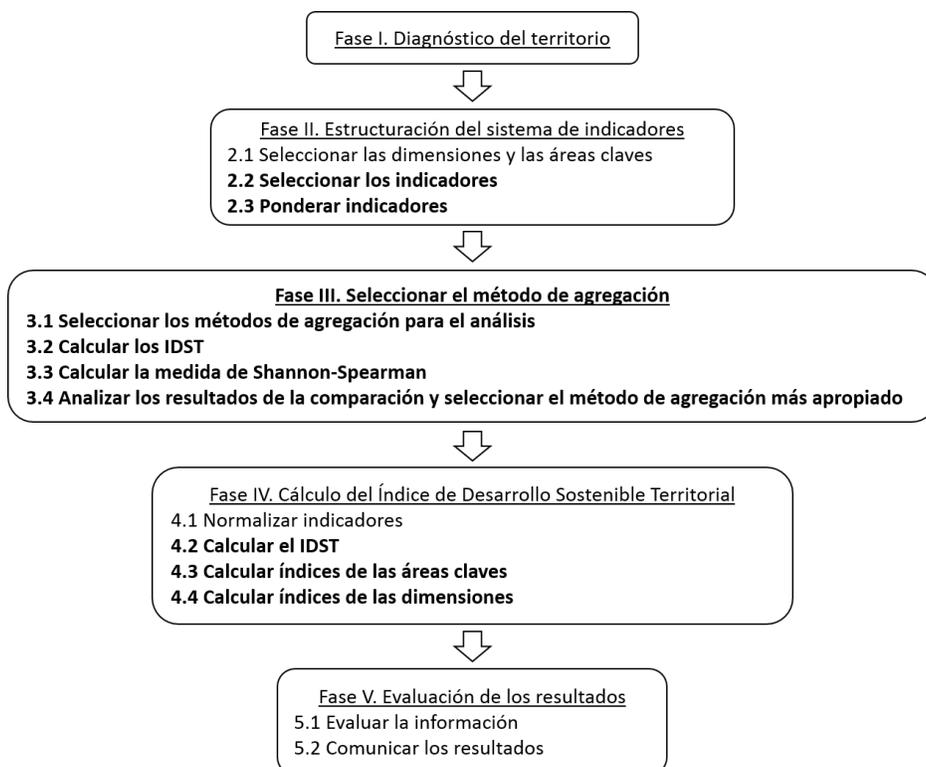


Figura 2.3. Procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible territorial de las provincias cubanas adecuado a las oportunidades de mejoras identificadas. Tanto las modificaciones de subprocesos existentes como la fase adicionada se encuentran resaltadas en negrita. Fuente: elaboración propia.

En resumen, se modifican dos subprocesos de la Fase II, se adiciona la Fase III con sus cuatro subprocesos con el objetivo de realizar el análisis de las alternativas de agregación y la selección de la más adecuada de acuerdo a un criterio objetivo de selección, y se modifican tres subprocesos de la nueva Fase IV (anterior Fase III) correspondientes a los cálculos de los índices de las dimensiones, las áreas claves y el IDST en sí.

2.2.1. Subproceso “Seleccionar los indicadores”

La selección de los indicadores, según la descripción del subproceso “Seleccionar los indicadores” propuesto por Vega Calcines (2014), se basa en el empleo de dos técnicas de análisis. La primera es el análisis empírico, que involucra la elaboración de un listado inicial de indicadores que obedezca al objetivo de sostenibilidad planteado y el posterior proceso de descarte de aquellos indicadores de los que no se dispongan datos (Vega Calcines, 2014). Según Vega Calcines (2014), “Posteriormente se somete el conjunto de indicadores seleccionados en cada dimensión a un análisis multifactorial aplicando la técnica de análisis de componentes principales para reducir el conjunto de variables, eliminando las correlaciones. Los resultados del análisis multifactorial deben someterse al criterio de los expertos para determinar el conjunto final de indicadores.”. Aunque se refleja la necesidad de ejecutar el análisis multifactorial, no se propone un procedimiento para obtener un conjunto reducido de indicadores basados en los resultados de aplicar esta técnica estadística.

Olden y Poff (2003) aplicaron el análisis de componentes principales para determinar las redundancias en un conjunto de 171 métricas hidrológicas, mostrando que las cuatro primeras componentes principales representaban el 76% de la variabilidad de los flujos acuíferos registrados. De esos componentes, seleccionaron 25 indicadores hidrológicos que poseían los mayores valores absolutos en la forma de reglas de proporción por cada componente. Posteriormente, Yang et al. (2008) condujeron un experimento para demostrar que los resultados de su enfoque de solución del problema de la selección de indicadores hidrológicos, basados en programación dinámica, obtenían resultados similares a los expuesto por Olden y Poff (2003), empleando de forma similar un porcentaje de la proporción que representaba la varianza explicada por cada componente seleccionado, con respecto al valor de varianza acumulada hasta la última componente principal seleccionada.

Siguiendo a Yang et al. (2008), se procede a formular la selección de los indicadores empleando el análisis de componentes principales. Sea $L = (l_{ij})_{n \times q}$ la matriz de valores propios de n indicadores con respecto a q componentes principales, donde l_{ij} representa el valor propio del indicador $V_i (i = 1, 2, \dots, n)$ con respecto al componente principal $PC_j (j = 1, 2, \dots, k)$; VE_j , VR_j y VA_j representan la varianza explicada, el porcentaje de varianza explicada, y el porcentaje de varianza explicada acumulada, respectivamente, del componente principal PC_j .

Se proceden a seleccionar los componentes principales siguiendo algunos de los criterios de selección siguientes:

- La regla de Kaiser (Zwick y Velicer, 1986), que expone retener las componentes principales cuyos valores propios (denominados también como la varianza explicada de cada componente principal, o VE_j según la notación empleada) sean mayores o iguales que 1, lo que según Yang et al. (2008) estadísticamente significa que las componentes resultantes explican al menos tanta varianza como una variable.
- Se selecciona hasta la componente principal j donde se alcanza un determinado valor de porcentaje de varianza explicada acumulada VA_j , lo que requiere a priori establecer este valor antes de aplicar el método.

Sea r la cantidad de componentes retenidas, tal que $PCR = (PC_1, PC_2, \dots, PC_r)$ representa el subconjunto de componentes principales que cumplen con el criterio de selección, la cantidad de indicadores a seleccionar por componente se determina mediante la Ecuación 2.1.

$$ind_j \cong ratio * \frac{VR_j}{VA_r}, \quad j = 1, 2, \dots, r \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde ind_j representa la cantidad de indicadores que se seleccionan del componente principal PC_j que pertenece a PCR . La variable $ratio$ representa el porcentaje que se retiene a partir de la proporción entre el porcentaje de varianza explicada (VR_j) y el porcentaje de varianza explicada acumulada hasta el componente principal r (VA_r). En su estudio, Yang et al. (2008) emplean un $ratio = 10$.

El conjunto de indicadores seleccionados por cada componente principal, que se denotan como $IS_j (j = 1, 2, \dots, r)$, se obtienen a partir de la Ecuación 2.2. Los ind_j indicadores seleccionados son los que poseen mayor valor propio absoluto en la componente principal PC_j .

$$IS_j = \max_{ind_j} \{|l_{ij}|\}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, r \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Si se cuenta con un sistema de indicadores construido a partir de los indicadores candidatos a la selección, se realizan otros análisis complementarios en la forma de comparación entre los IDST que se obtienen empleando el sistema de indicadores inicial y el sistema de indicadores reducido.

El primer análisis se realiza de forma visual, representando los índices para ambos sistemas, apreciando las diferencias entre ambos conjuntos de índices, como se muestra en la Figura 2.4 para dos conjuntos arbitrarios de índices.

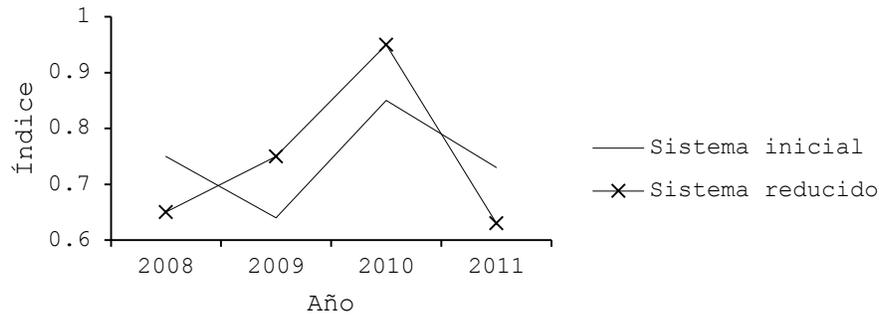


Figura 2.4. Representación de dos conjuntos arbitrarios de índices para una serie de tiempo de cuatro años. Fuente: elaboración propia.

El segundo análisis se realiza mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon (Wilcoxon, 1945) para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos conjuntos de índices. Esta prueba no paramétrica comprueba la hipótesis nula H_0 de que dos pares de muestras relacionadas proceden de la misma distribución. En particular, comprueba si la distribución de las diferencias entre cada par de datos es simétrica alrededor de cero. El valor p resultante de la aplicación de esta prueba determina si se acepta o no la hipótesis nula, tomando como referencia el valor 0.05 que representa un nivel de confianza

de un 5%, por tanto para valores superiores a este valor se acepta H_0 , de lo contrario se rechaza (Conover, 1980).

2.2.2. Subproceso “Ponderar indicadores”

Según los datos que se muestran en la Tabla 2.2, Gan et al. (2017) determinan que los métodos de ponderación aplicables a la construcción de índices alineados la perspectiva de sostenibilidad fuerte son el método de Asignación de Presupuesto (AP) y el método Opinión Pública (OP). El primer método se refiere a la consulta a expertos, mientras que el segundo método emplea la opinión de personas sin experticia en la temática de la sostenibilidad. Aunque ambos métodos son aplicables para medir la sostenibilidad desde su perspectiva fuerte, no son aplicables a análisis espaciales abarcadores debido al carácter local que poseen los criterios que emiten los expertos de determinado lugar, lo que limita la comparación de la sostenibilidad entre los territorios con los índices que se obtengan al aplicar estos métodos de ponderación. Una alternativa para lidiar con este problema podría considerarse la conformación de un grupo nacional de expertos con el fin de establecer las ponderaciones del sistema; de esta forma, si los expertos llegan a consenso, se contaría con un sistema ponderado con alcance nacional. Como la organización de este grupo nacional de expertos conlleva un nivel superior de gestión y organización, se considera esta opción como fuera del alcance de la presente investigación.

Por tanto, se requieren dos métodos de ponderación: el primero aplicado a los análisis del comportamiento de la sostenibilidad en un periodo de tiempo de un territorio, y el segundo un método de ponderación automático para los análisis de comparación entre los territorios en un instante de tiempo específico.

2.2.2.1. Ponderación para la evaluación en el tiempo de un territorio

El método AP es un método participativo en el que los expertos poseen un determinado “presupuesto” de N puntos, a ser distribuido sobre un conjunto de indicadores, “pagando” más por aquellos indicadores a los que desean adicionarle mayor importancia (Saisana y Tarantola, 2002). El método AP puede dividirse en cuatro fases (Saisana y Tarantola, 2002):

- Selección de expertos para la evaluación;
- Asignación de presupuesto a los indicadores;
- Cálculo de los pesos; y

- Iteración en la asignación de presupuesto hasta que se alcance la convergencia entre los criterios (opcional).

La modificación principal en el subproceso es que no se requiere la ponderación de las dimensiones y las áreas claves, para evitar que el desbalance en el MOT influya en el nivel de importancia que los expertos atribuyan a cada indicador. La ponderación se realiza directamente sobre los indicadores empleando el método AP. Los pesos asignados a los indicadores cumplen con la restricción de que su sumatoria es la unidad (1) y sus valores oscilan en el rango de (0, 1].

Para aplicar el método AP en la ponderación de los indicadores para la construcción del IDST se proponen las siguientes adecuaciones:

- Determinar la cantidad de expertos a participar en la evaluación;
- Establecer el valor total de presupuesto N;
- Ejecutar el método por cada experto;
- Comprobar si existe consenso entre los expertos; y
- Construir y asignar los pesos a los indicadores a partir de los presupuestos asignados.

Al concluir la aplicación del método AP se cuenta con un sistema de indicadores ponderado.

2.2.2.2. Ponderación para la comparación entre los territorios

La determinación de los pesos de los indicadores que tributan a determinado índice usualmente requiere información adicional de los expertos, la que a menudo resulta difícil de obtener (Zhou et al., 2010). Cuando los criterios de los expertos están involucrados en la ponderación se pierde en la generalidad de la aplicación de los pesos obtenidos para análisis fuera del radio de acción de los expertos.

Abordando esta problemática y su posible solución, Zhou et al. (2010) proponen un enfoque de optimización multiplicativa para la ponderación automática de los indicadores empleados en la construcción de un índice, que produce un índice con propiedades de comparabilidad en el rango de (0, 1]. En su estudio proponen emplear el producto ponderado, respaldado en las mejores propiedades de este método de agregación ante otros usualmente empleados en la construcción de índices de sostenibilidad. Una de las ventajas principales de su propuesta consiste en que no requiere información a priori para determinar los pesos de los indicadores.

El Modelo 2.1 provee una puntuación de desempeño agregado para cada sistema S_i en términos de todos los indicadores subyacentes. Resolviendo este modelo repetidamente para cada sistema, se obtiene un conjunto de puntuaciones de rendimiento gI_1, gI_2, \dots, gI_m .

$$\begin{aligned}
 gI_i &= \max \prod_{j=1}^n I_{ij}^{w_j} \\
 \text{st. } &\prod_{j=1}^n I_{ij}^{w_j} \leq e, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 &w_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}
 \tag{Modelo 2.1}$$

La función objetivo del Modelo 2.1 es similar al método del producto ponderado descrito en la Sección 1.3.4. Las diferencias consisten en que en este modelo los pesos son endógenos y cambiantes para diferentes sistemas, mientras que en el producto ponderado los pesos son exógenos y fijos. El modelo de la Modelo 2.1 permite determinar el “mejor” conjunto de pesos. Sin embargo, si un sistema posee un valor dominante con respecto a los otros sistemas en términos de determinado indicador, esta entidad obtendrá siempre la puntuación máxima incluso si posee bajos valores en otros indicadores de mayor importancia. Además, este modelo puede conducir a una situación en que varias entidades obtengan la misma puntuación de rendimiento, lo cual dificultaría la comparación entre ellos. Para contrarrestar este efecto indeseado, Zhou et al. (2010) proponen el Modelo 2.2.

$$\begin{aligned}
 bI_i &= \min \prod_{j=1}^n I_{ij}^{w_j} \\
 \text{st. } &\prod_{j=1}^n I_{ij}^{w_j} \geq e, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 &w_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}
 \tag{Modelo 2.2}$$

Este modelo busca el “peor” conjunto de pesos para cada sistema que serán empleados para agregar los indicadores en una puntuación de rendimiento.

Los índices de rendimiento gI_i y bI_i , se basan en los pesos que son los más favorables y menos favorables para cada sistema, pero solamente reflejan aspectos parciales del rendimiento de la agregación. Por tanto, Zhou et al. (2010) proponen su combinación en un índice general mediante la Ecuación 2.3.

$$CI_i(\lambda) = \lambda \frac{\ln(gI_i) - \ln(gI_{min})}{\ln(gI_{max}) - \ln(gI_{min})} + (1 - \lambda) \frac{\ln(bI_i) - \ln(bI_{min})}{\ln(bI_{max}) - \ln(bI_{min})}
 \tag{Ecuación 2.3}$$

Donde:

- $gI_{max} = \max\{gI_i, i = 1, 2, \dots, m\}$;
- $gI_{min} = \min\{gI_i, i = 1, 2, \dots, m\}$;
- $bI_{max} = \max\{bI_i, i = 1, 2, \dots, m\}$;
- $bI_{min} = \min\{bI_i, i = 1, 2, \dots, m\}$; y
- $0 \leq \lambda \leq 1$ es un parámetro de control.

El parámetro de control λ establece el balance entre ambos casos extremos. En su aplicación, si los decisores o los analistas no poseen una preferencia particular, $\lambda = 0.5$ sería una decisión neutral.

Como el Modelo 2.1 y el Modelo 2.2 son dos problemas de programación no lineales, tomando los logaritmos con e como base se obtienen sus programas lineales como se muestra en el Modelo 2.3 y en el Modelo 2.4, respectivamente.

$$\begin{aligned} gI'_i &= \max \sum_{j=1}^n w_j I'_{ij} \\ \text{st. } \sum_{j=1}^n w_j I'_{ij} &\leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ w_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad \text{Modelo 2.3}$$

$$\begin{aligned} bI'_i &= \min \sum_{j=1}^n w_j I'_{ij} \\ \text{st. } \sum_{j=1}^n w_j I'_{ij} &\geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ w_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad \text{Modelo 2.4}$$

Donde $I'_{ij} = \ln(I_{ij})$, $gI'_i = \ln(gI_i)$ y $bI'_i = \ln(bI_i)$, siendo I_{ij} el valor normalizado del indicador V_j en el sistema S_i , y w_j es el peso de la variable V_j .

Asúmase que:

- $gI'_{max} = \max\{gI'_i, i = 1, 2, \dots, m\}$;
- $gI'_{min} = \min\{gI'_i, i = 1, 2, \dots, m\}$;
- $bI'_{max} = \max\{bI'_i, i = 1, 2, \dots, m\}$; y
- $bI'_{min} = \min\{bI'_i, i = 1, 2, \dots, m\}$.

Entonces se obtiene $gI'_{max} = \ln(gI_{max})$, $gI'_{min} = \ln(gI_{min})$, $bI'_{max} = \ln(bI_{max})$ y $bI'_{min} = \ln(bI_{min})$. Sustituyendo estos elementos en la Ecuación 2.3 se obtiene la Ecuación 2.4.

$$CI_i(\lambda) = \lambda \frac{g'_i - g'_{min}}{g'_{max} - g'_{min}} + (1 - \lambda) \frac{b'_i - b'_{min}}{b'_{max} - b'_{min}} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Esta ecuación indica que se puede derivar el valor del índice para cada sistema resolviendo primeramente el Modelo 2.3 y el Modelo 2.4 y luego combinando sus valores óptimos en un índice general empleando la Ecuación 2.4.

Este método de ponderación basado en una optimización multiplicativa, consiste también en una alternativa de agregación no compensatoria, basada en el peor y el mejor conjunto de pesos para cada sistema evaluado según el parámetro de control λ . La Ecuación 2.4 revela una estructura similar a la propuesta de Díaz-Balteiro y Romero (2004) del ideal desplazado ponderado, que fue abordado en la Sección 1.3.4.

2.2.3. Fase III “Seleccionar el método de agregación”

Los elementos abordados en el marco teórico del presente trabajo reflejan la importancia de la adecuada selección del método de agregación a emplear. La agregación constituye un paso fundamental en el proceso de construcción de cualquier índice de sostenibilidad, y sus características influyen en el tipo de índice que se obtendrá (Gan et al., 2017). Teniendo en cuenta estos criterios, se propone adicionar la Fase III con el objetivo de establecer un procedimiento que permita seleccionar un método de agregación apropiado para la construcción del IDST.

La Fase III está compuesta por cuatro subprocesos que guían el análisis, que concluye con la selección del método de agregación que se emplea en la construcción del IDST.

- **Subproceso 3.1: Seleccionar los métodos de agregación para el análisis**

Teniendo en cuenta que el IDST debe alinearse a la perspectiva de sostenibilidad fuerte, según Gan et al. (2017) se recomienda emplear un método de agregación que combine el resultado de la agregación y la no compensación entre los indicadores del sistema. Siendo este el principal criterio para la selección de los métodos de agregación a comparar, se seleccionan otros métodos de agregación de los más empleados en la construcción de índices de sostenibilidad, con el objetivo de comparar los métodos combinados propuestos o existentes con los popularmente empleados.

- **Subproceso 3.2: Calcular los IDST**

Para realizar la comparación de los métodos de agregación se requiere la información antes y después de la agregación. La primera fuente de información es la matriz de las observaciones o mediciones realizadas a los indicadores que componen el sistema, en varios momentos y lugares determinados (relación espacio-tiempo), siendo $X = (x_{ij})_{m \times n}$ la matriz ambiental donde x_{ij} representa una observación del sistema $S_i (i = 1, 2, \dots, m)$ para el indicador $V_j (j = 1, 2, \dots, n)$. La segunda fuente de información la constituye la matriz de índices $I = (I_{ik})_{m \times p}$, donde I_{ik} representa el índice de sostenibilidad del sistema S_i calculado mediante el método de agregación $A_k (k = 1, 2, \dots, p)$.

- **Subproceso 3.3: Calcular la medida Shannon-Spearman**

Zhou et al. (2006) proponen una medida para evaluar el desempeño de los métodos de agregación basada en el concepto de pérdida de información antes y después del cálculo del índice de sostenibilidad. La matriz ambiental X contiene información útil en el propósito de evaluación. Asumiendo que la información en X puede estimarse apropiadamente con precisión, luego de obtener el vector de índice $I = (I_1, I_2, \dots, I_m)^T$ empleando un método de agregación, la información en I también puede estimarse. Luego la discrepancia entre las dos piezas de información puede utilizarse para evaluar el método de agregación empleado, porque el mismo método de agregación conducirá al mismo índice y entonces a la misma magnitud de discrepancia. Como la información en X actúa como la base para la evaluación, la discrepancia entre la cantidad de información en I y la cantidad de información en X se denomina “pérdida de información”. Si un método de agregación produce menor pérdida de información que otros, entonces este método puede considerarse mejor (Zhou et al., 2006).

La entropía de Shannon se emplea para medir la divergencia de diferentes sistemas con respecto a cada variable ambiental así como con respecto a I (Shannon y Weaver, 1947). Siguiendo el procedimiento para aplicar la entropía de Shannon (Deng et al., 2000; Zeleny, 1982), se comienzan normalizando X e I mediante la Ecuación 2.5 y la Ecuación 2.6, respectivamente.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$p_k = \frac{I_k}{\sum_{k=1}^m I_k}, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde p_{ij} es el valor normalizado de la variable V_j en el sistema S_i , y p_k es el valor normalizado del sistema S_k , donde m es la cantidad de sistemas y n la cantidad de variables o indicadores. La entropía de Shannon para medir la divergencia de diferentes sistemas con respecto a cada variable ambiental y el índice obtenido se pueden obtener a partir de la Ecuación 2.7 y Ecuación 2.8, respectivamente.

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$e = -\frac{1}{\ln m} \sum_{k=1}^m p_k \ln p_k \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Mientras mayores sean los valores de e_j y e , menor divergencia se observará entre los sistemas con respecto a V_j o I .

El conflicto entre el orden de las evaluaciones resulta otra importante fuente de información contenida en X o I . Por ejemplo, si V_i y V_j poseen los mismos elementos en secuencias diferentes, la información que contienen es diferente; sin embargo, su valor de entropía es la misma (Zhou et al., 2006). Este tipo de información, que puede medirse por el coeficiente de correlación de rangos de Spearman, ha sido investigada en determinar los pesos objetivos de problemas de toma de decisiones basados en múltiples atributos (Diakoulaki et al., 1995). Zhou et al. (2006) establecen la secuencia de rangos de referencia como $r_0 = (m, m-1, \dots, 1)^T$, luego calculan los coeficientes de correlación de rangos de Spearman r_{sj} (r_s) entre V_j (I) con respecto a r_0 .

La medida de pérdida de información antes y después de la construcción del índice se muestra en la Ecuación 2.9.

$$d = \left| \sum_{j=1}^n w_j(1 - e_j)r_{sj} - (1 - e)r_s \right| \quad \text{Ecuación 2.9}$$

La medida d es la diferencia de información contenida en X y la información contenida en I . La Ecuación 2.9 es una medida de diferencia absoluta de información. Cuando $\sum_{j=1}^n w_j(1 - e_j)r_{sj}$ es distinto de cero, puede emplearse la medida Shannon-Spearman como se muestra en la Ecuación 2.10 para comparar diferentes métodos de agregación, lo que proporciona el grado relativo de pérdida de información desde X hasta I (Zhou et al., 2006).

$$d' = \left| 1 - \frac{(1 - e)r_s}{\sum_{j=1}^n w_j(1 - e_j)r_{sj}} \right| \quad \text{Ecuación 2.10}$$

- **Subproceso 3.4: Analizar los resultados de la comparación y seleccionar el método de agregación más apropiado**

La medida Shannon-Spearman permite la comparación objetiva basada en el concepto de “pérdida de información” de los métodos de agregación involucrados en el análisis. Por tanto, el especialista que conduce el análisis decide qué método emplear, apoyándose para ello en gráficos y tablas que muestren los resultados de la comparación.

2.2.4. Subproceso “Calcular el IDST”

El subproceso para calcular el índice de sostenibilidad se ejecutaba al final de la fase de construcción del IDST en el procedimiento original. El proceso de construcción se realizaba de abajo hacia arriba en la jerarquía de MOT, empleando en el nivel inmediato superior los índices y los pesos de los elementos subordinados. Para calcular el IDST se empleaban los índices de las dimensiones y sus pesos relativos al IDST. De forma análoga se calculaban los índices de las dimensiones con relación a sus áreas claves subordinadas y de estas con relación a sus indicadores subordinados.

La modificación al cálculo del IDST consiste en calcular el índice de forma directa a los pesos y los valores normalizados de los indicadores. Por tanto siendo $w_j = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ el conjunto de los pesos de los indicadores V_j que componen el sistema, ($j = 1, 2, \dots, n$), e I'_{ij}

los valores normalizados de los indicadores V_j para la entidad I_i , ($i = 1, 2, \dots, m$), siendo MA el método de agregación seleccionado, el IDST se construye mediante la Ecuación 2.11.

$$IDST_i = MA_{j=1}^n(w_j, I'_{ij}) \quad \text{Ecuación 2.11}$$

2.2.5. Subproceso “Calcular índices de las áreas claves”

Sea w_{k_j} el peso del indicador V_{k_j} , tal que V_{k_j} se subordina al área clave AC_k ; sea w'_{k_j} el valor normalizado de w_{k_j} con respecto a la sumatoria de los pesos de los indicadores V_{k_j} que se subordinan a AC_k , de la forma $w'_{k_j} = \frac{w_{k_j}}{\sum_{j=i}^p w_{k_j}}$. El índice del área clave AC_{k_i} , para el sistema S_i ($i = 1, 2, \dots, m$), se calcula empleando el método de agregación MA según la Ecuación 2.12, donde $I'_{k_{ij}}$ es el valor normalizado del indicador V_{k_j} para el sistema S_i y p es la cantidad de indicadores que se subordinan a AC_k .

$$IAC_{k_i} = MA_{j=1}^p(w'_{k_j}, I'_{k_{ij}}) \quad \text{Ecuación 2.12}$$

En el caso de que los pesos de los indicadores sean iguales, este procedimiento no difiere con respecto a la forma en que se calculaban inicialmente los índices de las áreas claves. Cuando los pesos de los indicadores son diferentes, el índice del área clave se forma a partir de los pesos de los indicadores que no son relativos al área clave sino al IDST, por tanto se emplea el proceso de normalización para que la suma de los pesos sea la unidad y poder brindar un índice estandarizado.

2.2.6. Subproceso “Calcular índices de las dimensiones”

Sea w_{d_j} el peso del indicador V_{d_j} , tal que V_{d_j} se subordina a la dimensión D_d ; sea w'_{d_j} el valor normalizado de w_{d_j} con respecto a la sumatoria de los pesos de los indicadores V_{d_j} que se subordinan a D_d , de la forma $w'_{d_j} = \frac{w_{d_j}}{\sum_{j=i}^p w_{d_j}}$. El índice de la dimensión D_{d_i} , para el sistema S_i ($i = 1, 2, \dots, m$), se calcula empleando el método de agregación MA según la Ecuación 2.13, donde $I'_{d_{ij}}$ es el valor normalizado del indicador V_{d_j} para el sistema S_i y p es la cantidad de indicadores que se subordinan a D_d .

$$ID_d = MA_{j=1}^p(w'_{d_j}, I'_{d_{ij}}) \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Empleando este método, los índices de las dimensiones se calculan directamente sobre los valores normalizados de sus indicadores subordinados en la jerarquía del sistema de indicadores y sus respectivos pesos normalizados, con el fin de obtener un índice estandarizado.

2.2.7. Método de agregación compuesto: ideal desplazado ponderado geométrico

El enfoque orientado al proceso para determinar “cuándo emplear qué” de Gan et al. (2017) establece que la alternativa de agregación que se emplee en la construcción de un índice para evaluar la “sostenibilidad fuerte” debe ser un método que combine la mejor cualidad de agregación con la no compensación. En la Sección 1.3.4 se expuso un método combinado presentado por Díaz-Balteiro y Romero (2004), como una variación del método del ideal desplazado ponderado transformado a su forma convexa y estableciendo un parámetro de control λ para equilibrar el resultado de la agregación con el balance que debe existir entre los indicadores del sistema. Cuando $\lambda = 0$, la función se puede emplear para representar un método de agregación no compensatorio; cuando $\lambda = 1$ la función se torna la suma ponderada.

Entre las limitantes de este método de agregación se encuentran el problema identificado cuando los indicadores alcanzan sus rendimientos ideales, ya que el índice no llega al valor de 1 para valores de λ en el intervalo de $[0, 1)$ debido a que el elemento que responde al balance de los indicadores del sistema no es un índice en sí, y que emplea la suma ponderada en la agregación, un método catalogado como completamente compensatorio.

El producto ponderado (PP), según diversos estudios presentados en el marco teórico de la presente investigación, posee menor compensación y menor pérdida de información que la suma ponderada. Transformando la Ecuación 1.13 a una forma equivalente empleando el producto ponderado se obtiene la Ecuación 2.14.

$$I_i = \left(\text{Min} [r_{ij}^{w_j}] \right)^{(1-\lambda)} * \left(\prod_{j=1}^n r_{ij}^{w_j} \right)^\lambda \quad \text{Ecuación 2.14}$$

El valor λ igualmente es un parámetro de control, r_{ij} representa el valor del indicador V_j en el sistema S_i , w_j es el peso o preferencia de los expertos del indicador V_j , e I_i es el índice de sostenibilidad del sistema S_i . El componente $Min [r_{ij}^{w_j}]$ en caso de usarse tal cual, lejos de penalizar el índice general, independientemente de valor λ que se fije, actúa como compensación pues el orden de la potencia $r_{ij}^{w_j}$ solo se ajusta en el resultado final de la agregación mediante el producto, tal y como se muestra en el ejemplo de la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Índice para un conjunto arbitrario de 3 indicadores con pesos iguales empleando el método del producto ponderado. Fuente: elaboración propia.

	Indicador		
	V ₁	V ₂	V ₃
Valor normalizado	0.5	0.9	1
Peso	0.33	0.33	0.33
Valor ponderado	0.79	0.96	1
Índice	0.76		

En este ejemplo el valor de menor rendimiento corresponde a 0.79, que para el caso de $\lambda = 0.5$ el miembro izquierdo del producto toma el valor 0.89 y el miembro derecho 0.87, ante los cuales el índice general es de 0.77, que resulta mayor que el calculado por el PP.

Se propone sustituir $Min [r_{ij}^{w_j}]$ por el índice del balance del sistema IBS_i formulado mediante la Ecuación 2.15.

$$IBS_i = \left(Min [r_{ij}^{w_j}] \right)^n \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Donde n representa la cantidad de indicadores del sistema. Es decir, IBS_i representa un índice de rendimiento del sistema completo basado en $Min [r_{ij}^{w_j}]$. Para el caso de pesos iguales de los indicadores, el IBS_i coincide con el menor r_{ij} . Para el caso en que los r_{ij} posean el mismo valor, que no sea 1, el IBS_i adquiere el significado de desbalance entre los pesos de los indicadores cuando estos son distintos. Cumple además que para el vector ideal de rendimiento de los indicadores, su valor es 1.

Reemplazando el valor $Min [r_{ij}^{w_j}]$ por el IBS_i en la Ecuación 2.14 se conforma el método de agregación del ideal desplazado ponderado geométrico según la Ecuación 2.16.

$$I_i = IBS_i^{(1-\lambda)} * \left(\prod_{j=1}^n r_{ij}^{w_j} \right)^\lambda \quad \text{Ecuación 2.16}$$

El índice que se construye aplicando este método representa el balance, controlado por el valor λ , entre el mejor resultado de la agregación mediante el producto ponderado y el equilibrio del desempeño de los indicadores del sistema y los pesos exógenos con que fueron ponderados.

2.3. Diseño de la aplicación informática

La aplicación informática Sistema para la Evaluación del Desarrollo Sostenible Territorial versión 1.0 (SEDSTv1.0), fue elaborada por Vega Calcines (2014) para la automatización del procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible de los territorios cubanos. Las modificaciones realizadas al procedimiento requieren el diseño de cómo incorporarlas a la versión existente de la aplicación.

2.3.1. Características generales de SEDST versión 1.0

SEDSTv1.0 es una aplicación de tipo cliente-servidor. La aplicación principal se aloja en una computadora remota a la cual se accede vía un navegador web. Se implementó empleando el marco tecnológico Yii versión 1.1 (Xue y Wei Zhou, 2010), escrito en el lenguaje PHP (PHP, 2019), incorporando el administrador de extensiones Zii y la biblioteca para la generación de gráficos Highcharts (Highsoft, 2019). El servidor de base de datos relacional empleado fue MySQL (Oracle, 2019), y se empleó el ambiente integrado XAMPP (Apache Friends Org., 2019) para la construcción y despliegue de la aplicación en un servidor Apache (Apache, 2019) embebido. Yii incorpora el patrón arquitectónico modelo-vista-controlador, sobre el cual están implementadas todas las funcionalidades de la aplicación.

2.3.2. Arquitectura de SEDST versión 1.5

La aplicación informática SEDST no requiere de cambios arquitectónicos significativos. Se mantienen las tecnologías empleadas en la versión 1.0, empleando los mismos patrones que implementa Yii versión 1.1. Se adicionan nuevas funcionalidades y se modifican otras, por

tanto se obtiene la versión 1.5 de SEDST. La Figura 2.5 muestra la arquitectura general de SEDSTv1.5 a nivel de subsistemas.

Se mantiene el “Subsistema de captura, procesamiento básico y presentación” (SCPP) sobre la base de Yii y sus extensiones, empleando el servicio de datos mediante el sistema de gestión de bases de datos MySQL. Se adiciona el subsistema “Servicios de procesamiento avanzado de datos” (SPAD) que contiene los servicios necesarios para el procesamiento de datos que no son factibles implementar en el lenguaje PHP.

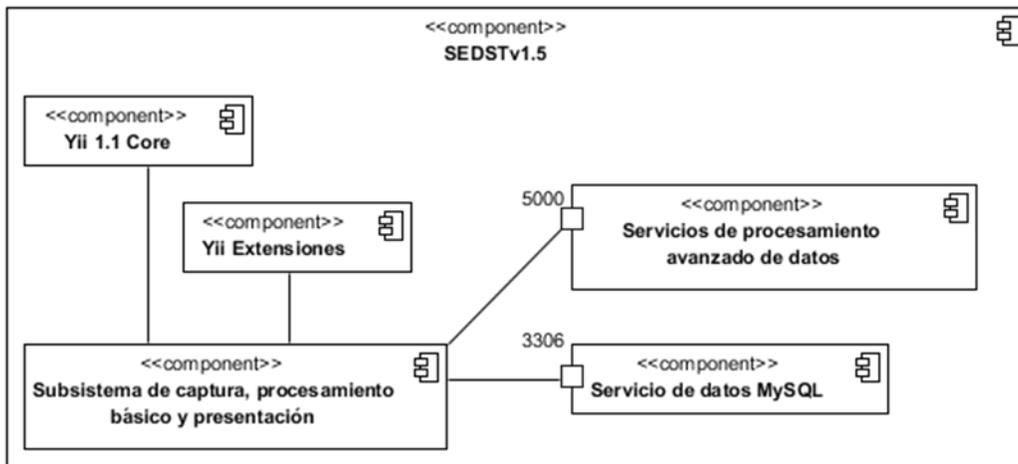


Figura 2.5. Arquitectura general de la aplicación informática SEDSTv1.5.

La Figura 2.6 muestra el diagrama de componentes de ambos subsistemas y sus respectivas integraciones a nivel de servicios.

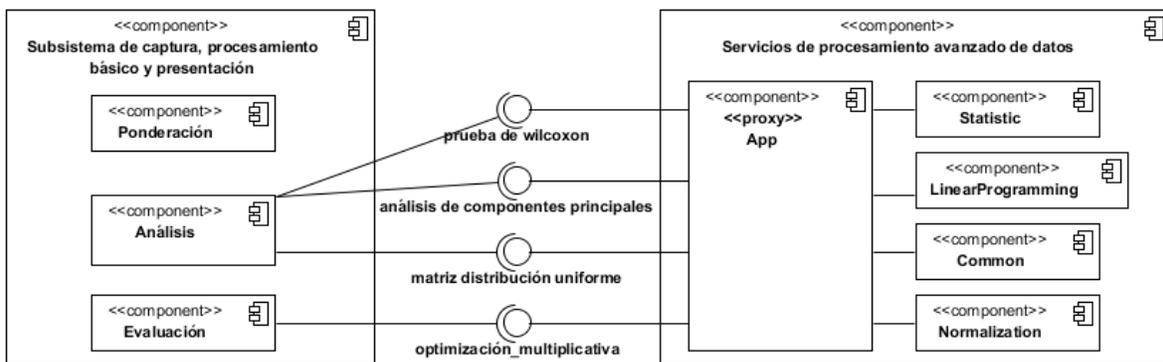


Figura 2.6. Diagrama de componentes y su integración mediante servicios entre los subsistemas “Subsistema para la captura, procesamiento básico y presentación” y “Servicios de procesamiento avanzado de datos”.

El subsistema SCPP está compuesto por tres componentes, el componente Análisis que contiene las funcionalidades para la selección de indicadores y para la comparación de

métodos de agregación, el componente Evaluación que contiene las funcionalidades para evaluación de un territorio y para la comparación entre los territorios, y el componente Ponderación con el método de ponderación. El subsistema SPAD está compuesto por un componente App que implementa el patrón *proxy*, que publica los servicios a consumir, y cuatro componentes adicionales para el procesamiento estadístico en el componente Statistic, el empleo de métodos de programación lineal para la solución de problemas de optimización del componente LinearProgramming, la generación de matrices con distribución uniforme del componente Common y los métodos de normalización del componente Normalization.

2.3.3. Biblioteca de métodos para la construcción de índices de sostenibilidad

SEDSTv1.5 requiere el diseño de una biblioteca con los métodos de agregación, los métodos de normalización, los criterios de selección de componentes principales del análisis multivariado y otros métodos de apoyo al procesamiento básico de datos, incorporada al subsistema SCPP.

La Figura 2.7 muestra el diseño del diagrama de clases de la biblioteca de métodos para la construcción de índices de sostenibilidad.

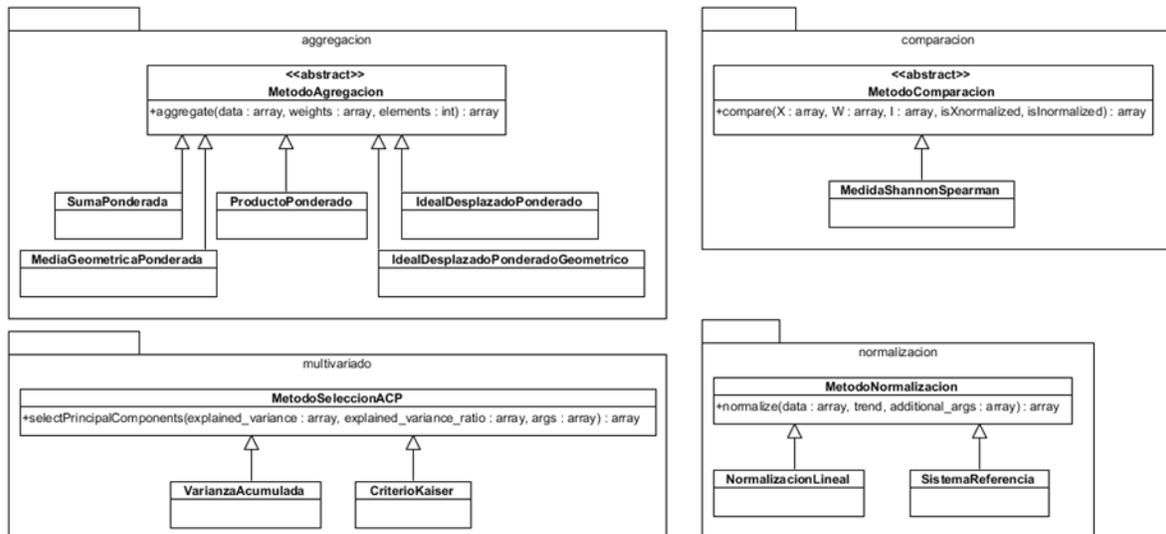


Figura 2.7. Diagrama de clases de la biblioteca de métodos para la construcción de índices de sostenibilidad.

La biblioteca está compuesta por cuatro paquetes, cada uno contiene un conjunto de métodos específicos. El paquete “agregación” contiene las implementaciones de los métodos de agregación, el paquete “comparación” la implementación de la medida Shannon-Spearman, el paquete “multivariado” las implementaciones de los criterios de selección de componentes

del análisis de componentes principales, y el paquete “normalización” con la implementación de los métodos de normalización. Todas las implementaciones de los métodos heredan de su respectiva clase abstracta cuyo único método declara la operación a realizar y la estandariza para todas las clases que la heredan.

2.3.4. Especificación del componente Análisis

El componente Análisis provee las funcionalidades para realizar el análisis multivariado y la selección de indicadores mediante el análisis de componentes principales, y la comparación de los métodos de agregación.

La Figura 2.8 muestra la interacción entre las clases de este componente. La clase AnalisisController emplea la clase Útil del paquete “lib” para obtener la configuración de los servicios de procesamiento avanzado de datos, y la clase de tipo modelo Sistema emplea los métodos de normalización y agregación para la construcción del IDST.

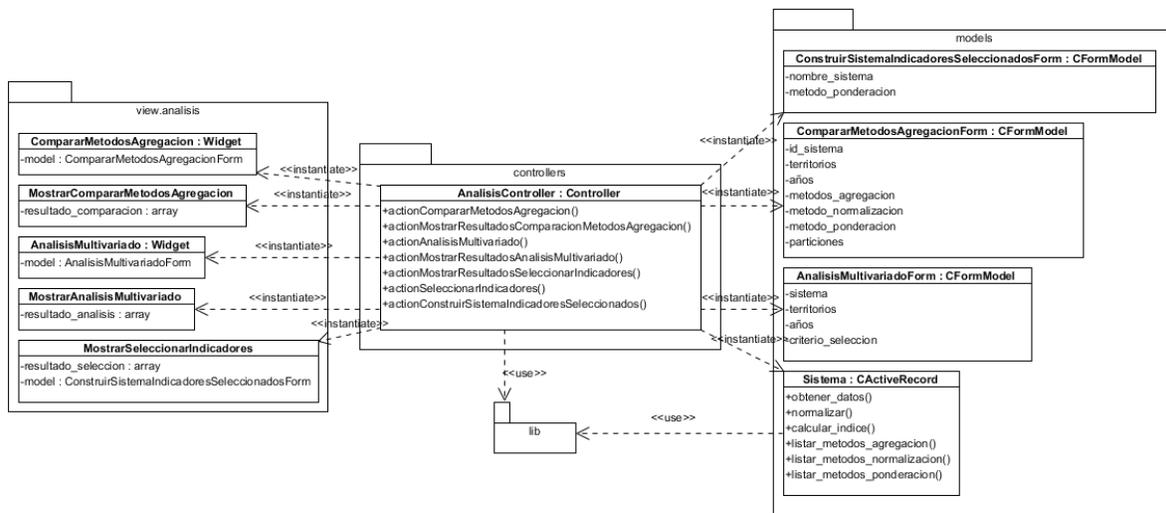


Figura 2.8. Diagrama de clases del componente Análisis.

La modelo Sistema contiene las funciones para calcular los índices a través de las modificaciones al procedimiento. La controladora AnalisisController invoca las clases correspondientes para la selección de componentes principales y para la comparación de métodos de agregación del paquete “lib”.

Se incorporan tres clases modelo que heredan de CFormModel del núcleo de Yii, que contienen los datos que el usuario introduce en la vista. Por cada acción de la controladora se adicionan dos vistas, una para la captura de los datos del análisis en un formulario y otra

para la presentación de los resultados. El Anexo 2 contiene el diagrama de secuencia de la funcionalidad “Seleccionar indicadores” del componente de análisis.

2.3.5. Especificación del componente Evaluación

El componente Evaluación contiene las funcionalidades para evaluar un territorio en el tiempo y para comparar los territorios en un instante de tiempo. La Figura 2.9 muestra el diagrama de clases de la funcionalidad “Evaluar territorio” de este componente.

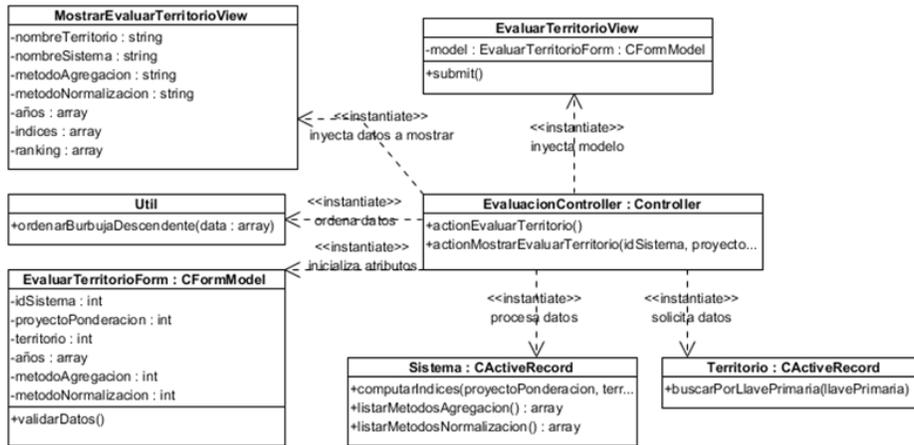


Figura 2.9. Diagrama de clases de la funcionalidad “Evaluar territorio” del componente Evaluación.

La Figura 2.10 muestra el diagrama de clases de la funcionalidad “Comparar territorios con pesos exógenos”.

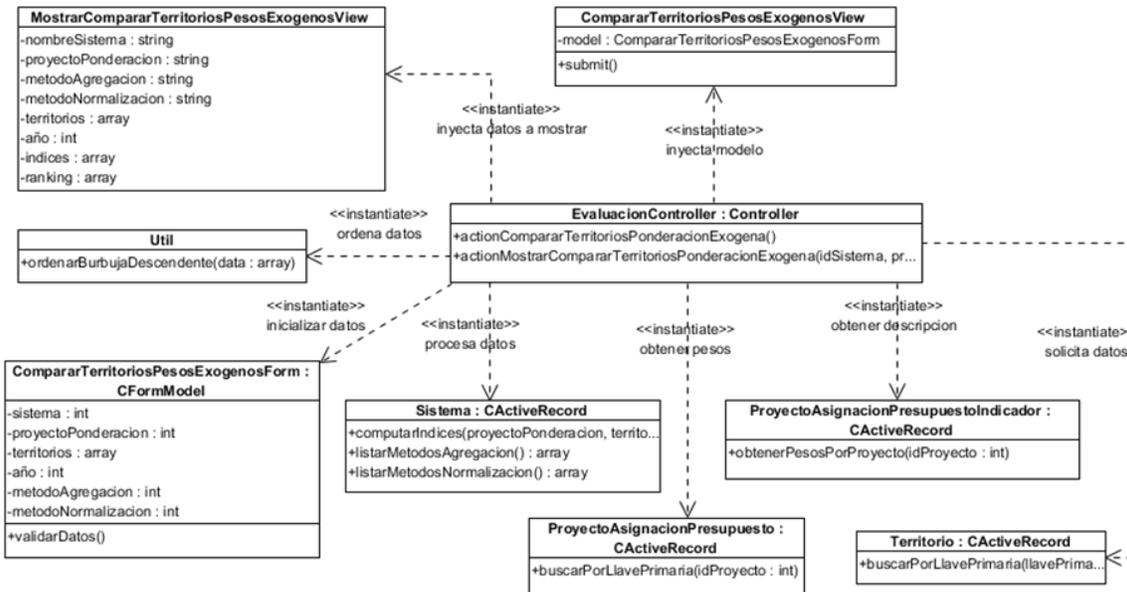


Figura 2.10. Diagrama de clases de la funcionalidad “Comparar territorios con pesos exógenos” del componente Evaluación.

La Figura 2.11 muestra el diagrama de clases de la funcionalidad “Comparar territorios mediante el enfoque de optimización multiplicativa”.

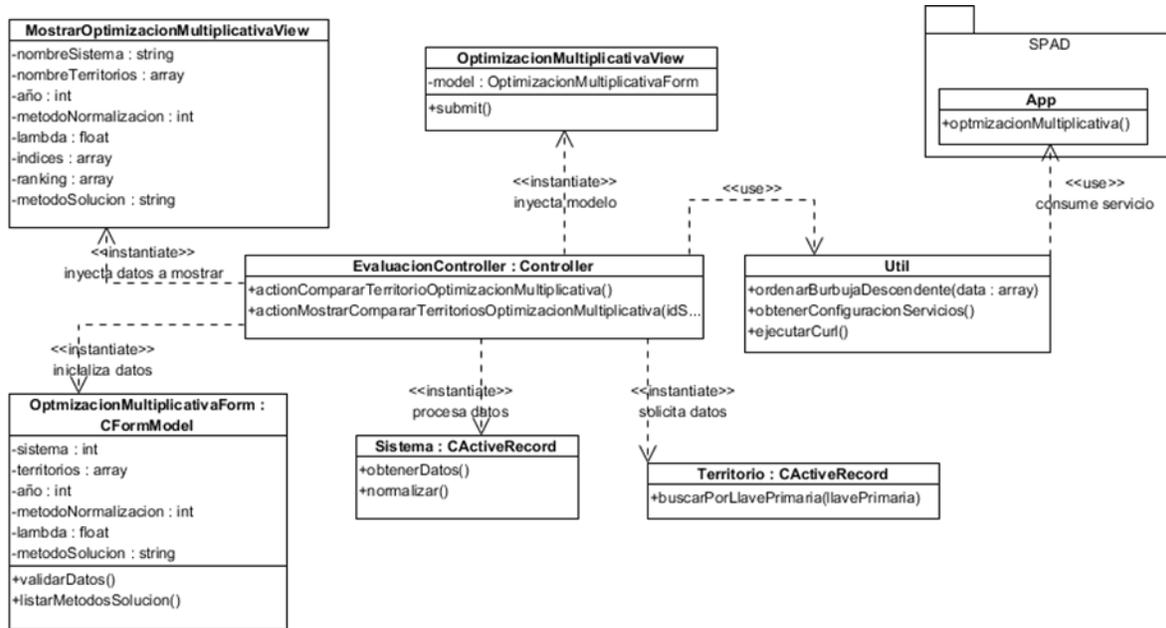


Figura 2.11. Diagrama de clases de la funcionalidad “Comparar territorios mediante el enfoque de optimización multiplicativa” del componente Evaluación.

El objetivo de modelar dos funcionalidades distintas para la comparación entre los territorios en un instante de tiempo, es proveer el proceso estándar de construcción del IDST en caso de contar con un conjunto de pesos para los indicadores que sean aplicables a todos los territorios del país, y el proceso de construcción del IDST mediante la optimización multiplicativa con pesos endógenos. La comparación de territorios mediante la optimización multiplicativa requiere consumir un servicio del subsistema SPAD.

2.3.6. Especificación del componente Ponderación

El componente Ponderación permite ponderar el sistema de indicadores basado en proyectos de ponderación del método de asignación de presupuesto. Gestionar la ponderación mediante proyectos permite poseer varios conjuntos de pesos para un mismo sistema y realizar experimentos. La Figura 2.12 muestra el diagrama de entidad-relación de las entidades identificadas y sus respectivas relaciones con las entidades ya existentes. Las entidades Proyecto de Asignación de Presupuesto y Ejecución representan el proyecto y las ejecuciones de encuestas asociadas a ese proyecto. Un sistema de indicadores posee uno o más proyectos de ponderación, el proyecto se configura para ejecutar cierta cantidad de encuestas donde se

asignan presupuestos a los indicadores. Al concluir las encuestas se comprueba si hay consenso; en caso positivo se ponderan los indicadores a partir de los presupuestos asignados.

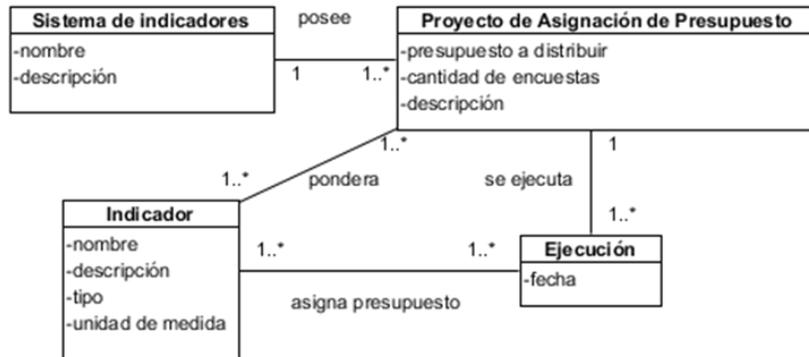


Figura 2.12. Diagrama de entidad-relación para la gestión de proyectos de ponderación.

El diagrama de actividades del Anexo 3 describe las actividades que se ejecutan al ponderar un sistema de indicadores mediante un proyecto de asignación de presupuesto. El Anexo 4 muestra el diseño lógico de la base de datos a partir del diagrama de entidad-relación.

El diseño de clases se muestra en la Figura 2.13, tanto para la gestión de proyectos de ponderación como la gestión de la ejecución de las encuestas.

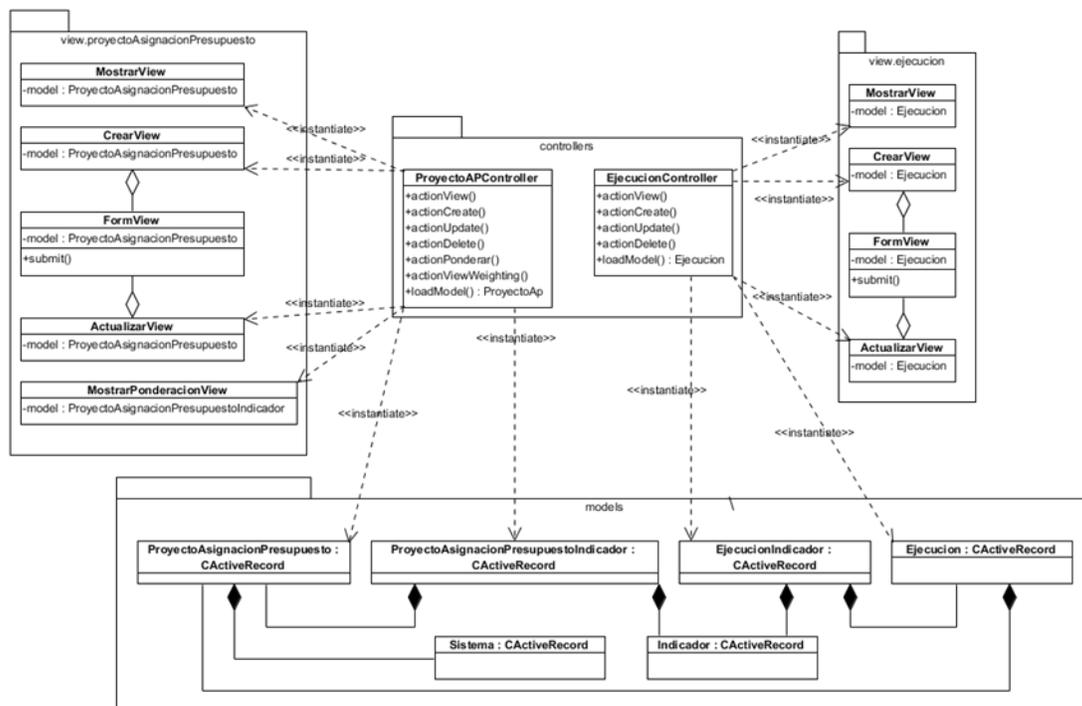


Figura 2.13. Diagrama de clases para la presentación, control y manipulación de datos para la ponderación de sistemas de indicadores mediante proyectos de asignación de presupuesto.

En el caso de las clases modelo, las relaciones de composición se mapean automáticamente por la llave primaria, según corresponda.

2.3.7. Subsistema “Servicios de procesamiento avanzado de datos”

El subsistema SPAD se ha concebido a partir de la selección del lenguaje de programación Python (Python Org., 2019) y un conjunto de módulos que facilitan el procesamiento de los datos. Los servicios de procesamiento avanzado de datos se implementan en un subsistema independiente integrándose mediante servicios con el subsistema principal de gestión. Los datos se intercambian en formato JSON como argumentos de la petición empleando el método POST.

La Figura 2.14 muestra el diagrama de componentes del subsistema SPAD. El componente App contiene la interfaz de los servicios y las clases que invocan a los métodos implementados en los módulos Python.

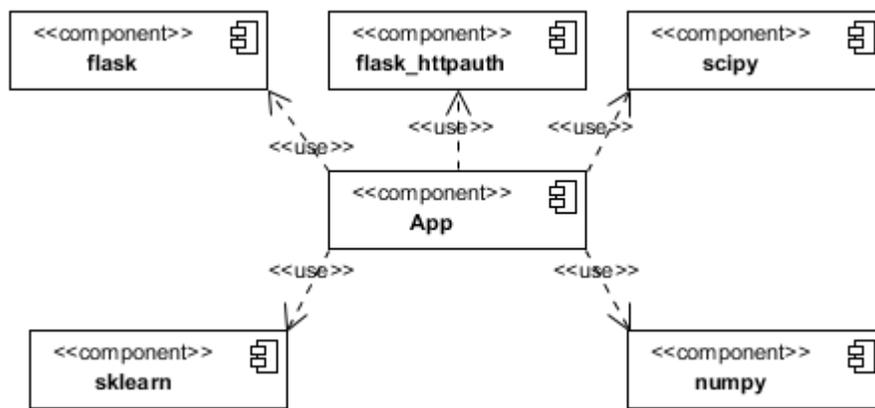


Figura 2.14. Diagrama general de componentes del subsistema Servicios de procesamiento avanzado de datos.

La Figura 2.15 muestra el diagrama de clases del componente App. En el caso de la solución de los modelos de optimización multiplicativa, se emplea el método *linprog(c, A_eq, b_eq, method)* del módulo *scipy.optimize*; el argumento *method* recibe el método de solución del problema de optimización lineal, correspondiente a la cadena “simplex” para el método Simple y a la cadena “interior-point” para el método del Punto Interior.

El método Simple se emplea en los casos que la dimensión del problema sea menor o igual que 8, y el método Punto Interior para dimensiones mayores que 8 (en el caso de la presente investigación, la dimensión se corresponde con el número de indicadores del sistema).

El método *errorhandler(error)* de *Flask* (Flask, 2019) se emplea para anotar los métodos de la API que se implementen para manejar tipos de errores que se especifican en el parámetro *error*. El método *route(route, method)* de la clase *Flask* se emplea para anotar los métodos asociados a servicios, especificando en el argumento *route* la ruta por la que se accederá al servicio y en el argumento *method* el tipo de la petición (GET, POST, PUSH).

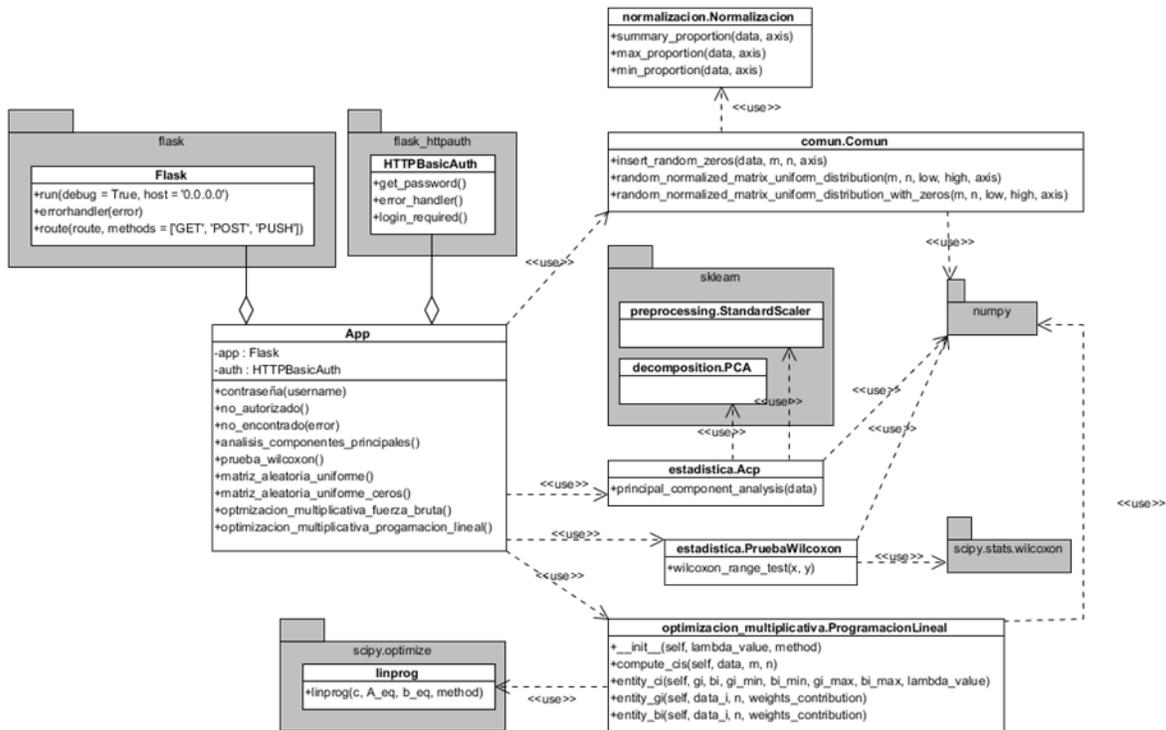


Figura 2.15. Diagrama de clases del subsistema Servicios de procesamiento avanzado de datos. Resaltados en gris los módulos Python empleados en el procesamiento.

Los métodos *get_password()*, *error_handler()* y *login_required()* de la clase *HTTPBasicAuth* se emplean para anotar el método que se emplea para comprobar la validez de la contraseña que se pasa en la petición al servicio, el método que manejará el error de autenticación y los métodos que requieren autenticación, respectivamente.

Conclusiones parciales

El procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible de los territorios cubanos posee oportunidades de mejoras. Se propusieron modificar dos subprocesos existentes de la Fase II del procedimiento, adicionar una nueva Fase III para analizar los métodos de agregación, y modificar el método de cálculo del IDST, los índices de las dimensiones y los índices de las áreas claves.

Se propuso modificar el subproceso “Seleccionar los indicadores” de la Fase II, adicionando una propuesta de procedimiento para la selección de indicadores a partir de los resultados de un análisis de componentes principales.

Se propuso modificar el subproceso “Ponderar indicadores, áreas claves y dimensiones” de la Fase II, atendiendo a dos tipos de análisis. Para la evaluación temporal de la sostenibilidad en un territorio específico, se propuso emplear el método de asignación de presupuesto. Para la evaluación de la sostenibilidad en la forma de comparación entre múltiples territorios en un instante de tiempo, se propuso un emplear un método de ponderación basada en una optimización multiplicativa (OM) que resulta en una agregación no compensatoria basada en el mejor y el peor conjunto de pesos de los indicadores para cada sistema.

Se propuso la adición de la Fase III “Seleccionar el método de agregación”, para determinar un método de agregación apropiado para la construcción del IDST empleando la medida Shannon-Spearman. La medida estima la diferencia de información antes y después de la agregación, permitiendo decidir cuál método de agregación emplear basada en una medida de desempeño objetiva.

Se propuso modificar el método de cálculo del IDST a través de la agregación directa de los valores normalizados y ponderados de los indicadores, para evitar el efecto indeseado de sobrecompensación cuando se realiza el cálculo incremental desde las áreas claves, las dimensiones y concluyendo con el IDST, al tener un sistema de indicadores estructuralmente desbalanceado. Se propusieron ajustes a los métodos de cálculo de los índices de las áreas claves y de las dimensiones, basado en los valores de sus indicadores subordinados en la jerarquía y los valores normalizados de sus respectivos pesos teniendo en cuenta su aporte en relación al IDST.

Se propuso un método de agregación denominado como ideal desplazado ponderado geométrico, que emplea la estructura del producto ponderado combinado con la no compensación en la forma de una disyunción con respecto al balance que debe existir entre el rendimiento de los indicadores y sus pesos. Este método posee características apropiadas para la construcción de índices alineados a la perspectiva de sostenibilidad fuerte.

CAPÍTULO 2. ADECUACIONES AL PROCEDIMIENTO

Se especificó el diseño de la nueva versión de la aplicación informática SEDST versión 1.5, incorporando las funcionalidades que responden a las modificaciones realizadas al procedimiento. El diseño propuesto proporciona características de marco tecnológico para la experimentación en la construcción del IDST.

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LOS TERRITORIOS CUBANOS

El presente capítulo aborda los resultados de la evaluación del desarrollo sostenible de los territorios cubanos empleando el procedimiento modificado a partir de las nuevas propuestas realizadas. Con este objetivo se introducirán las características generales de los territorios cubanos; se presentará el diseño de un nuevo sistema de indicadores, cuyos datos abarcan a todos los territorios en un periodo de una década comprendida entre los años 2008 y 2017, conformados a partir de fuentes públicas y oficiales del sistema nacional estadístico; se presentarán los resultados de la evaluación del desarrollo sostenible de los territorios en el tiempo, así como la comparación de la sostenibilidad entre los territorios en un instante de tiempo específico. Los resultados de la aplicación de las nuevas técnicas adicionales o modificadas al procedimiento se compararán con los resultados que se pueden obtener con las propuestas por Vega Calcines (2014), arribando a conclusiones al respecto.

3.1. Caracterización de los territorios cubanos

La República de Cuba, es un archipiélago formado por más de 1,600 islas, islotes y cayos, siendo la isla de Cuba la mayor. La extensión superficial del archipiélago cubano es de 109,884.01 kilómetros cuadrados. A partir del año 2011 se estableció en Cuba una nueva División Político-Administrativa, con la que Cuba quedó organizada en 15 provincias y 168 municipios, incluyendo el municipio especial Isla de la Juventud (ONEI, 2018). La Tabla 3.1 muestra los datos generales de extensión de tierra firme y población residente en las 15 provincias cubanas y su municipio especial Isla de la Juventud.

Tabla 3.1. Extensión de tierra firme y población residente de los territorios cubanos en el 2017. Fuente: ONEI (2018).

Territorio	Área de tierra firme (km²)	Población residente (U)
Pinar del Río	8,815.27	586,483
Artemisa	4,001.72	508,491
La Habana	728.26	2,129,553
Mayabeque	3,700.71	382,459
Matanzas	11,574.78	712,418
Villa Clara	7,919.38	784,244

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO

Territorio	Área de tierra firme (km ²)	Población residente (U)
Cienfuegos	4,187.91	407,244
Sancti Spiritus	6,765.12	465,931
Ciego de Ávila	6,194.90	435,170
Camagüey	14,152.20	769,863
Las Tunas	6,583.73	536,094
Holguín	9,167.62	1,030,024
Granma	8,367.90	826,911
Santiago de Cuba	6,227.63	1,051,069
Guantánamo	6,166.32	511,093
Isla de la Juventud	2,204.15	84,013

El territorio de mayor extensión de tierra firme es la provincia de Camagüey, siendo a su vez La Habana la de mayor densidad poblacional y la de menor extensión de tierra firme, en correspondencia con su título de capital de la nación.

3.2. Sistema de indicadores para la construcción del IDST

El sistema de indicadores propuesto por Vega Calcines (2014) se compone de las tres dimensiones del desarrollo sostenible, 10 áreas claves y 30 indicadores. Este sistema de indicadores presenta los siguientes problemas para su actualización:

- Varios indicadores se nutren de información que debe recopilarse en entidades territoriales, información que no se encuentra disponible en las fuentes oficiales de información estadística, como son la Empresa Provincial de Suelos y Fertilizantes, la delegación provincial del CITMA y del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, por solo mencionar algunos (consúltese la ficha de los indicadores en Vega Calcines (2014) para determinar el origen de los datos sobre los cuales se formularon los indicadores); y
- Varios indicadores dejaron de emitirse por la fuente oficial de información estadística (Oficina Nacional de Estadística e Información, ONEI) por designación nacional, como lo fueron la “Tasa de crecimiento de la producción mercantil” y la “Intensidad energética”, dejados de emitirse a partir del año 2015.

Teniendo en cuenta que para la presente investigación se deseaba aplicar el procedimiento con sus nuevas adecuaciones a la evaluación de la sostenibilidad de todos los territorios del país, se requirió de un sistema de indicadores cuyos datos estuviesen disponibles en el mayor periodo de tiempo y para la mayor cantidad de territorios en los anuarios estadísticos nacionales emitidos por la ONEI. Se preservaron aquellas áreas claves a las que tributaban al menos uno de los indicadores del nuevo sistema y las tres dimensiones del desarrollo sostenible. La Tabla 3.2 muestra el nuevo sistema de indicadores organizado según la estructura del MOT. Se presentan además los valores mínimo, máximo, media y desviación estándar de cada indicador, empleando los datos recopilados de los 16 territorios en 10 años. En resumen, el nuevo sistema de indicadores se conformó con las tres dimensiones de la sostenibilidad, ocho áreas claves y 16 indicadores.

Tabla 3.2. Marco ordenador temático del sistema de indicadores para la evaluación del desarrollo sostenible de los territorios cubanos. El sistema está compuesto por las tres dimensiones del desarrollo sostenible, ocho áreas claves y 16 indicadores. Los valores mínimo, máximo, media y desviación estándar de cada indicador se obtuvieron de los datos de los 16 territorios en diez años que comprende el periodo de 2008 a 2017. Fuente: elaboración propia.

Indicador (UM)	Tipo†	VD. ‡	Min.	Max.	Media	Desv.§
Dimensión: Ambiental						
<i>Área clave: Protección y rehabilitación de los suelos</i>						
Superficie cubierta de bosques (porciento)	Positiva	26.4	7.5	73.7	28.4	14.2
Porciento de reforestación en relación a la superficie total (porciento)	Positiva	0.5	0.05	2.1	0.4	0.3
Porciento de la superficie dañada por incendios forestales en relación a la superficie terrestre total (porciento)	Negativa	0.1	0	0.8	0.1	0.1
<i>Área clave: Pérdida de la diversidad biológica</i>						
Porciento de áreas terrestres protegidas en relación a la superficie total (porciento)	Positiva	24	0.2	48.3	11.8	14.0
<i>Área clave: Gestión de recursos hídricos</i>						

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO

Indicador (UM)	Tipo†	VD. ‡	Min.	Max.	Media	Desv.§
Carga contaminante dispuesta en relación a la cantidad de habitantes (ton DBO por habitante)	Negativa	0.0038	0.0037	0.0744	0.0161	0.01
Dimensión: Económica						
<i>Área clave: Desarrollo económico</i>						
Porcentaje de gastos de inversión para la protección del medio ambiente en relación al monto total de inversión (porcentaje)	Positiva	10	0	42.5	13.1	9.5
Volumen de inversiones en relación a la cantidad de habitantes (pesos por habitante)	Positiva	360	48.4	2,082.4	359.7	299.9
Salario medio mensual en entidades estatales y mixtas (pesos)	Positiva	466	378.0	848.0	539.3	129.9
Valor de la circulación mercantil minorista de bienes en relación a la cantidad de habitantes (pesos por habitante)	Positiva	2,800	1,489.1	6,412.7	2,795.7	981.8
<i>Área clave: Generación de desechos</i>						
Volumen de desechos sólidos recogidos en relación a la cantidad de habitantes (m ³ por habitante)	Negativa	0.92	1.1	7.1	2.3	1.2
Dimensión: Social						
<i>Área clave: Equidad</i>						
Porcentaje de participación en las últimas elecciones de delegados de las Asambleas Municipales del Poder Popular (porcentaje)	Positiva	95	84.1	99.5	94.2	3.1
<i>Área clave: Salud</i>						
Cobertura de abasto de agua potable (porcentaje)	Positiva	95.2	64.2	100	94.5	9.3
Cobertura de saneamiento (porcentaje)	Positiva	96.6	66.9	100	96.6	7.6

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO

Indicador (UM)	Tipo†	VD. ‡	Min.	Max.	Media	Desv.§
Tasa de mortalidad de los niños menores de 5 años (por cada 1000 nacidos vivos)	Negativa	2.2	2.2	10.2	5.8	1.3
<i>Área clave: Educación</i>						
Retención en el ciclo normal de la enseñanza primaria (por ciento)	Positiva	100	90.2	100	98.1	2.3
Retención en el ciclo normal de la enseñanza secundaria básica (por ciento)	Positiva	100	88.9	100	96.3	2.7

† Tipo del indicador de acuerdo a su tendencia. Se considera positivo como el tipo de “a mayor valor del indicador, mejor desempeño”; se considera negativo como el tipo de “a menor valor del indicador, mejor desempeño”.

‡ Valor deseado del indicador para el proceso de normalización tomando como referencia los propuestos por Vega Calcines (2014).

§ Desviación estándar.

Las fichas de los indicadores se pueden consultar en el Anexo 5 y los datos de los indicadores se pueden consultar en el Anexo 6.

No obstante a la conformación de un nuevo sistema de indicadores y la recopilación los datos para los análisis que posteriormente se presentarán, en la etapa inicial de la presente investigación se completaron los datos del sistema de indicadores propuesto por Vega Calcines (2014) para la provincia de Villa Clara igualmente en la década que comprende los años 2008 y 2017. Estos datos se emplearon con fines experimentales y comparativos, para establecer un punto de referencia con respecto al nuevo sistema de indicadores propuesto. Algunos de estos resultados se presentarán como parte de los análisis de secciones posteriores.

3.3. Selección de indicadores mediante el análisis de componentes principales

La ejecución del análisis multivariado a través del ACP, empleando las funcionalidades **Análisis/Análisis multivariado** y **Análisis/Seleccionar indicadores** implementadas en el Sistema para la Evaluación del Desarrollo Sostenible Territorial versión 1.5 (SEDSTv1.5), se realizó sobre dos sistemas de indicadores.

3.3.1. Selección de indicadores del sistema original

El primer análisis se ejecutó sobre el sistema original propuesto por Vega Calcines (2014), empleando los datos recopilados de sus 30 indicadores para la provincia de Villa Clara en 10 años, que en lo adelante se denominará como Original. Como parámetro del ACP se especificó como método de selección la regla de Kaiser. La Figura 3.1 muestra la gráfica de sedimentación de la varianza explicada por componente principal y la Figura 3.2 muestra el porcentaje de varianza explicada con respecto al porcentaje varianza explicada acumulada por componente principal.

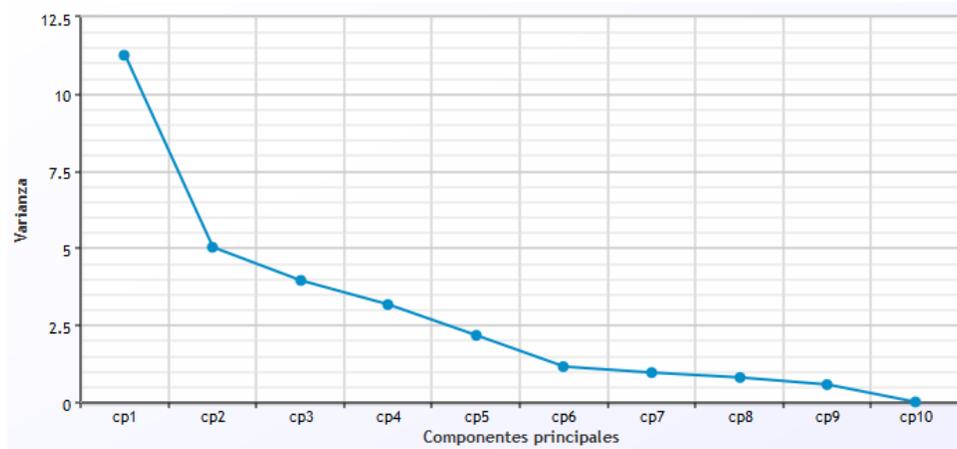


Figura 3.1. Gráfico de sedimentación de la varianza explicada por componente principal del sistema Original. Fuente: SEDSTv1.5.

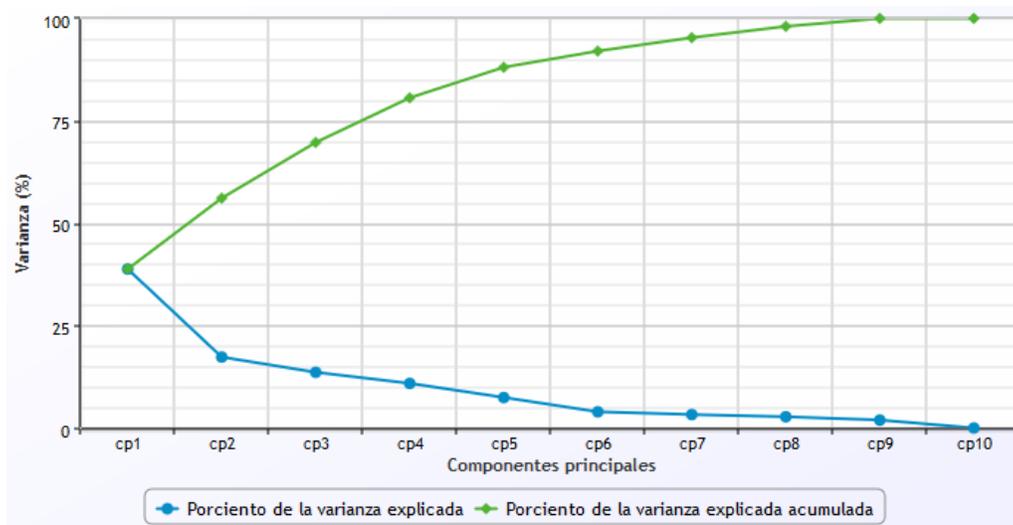


Figura 3.2. Porcentaje de varianza explicada vs. Porcentaje de varianza explicada acumulada por cada componente principal del sistema Original. Fuente: SEDSTv1.5.

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO

Empleando la funcionalidad para la selección de indicadores mediante ACP, se definió seleccionar hasta un 10% de indicadores por cada componente principal seleccionada. La Tabla 3.3 muestra las componentes seleccionadas así como la cantidad de indicadores a seleccionar por componente.

Tabla 3.3. Detalle de los resultados del ACP, selección de las componentes principales y determinación de sus respectivas cantidades de indicadores a seleccionar. Las componentes principales seleccionadas tienen especificado el número de indicadores a seleccionar. Fuente: SEDSTv1.5.

Componente principal	Varianza explicada	Varianza explicada (%)	Varianza explicada acumulada (%)	Indicadores a seleccionar
cp1	11.25	38.80	38.80	5
cp2	5.02	17.32	56.12	3
cp3	3.94	13.60	69.72	2
cp4	3.16	10.90	80.62	2
cp5	2.16	7.46	88.08	1
cp6	1.15	3.95	92.03	1
cp7	0.95	3.28	95.31	-
cp8	0.79	2.74	98.05	-
cp9	0.56	1.95	100.00	-
cp10	0.00	0.00	100.00	-

La aplicación de ACP sobre este sistema de indicadores arrojó los siguientes resultados parciales:

- De las 10 componentes principales identificadas, 6 cumplen con la regla de Kaiser, que representan un 92.03% de la varianza total de los datos.
- El proceso para determinar la cantidad de indicadores a seleccionar por componente principal establece que se pueden seleccionar hasta 14 indicadores en total (que pueden estar repetidos o no las componentes principales seleccionadas).
- El proceso de selección de indicadores redujo el sistema de indicadores a un total de 14, siendo 16 indicadores no seleccionados mediante la aplicación de este procedimiento. El Anexo 7 muestra la estructura del sistema de indicadores reducido.

Con los indicadores seleccionados se procedió conformar un nuevo sistema denominado Original_Reducido. La Figura 3.3 muestra los IDST calculados a partir del sistema original y el original reducido empleando los datos disponibles de la provincia de Villa Clara en el periodo entre los años 2008 y 2017. En la construcción de ambos conjuntos de índices se emplearon pesos iguales para los indicadores, se empleó el método de normalización basado

en la distancia al sistema de referencia definido para cada indicador y el método del producto ponderado como alternativa de agregación.

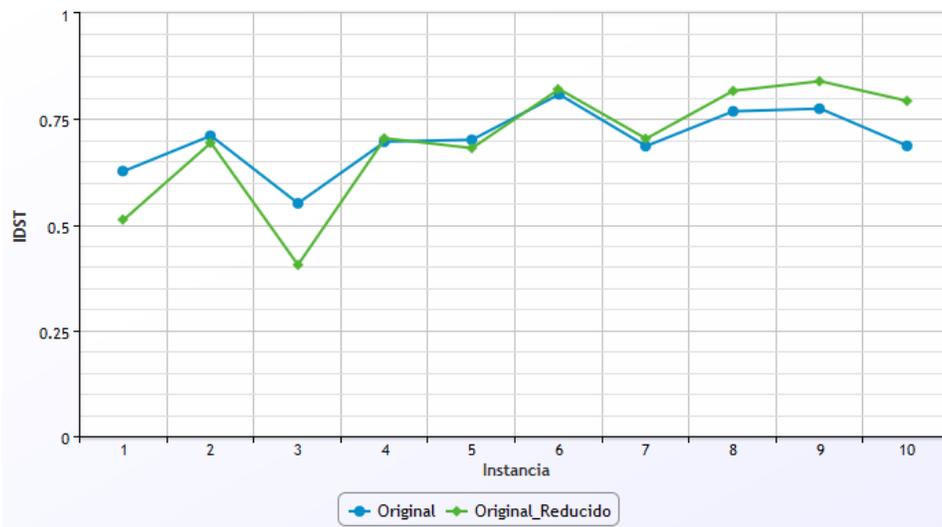


Figura 3.3. Índices de Desarrollo Sostenible Territorial de la provincia Villa en el periodo 2008-2017 empleando el sistema de indicadores Original y el sistema de indicadores Original_Reducido. Fuente: SEDSTv1.5.

Visualmente se puede apreciar que desde las instancias 4 a la 10, correspondientes a los años 2011 y 2017 respectivamente, los índices poseen valores cercanos. En el caso de las restantes, el comportamiento de los índices sigue un patrón similar. Al aplicar la comparación de ambos conjuntos de índices mediante la prueba de Wilcoxon implementado como parte del módulo de análisis multivariado de SEDSTv1.5, se obtuvo un valor p de 0.95 mayor que el valor referencia de 0.05, por tanto se acepta la hipótesis nula H_0 de que la diferencia entre los pares sigue una distribución simétrica alrededor de cero, por tanto no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos conjuntos de índices IDST.

La aplicación del procedimiento de selección de indicadores mediante el ACP sobre el sistema Original permitió obtener un sistema de indicadores reducido, que para los mismos datos permite obtener un conjunto de IDST que no poseen una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los obtenidos con el sistema de indicadores original completo.

3.3.2. Selección de indicadores del sistema para el análisis de los territorios

El segundo análisis multivariado para la selección de indicadores se realizó sobre el sistema de indicadores propuesto en la presente investigación. El sistema de indicadores se denominó como Análisis_Territorios por la completitud de los datos de los indicadores para los 16

territorios objetivos de análisis en la década comprendida entre los años 2008 y 2017. Empleando el módulo para el análisis multivariado y la selección de indicadores de SEDSTv1.5, y los datos de los 16 territorios en 10 años, el método ACP conformó 16 componentes principales. La Figura 3.4 muestra el porcentaje de varianza explicada con respecto al porcentaje de varianza explicada acumulada por componente principal.

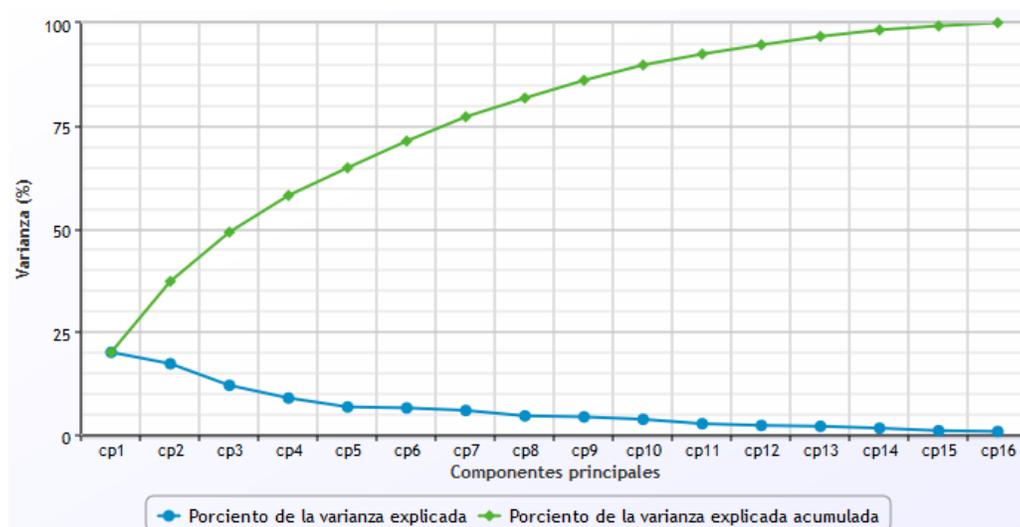


Figura 3.4. Porcentaje de varianza explicada vs. Porcentaje de varianza explicada acumulada por cada componente principal del sistema Análisis_Territorios. Fuente: SEDSTv1.5.

La Tabla 3.4 muestra las componentes principales seleccionadas mediante el criterio de Kaiser y la cantidad de indicadores a seleccionar por componente principal.

Tabla 3.4. Detalle de los resultados del ACP, selección de las componentes principales y determinación de sus respectivas cantidades de indicadores a seleccionar. Fuente: SEDSTv1.5.

Componente principal	Varianza explicada	Varianza explicada (%)	Varianza explicada acumulada (%)	Indicadores a seleccionar
cp1	3.20	20.00	20.00	3
cp2	2.75	17.22	37.21	3
cp3	1.91	11.97	49.18	2
cp4	1.42	8.89	58.07	2
cp5	1.08	6.73	64.80	1
cp6	1.04	6.49	71.29	1

Nótese que el porcentaje de varianza explicada acumulada hasta la última componente seleccionada mediante el criterio de Kaiser, para el conjunto de datos empleado, representó el 71.29% de la varianza total de los datos. Con los indicadores seleccionados por cada

componente principal se conformó el sistema de indicadores *Análisis_Territorios_Reducido*, y se procedió a calcular los IDST para ambos sistemas de indicadores empleando pesos iguales para los indicadores, el método de normalización de la distancia al sistema de referencia definido y el método del producto ponderado para la agregación. Se emplearon los datos de los 16 territorios en los 10 años. La Figura 3.5 muestra los índices construidos para el sistema completo y el reducido.

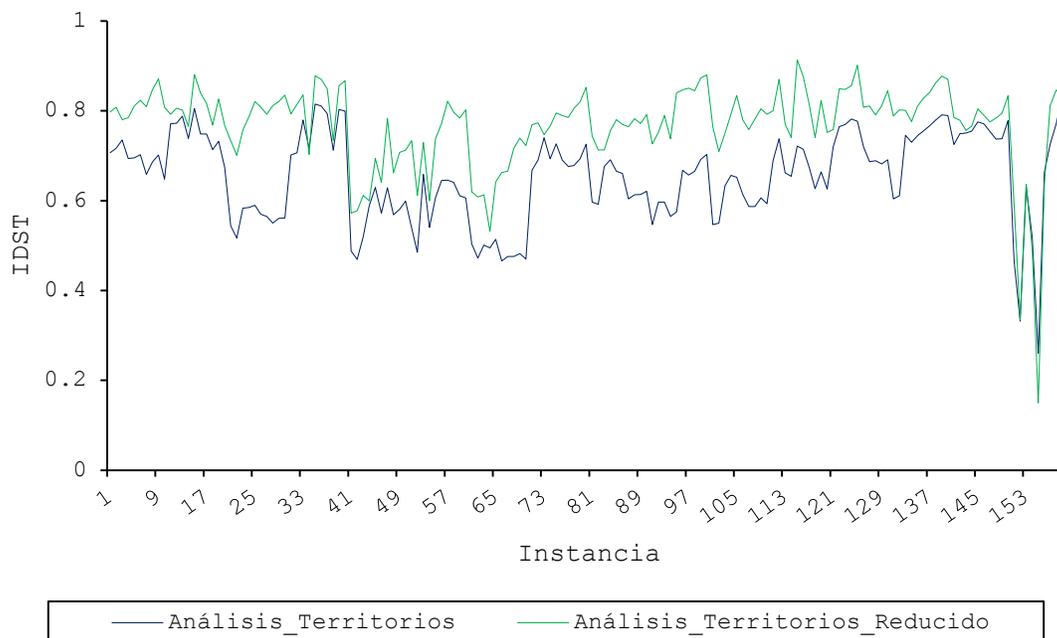


Figura 3.5. Índice de Desarrollo Sostenible Territorial de los 16 territorios en el periodo 2008-2017 empleando el sistema de indicadores *Análisis_Territorios* y el sistema de indicadores *Análisis_Territorios_Reducido*. Fuente: elaboración propia empleando los datos de SEDSTv1.5.

El conjunto de índices del sistema reducido posee valores superiores a los del sistema completo, siendo los más cercanos los de las últimas 10 instancias que se corresponden con los índices del territorio de la Isla de la Juventud. La prueba de Wilcoxon arrojó un valor p de $7.53E-27$, por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 de que la diferencia entre los pares sigue una distribución simétrica alrededor de cero, por tanto existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos conjuntos de índices IDST.

Teniendo en cuenta que la varianza explicada acumulada hasta la sexta componente principal seleccionada representó el 71.29% de la varianza total de los datos, se ejecutó otro análisis empleando el criterio de selección de componentes principales estableciendo un 95% de varianza explicada acumulada. La Tabla 3.5 muestra las componentes principales

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO

seleccionadas mediante este criterio de selección, alcanzando un 96.69% de varianza explicada acumulada hasta la componente principal 13.

Tabla 3.5. Detalle de los resultados del ACP, selección de las componentes principales mediante el criterio de la varianza explicada acumulada hasta un 95% y determinación de sus respectivas cantidades de indicadores a seleccionar. Fuente: SEDSTv1.5.

Componente principal	Varianza explicada	Varianza explicada (%)	Varianza explicada acumulada (%)	Indicadores a seleccionar
cp1	3.20	20.00	20.00	3
cp2	2.75	17.22	37.21	3
cp3	1.91	11.97	49.18	2
cp4	1.42	8.89	58.07	2
cp5	1.08	6.73	64.80	1
cp6	1.04	6.49	71.29	1
cp7	0.95	5.89	77.17	1
cp8	0.73	4.55	81.73	1
cp9	0.69	4.31	86.04	1
cp10	0.60	3.72	89.76	1
cp11	0.43	2.65	92.41	1
cp12	0.36	2.24	94.65	1
cp13	0.33	2.04	96.69	1

Los resultados del ACP permitieron conformar un sistema de indicadores de 14 indicadores denominado *Análisis_Territorios_Reducido_Varianza95*, quedando sin seleccionar los indicadores “Tasa de mortalidad de los niños menores de 5 años” y “Cobertura de saneamiento”, ambos del área clave Salud de la dimensión Social.

La Figura 3.6 muestra los IDST calculados para el sistema completo y el reducido empleado la varianza acumulada del 95%. Visualmente ambos conjuntos de índices mostraron valores similares para la mayor cantidad de datos. El análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon arrojó un valor de $5.68E-5$, por tanto para un valor de confianza del 5% se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que ambos conjuntos de índices poseen diferencias estadísticamente significativas.

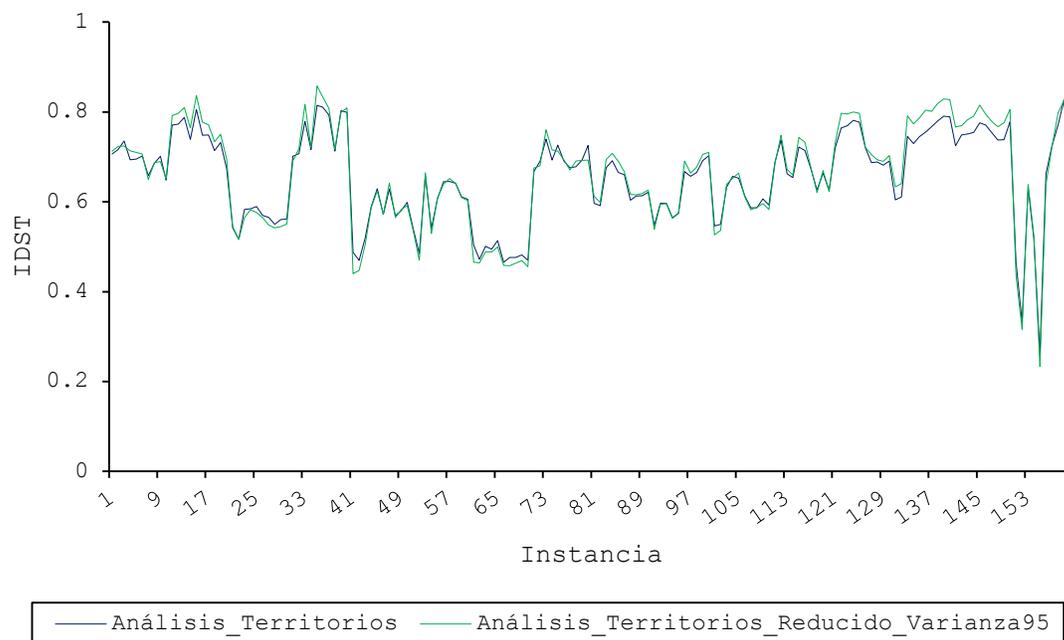


Figura 3.6. Índice de Desarrollo Sostenible Territorial de los 16 territorios en el periodo 2008-2017 empleando el sistema de indicadores Análisis_Territorios y el sistema de indicadores Análisis_Territorios_Reducido_Varianza95. Fuente: elaboración propia empleando los datos de SEDSTv1.5.

El Anexo 8 muestra los resultados del análisis estadístico empleando individualmente los datos de cada territorio en los 10 años. De los 16 territorios, 8 obtuvieron conjuntos de índices sin diferencias estadísticamente significativas con valores de confianza superiores al 5%. Los gráficos de los conjuntos de índices de ambos sistemas de indicadores, para aquellos territorios que no cumplieron con la prueba estadística se pueden apreciar en el Anexo 9. El análisis visual de la representación de los conjuntos de índices para los territorios que no cumplieron con la prueba permite apreciar que los índices poseen tendencias similares y sus valores son cercanos.

El sistema de indicadores para el análisis de los territorios se pudo reducir de un total de 16 indicadores a 14 indicadores empleando el método de selección basado en el análisis de componentes principales, mediante el criterio de selección de componentes de un 95% de la varianza explicada acumulada. No obstante a los resultados obtenidos, se decidió mantener el sistema con sus 16 indicadores debido a que los indicadores que no fueron seleccionados son relevantes para la sostenibilidad, para los análisis del área clave Salud y para la dimensión Social.

3.4. Selección del método de agregación

El análisis para determinar un método de agregación adecuado para la construcción del IDST, basado en el concepto de pérdida de información, se realizó siguiendo las etapas de la Fase III del procedimiento modificado. Para el experimento se emplearon los 160 registros de los 16 indicadores que conforman la propuesta de sistema de indicadores de la presente investigación, correspondientes a los 16 territorios entre los años 2008 y 2017. Teniendo en cuenta el efecto que producen los pesos de los indicadores en el índice que se construya, para este análisis experimental se emplearon pesos iguales para los 16 indicadores del sistema.

Se sometieron a análisis los métodos suma ponderada (SP), producto ponderado (PP), ideal desplazado ponderado (IDP) y la propuesta de ideal desplazado ponderado geométrico (IDPG). El método de la media geométrica ponderada no se consideró en el análisis, debido a que ante indicadores con pesos iguales el método obtiene la misma medida que el producto ponderado. En los casos de los métodos IDP e IDPG se empleó arbitrariamente $\lambda = 0.5$, lo que se traduce en equilibrio entre el resultado de la agregación y el balance entre los indicadores. Para la ejecución del experimento se empleó la funcionalidad **Análisis/Comparar métodos de agregación** de SEDSTv1.5. La Figura 3.7 muestra la medida Shannon-Spearman empleando el 100% de los datos.

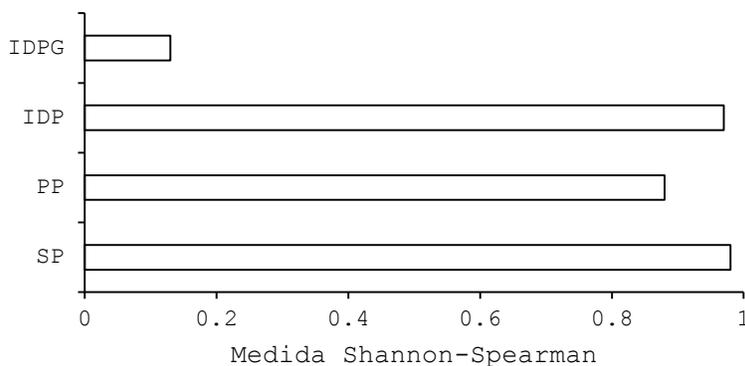


Figura 3.7. Medida Shannon-Spearman de los métodos de agregación suma ponderada (SP), producto ponderado (PP), ideal desplazado ponderado (IDP) e ideal desplazado ponderado geométrico (IDPG). Fuente: SEDSTv1.5.

El método IDPG (0.13) obtuvo el menor valor de pérdida de información, seguido del método PP (0.88). El método de mayor pérdida de información fue la SP (0.98).

Siguiendo el experimento conducido por Zhou et al. (2006), se ejecutaron varias corridas del método variando la cantidad de particiones realizadas a los datos, determinando este valor la cantidad de iteraciones de cálculo de la medida Shannon-Spearman. El promedio de las medidas de Shannon-Spearman obtenidas para cada valor de partición de datos se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Promedio de la medida Shannon-Spearman variando la cantidad de particiones al total de datos al ejecutar el método. Fuente: SEDSTv1.5.

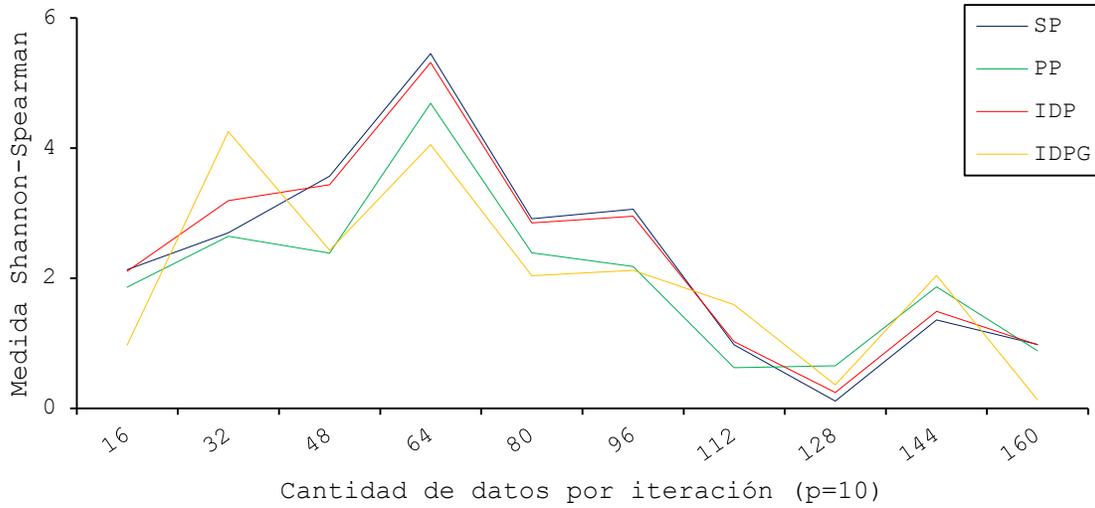
Método de agregación	Medida Shannon-Spearman (promedio) por partición de dato						
	5	10	20	40	80	120	160
SP	2.46	2.32	2.79*	2.60*	3.45	4.06	3.29
PP	2.21	2.01	3.05	2.69	3.40	3.87	3.28
IDP	2.53**	2.36**	2.86	2.64	3.46**	4.07**	3.33**
IDPG	2.18*	1.99*	3.13**	3.03**	3.16*	3.70*	3.25*

* Menor pérdida de información para la partición de datos.

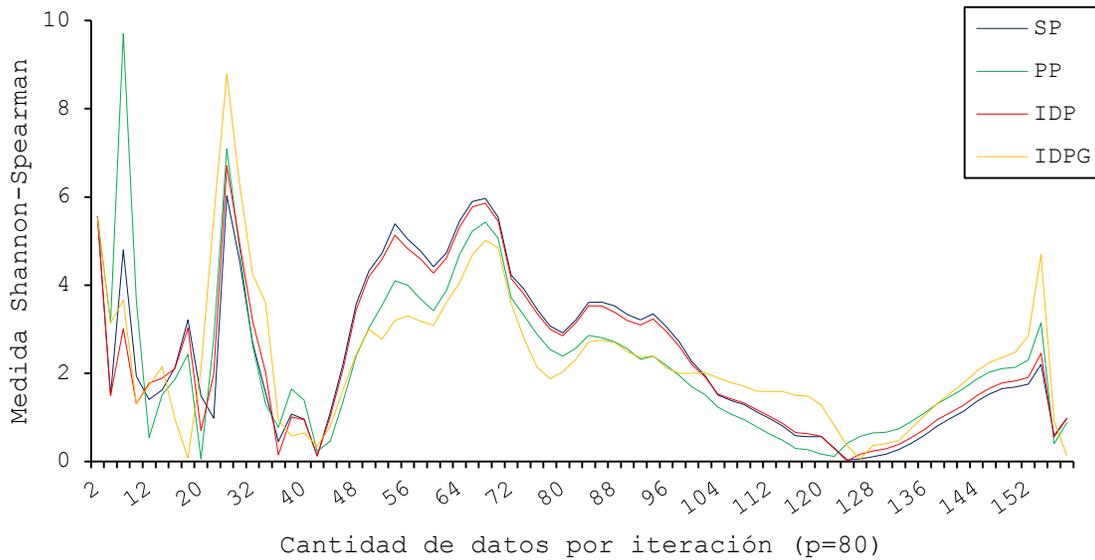
** Mayor pérdida de información para la partición de datos.

El método de agregación con menor pérdida de información en las 8 ejecuciones realizadas variando el tamaño de partición de los datos fue el IDPG, obteniendo la menor medida Shannon-Spearman en 6 ocasiones. Nótese que en la primera ejecución, cuyos resultados se mostraron en la Figura 3.7, empleando una partición que englobó al 100% de los datos, el IDPG obtuvo una medida con una diferencia de mayor consideración que las alcanzadas en las restantes 7.

La Figura 3.8 muestra la medida Shannon-Spearman para los 4 métodos de agregación del análisis realizando 10 y 80 particiones de datos. Se comprobó que los métodos aditivos poseen un comportamiento similar en cada iteración de cálculo de la medida ejecutada. De forma similar ocurre para los métodos geométricos. El análisis realizado permitió inferir que los métodos de agregación geométricos, para el diseño del experimento realizado y con el conjunto de datos empleados, permitieron obtener índices con menor pérdida de información. De ellos, el método IDPG obtuvo los mejores resultados.



a.



b.

Figura 3.8. Medida Shannon-Spearman de los cuatro métodos de agregación analizados: a. 10 particiones de datos, b. 80 particiones de datos. Fuente: SEDSTv1.5.

Estos resultados corroboraron los de investigaciones previas, y confirmaron la pertinencia de la medida Shannon-Spearman como un criterio de decisión a tener en cuenta a la hora de determinar una alternativa de agregación apropiada para la construcción de índices de sostenibilidad.

3.5. Evaluación de la sostenibilidad de los territorios cubanos en el tiempo

Las adecuaciones que se propusieron al procedimiento para la evaluación de la sostenibilidad de los territorios cubanos contemplan la solución al problema de la ponderación del sistema de indicadores según la estructura del MOT y la nueva forma de calcular los índices intermedios de las dimensiones y las áreas claves como apoyo al proceso de toma de decisiones.

El análisis de los resultados de la ponderación se realizó asignando pesos iguales a todos los elementos del nuevo sistema de indicadores (dimensiones, áreas claves e indicadores) según se realizaba en el procedimiento antes de las adecuaciones, y asignando pesos iguales mediante un proyecto de asignación de presupuesto empleando la funcionalidad **Ponderar/Asignación de presupuesto** de SEDSTv1.5, según las adecuaciones.

La Figura 3.9 muestra el balance del peso de los indicadores. Nótese las diferencias en los pesos de los indicadores empleando la ponderación en el procedimiento inicial, bajo el supuesto de que los mismos deberían tener igual nivel de relevancia con respecto al IDST.

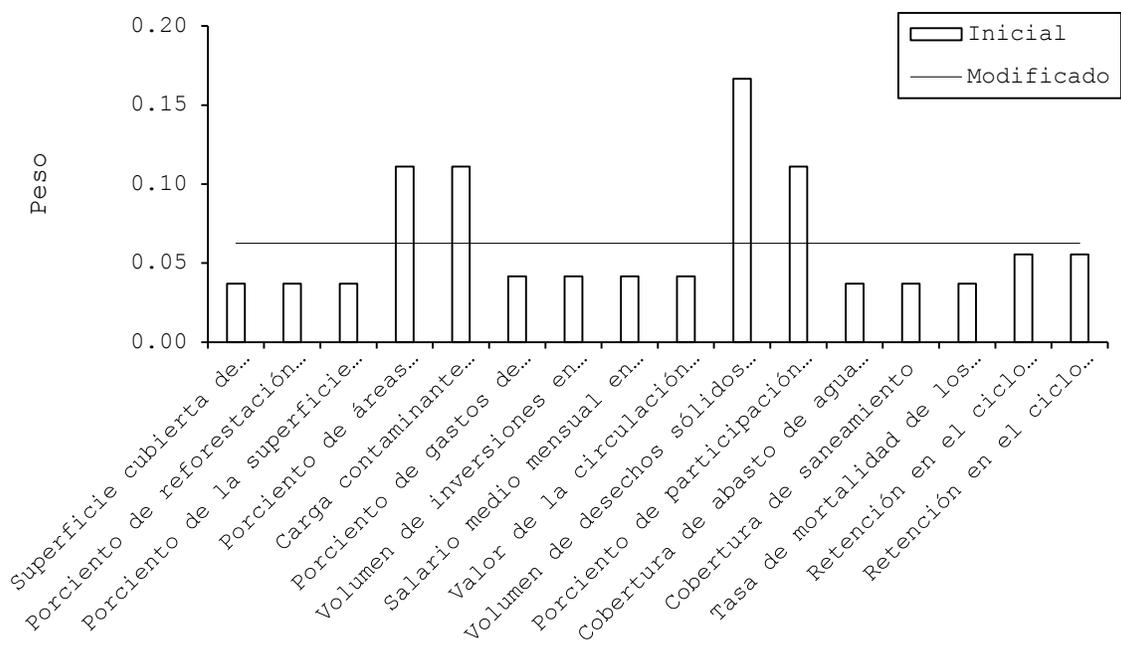


Figura 3.9. Pesos de los indicadores según el procedimiento inicial en relación a los pesos en el procedimiento modificado. Fuente: SEDSTv1.5.

El indicador que mayor peso obtuvo según la forma de ponderar en el procedimiento inicial fue “Volumen de desechos sólidos recogidos por habitante”, debido a que es el único

indicador en el área clave a la que se subordina, y esta a su vez divide su relevancia con respecto a la dimensión Económica con solamente otra área clave. De forma similar ocurre con otros tres indicadores que se muestran por encima de la línea representativa del peso empleando el sistema modificado. La ponderación con el procedimiento modificado con las adecuaciones propuestas posee mayor claridad pues se emiten los criterios de relevancia directamente sobre los indicadores. En este sentido, para los decisores y para los expertos, tiene mayor claridad la ponderación directa de los indicadores.

Para comparar los IDST, los índices de las dimensiones y los índices de las áreas claves, antes y después de las adecuaciones, se empleó el proyecto de igual ponderación del sistema de indicadores, los datos de la provincia Villa Clara en el periodo 2008-2017, el método de agregación IDPG con $\lambda = 0.5$ y el método de normalización basada en la distancia al sistema de referencia definido para los indicadores. Los resultados se obtuvieron a través de las funcionalidades **Reportes/Comparación espacio-temporal** y **Evaluar/Evaluar territorio** de las versiones 1.0 y 1.5 de SEDTS, respectivamente. La Figura 3.10 muestra los índices calculados para ambos métodos, el inicial y el modificado.

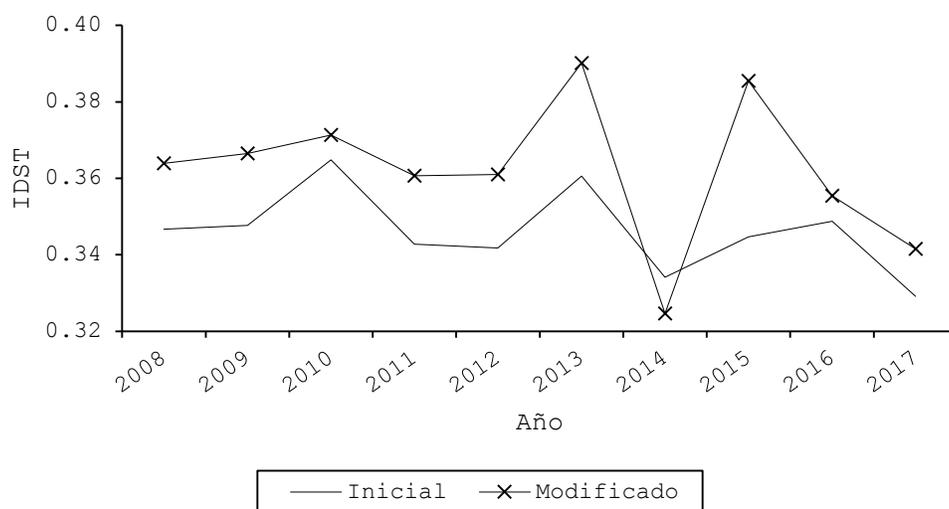


Figura 3.10. Índice de Desarrollo Sostenible Territorial de la provincia Villa Clara en el periodo 2008-2017 empleando la forma de cálculo del procedimiento inicial con respecto al procedimiento modificado con las nuevas adecuaciones realizadas. Se empleó el método IDGP para la agregación. Fuente: SEDSTv1.5.

Los resultados deben valorarse teniendo en cuenta las características del método de agregación IDPG. En el caso de pesos iguales, el índice de balance del sistema se construyó a partir del valor normalizado del indicador de peor rendimiento. El método inicial con igual

ponderación calculó los índices de balance del sistema teniendo en cuenta el elemento de menor rendimiento, ya sean los indicadores con respecto al área clave, las áreas claves con respecto a las dimensiones y las dimensiones con respecto al índice. Se puede observar que el método inicial obtuvo índices más bajos con respecto al modificado por sobre penalización en cada iteración de cálculo de los índices intermedios que tributan posteriormente al IDST. El método modificado es directo, por tanto para pesos iguales el desbalance del sistema de indicadores incide solo una vez en el cálculo. Además, se puede observar que, a pesar de la sobre penalización en el método inicial, en el año 2014 ocurre un efecto de compensación que no incide en el método modificado.

No obstante las diferencias de los índices para ambos métodos, el periodo se clasifica cualitativamente como crítico. Juega un papel fundamental en esta evaluación el bajo rendimiento del indicador “Porcentaje de reforestación en relación a la superficie terrestre total” con valores normalizados entre 0.18 y 0.21, lo que se podría traducir en que no se aborda integralmente el seguimiento a los elementos que aportan a la sostenibilidad en el territorio de Villa Clara.

Continuando con el análisis, se colectaron los índices de las dimensiones para ambos métodos, derivados de los cálculos de los IDST expuestos anteriormente. La Figura 3.11 muestra los resultados para las tres dimensiones de la sostenibilidad.

La dimensión Ambiental fue sobre penalizada con el método inicial por el bajo rendimiento del área clave “Pérdida de la diversidad biológica”, mientras que la penalización solo incide una vez en el método modificado por el bajo rendimiento del indicador “Porcentaje de reforestación en relación a la superficie terrestre total”.

En el caso de la dimensión Social la ponderación jugó un papel de compensación en el método inicial, siendo penalizado en el método modificado el bajo rendimiento del indicador “Tasa de mortalidad infantil en los niños menores de 5 años” con valores normalizados entre 0.37 y 0.45 entre los años 2010 y 2012. No obstante, los valores de los índices para ambos métodos muestran mayor balance del sistema de indicadores y mejor rendimiento de la agregación para la dimensión Social, con evaluación cualitativa promedio de estable.

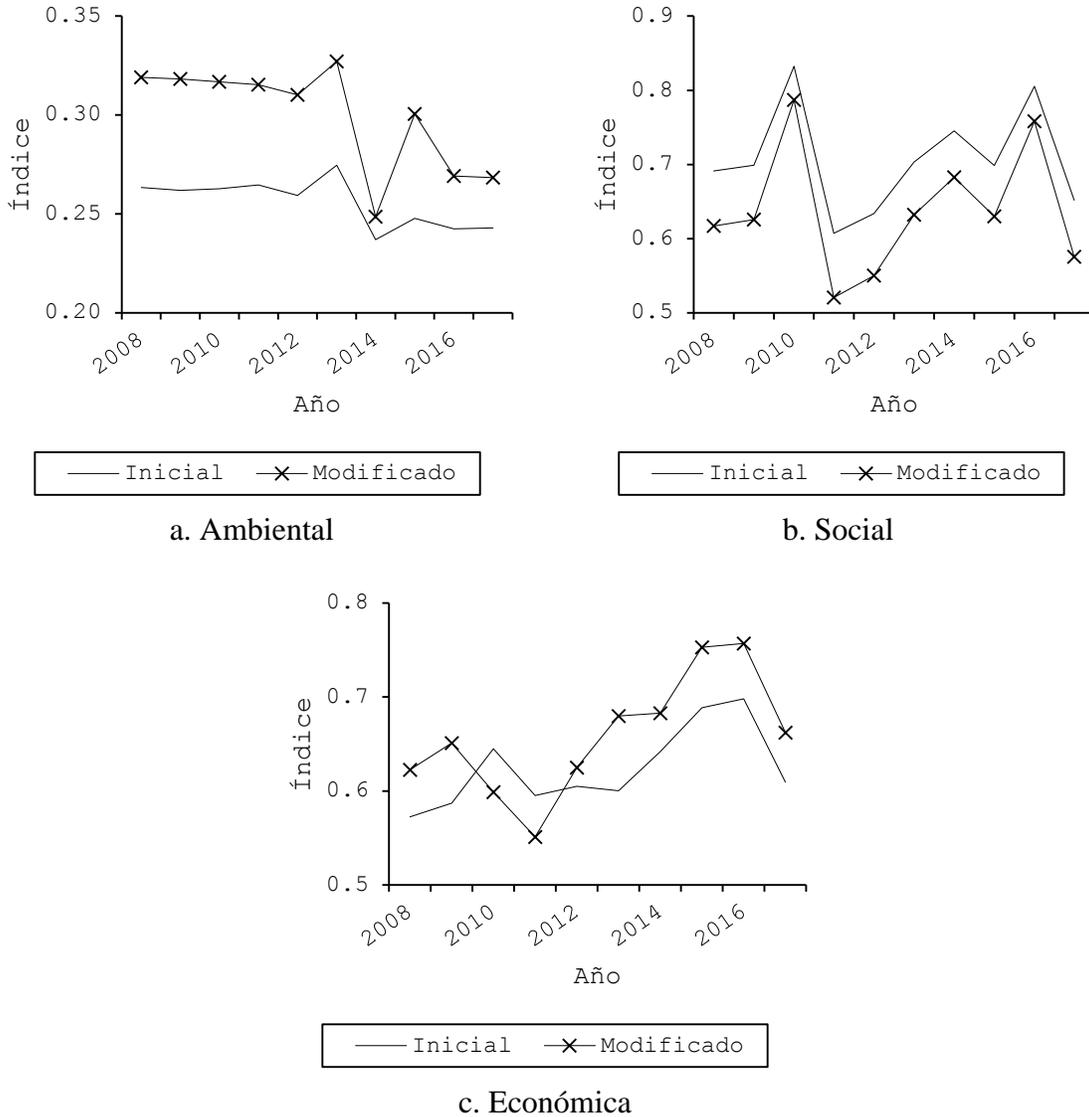


Figura 3.11. Índices de las tres dimensiones de la sostenibilidad de la provincia Villa Clara en el periodo 2008-2017 empleando el método de cálculo inicial y el método modificado según las adecuaciones. Los índices se obtuvieron empleando el IDPG como método de agregación. Fuente: SEDSTv1.5.

Los conjuntos de índices en la dimensión Económica presentaron intercepciones en sus resultados. De forma general el método inicial sobre penaliza los índices, aunque en el caso de los años 2010 y 2011 ocurre un efecto de compensación que el método modificado detecta al disminuir los valores de los índices. La dimensión Económica obtuvo una evaluación cualitativa promedio en el periodo de estable, con un adecuado balance entre el rendimiento de los indicadores y el resultado de la agregación.

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO

Las áreas claves, en el caso de pesos iguales, obtuvieron los mismos índices empleando el método de cálculo inicial y el modificado, situación previamente identificada al abordar la propuesta. La Tabla 3.7 muestra los índices de las áreas claves.

Tabla 3.7. Índices de las áreas claves de la provincia Villa Clara en el periodo 2008-2017. Los resultados obtenidos por el método de cálculo del procedimiento inicial y por el procedimiento modificado son iguales en el caso de igual ponderación de los indicadores. Fuente: SEDSTv1.5.

Área clave	Año									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Protección y rehabilitación de los suelos	0.86	0.88	0.88	0.82	0.73	0.59	0.28	0.35	0.31	0.31
Pérdida de la diversidad biológica	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Gestión de recursos hídricos	0.31	0.29	0.30	0.33	0.33	0.32	0.27	0.29	0.29	0.29
Desarrollo económico	0.78	0.74	0.54	0.50	0.59	0.67	0.65	0.85	1.00	0.64
Generación de desechos	0.45	0.48	0.75	0.68	0.54	0.51	0.57	0.57	0.56	0.53
Equidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96	0.95
Salud	0.57	0.58	0.76	0.47	0.50	0.59	0.64	0.59	0.73	0.53
Educación	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.96	0.96	0.96	0.97	0.96

Las áreas claves Equidad (0.99), Educación (0.97) y Desarrollo económico (0.7) son las de mejor desempeño promedio del desarrollo sostenible de la provincia Villa Clara en el periodo analizado, obteniendo las dos primeras evaluaciones cualitativas óptimas y la tercera de estable. Le siguen Protección y rehabilitación de los suelos (0.6) y Salud (0.6) evaluados de estable. Las áreas claves de peor desempeño de la sostenibilidad son la Pérdida de diversidad biológica (0.2), la Gestión de recursos hídricos (0.3), ambas con evaluación crítica, y Generación de desechos (0.56) cualitativamente inestable.

Los resultados muestran mejoras en la construcción del IDST para la evaluación de un territorio en el tiempo, empleando el método modificado mediante las adecuaciones propuestas. Mediante el método modificado los índices pueden interpretarse adecuadamente en base al rendimiento directo de los indicadores en cada nivel de evaluación (IDST, dimensiones y áreas claves). Además, se soluciona el problema de las consecuencias del desbalance en el sistema de indicadores en los pesos globales de los indicadores en relación al IDST.

Los resultados de la evaluación en el tiempo de los 16 territorios de Cuba en el periodo 2008-2017, empleando pesos iguales para los indicadores, el método IDPG para la agregación y el método de normalización basado en la distancia al sistema de referencia definido para el sistema de análisis de los territorios, se pueden consultar íntegramente en el Anexo 10.

3.6. Comparación de los territorios cubanos en un instante de tiempo

La comparación de los territorios cubanos, desde el punto de vista de sostenibilidad fuerte, debe efectuarse a partir de un sistema de indicadores ponderado que sea horizontal a todo el país. Esto quiere decir que no debe reflejar únicamente el conocimiento o el criterio de expertos de un territorio en específico, que refleja las preferencias y prioridades territoriales. Obtener un sistema ponderado horizontal requiere de la participación de expertos de todos los territorios o de una parte significativa y representativa de estos. Para lidiar con esta limitante, se propuso comparar el rendimiento de los territorios empleando el enfoque de optimización multiplicativa, que forma parte de las adecuaciones al procedimiento de evaluación del desarrollo sostenible de la presente investigación.

Para tener un conjunto de índices IDST de referencia y poder comparar los resultados con los obtenidos por el enfoque de optimización multiplicativa, se computaron los IDST de los territorios correspondientes al año 2017 empleando el método de cálculo estándar, que en lo adelante se denominará IDST-ES, ponderando el sistema con pesos iguales para los indicadores, normalizando los valores de los indicadores mediante la distancia al sistema de referencia definido y agregando los datos mediante el producto ponderado. Por otra parte se computaron los índices empleando la optimización multiplicativa, los que se denominarán en lo adelante como IDST-OM. Se empleó el método del punto interior para resolver los modelos lineales $\ln(gI)$ y $\ln(bI)$ para cada territorio y $\lambda = 0.5$. La Tabla 3.8 muestra los

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO

índices IDST-ES e IDST-OM, mostrando la posición o lugar del territorio con respecto al orden general a la derecha del índice.

Tabla 3.8. Valores IDST de los 16 territorios cubanos en el año 2017, calculados empleando el procedimiento estándar de construcción y el método de optimización multiplicativa para $\lambda = 0.5$. Fuente: SEDSTv1.5.

Territorio	IDST-ES		$\ln(gI)$	$\ln(bI)$	IDST-OM		Dif. †
Pinar del Río	0.799	1	0.921034040750	3.788409050571	0.597	1	0
Santiago de Cuba	0.790	2	0.921034037200	3.515368527148	0.451	5	-3
Guantánamo	0.778	3	0.921034039604	3.367559022548	0.491	4	-1
Sancti Spiritus	0.726	4	0.921034038893	2.484906649790	0.313	9	-5
Camagüey	0.703	5	0.921034038645	2.484906670613	0.306	10	-5
Granma	0.691	6	0.921034045729	2.995732276075	0.592	2	4
Matanzas	0.674	7	0.921034037426	2.639057329632	0.300	11	-4
Villa Clara	0.648	8	0.921034037422	2.890371757973	0.345	6	2
Holguín	0.626	9	0.921034037199	2.491827092635	0.268	13	-4
Ciego de Ávila	0.621	10	0.921034037338	2.607966742550	0.292	12	-2
Isla de la Juventud	0.613	11	0.921034040492	1.098612292729	0.108	15	-4
La Habana	0.606	12	0.921034037224	2.120263536203	0.202	14	-2
Artemisa	0.599	13	0.921034037669	2.849128800547	0.345	7	6
Las Tunas	0.593	14	0.921034055421	1.427116355759	0.577	3	11
Cienfuegos	0.562	15	0.921034040993	1.000000000187	0.104	16	-1
Mayabeque	0.470	16	0.921034049144	1.000000000041	0.328	8	8

† Diferencia entre la posición del IDST-ES y el IDST-OM.

Ambos índices situaron a la provincia Pinar del Río en la primera posición del desarrollo sostenible en el año 2017. Las provincias Santiago de Cuba y Guantánamo coincidieron en los 5 mejores territorios en ambos índices. Las provincias de Cienfuegos, La Habana y el municipio especial Isla de la Juventud mostraron relativa consistencia en la comparación en ambos índices, colocándolos entre los 5 territorios de peores resultados del desarrollo sostenible.

Los mayores márgenes de diferencia entre los resultados comparativos entre un índice y el otro lo mostraron las provincias de Las Tunas (11) y Mayabeque (8), catalogadas en las posiciones 14 y 16 mediante el IDST-ES, y en las posiciones 3 y 8 del IDST-OM, respectivamente. Dividiendo las posiciones en dos grupos, los 8 mejores y los 8 peores, las provincias de Sancti Spiritus, Camagüey y Matanzas son excluidas de entre los mejores 8 del IDST-ES a los peores 8 en el IDST-OM, y las provincias de Artemisa, Las Tunas y Mayabeque son promovidas a los mejores 8 en el IDST-OM, siendo catalogados entre los peores 8 por el IDST-ES.

Extendiendo el análisis al periodo completo de 10 años, y computando el promedio del valor absoluto de la diferencia por año en la clasificación entre el IDST-ES y el IDST-OM como un parámetro de error del IDST-OM, se obtuvieron los resultados que se pueden observar en la Figura 3.12.

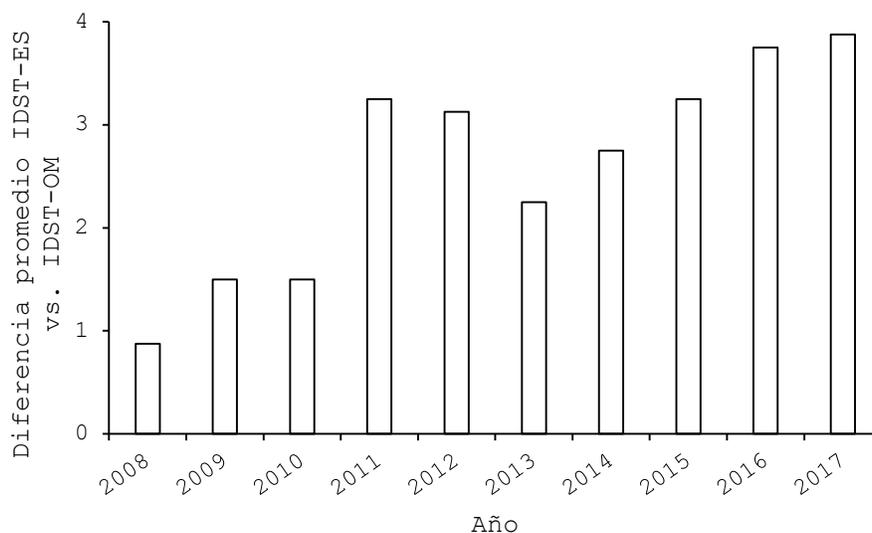


Figura 3.12. Promedio del valor absoluto de la diferencia entre las posiciones alcanzadas por cada territorio a través del IDST-ES con respecto al IDST-OM por año. Fuente: elaboración propia.

Observando a profundidad los valores obtenidos para el modelo $ln(gI)$, los índices poseen baja desviación estándar oscilando entre 2.8E-09 y 6.2E-09 en los 10 años, por tanto su valor discriminante puede verse afectado por su baja tasa de variación. El parámetro de control λ permite otorgar mayor preferencia a un modelo de optimización con respecto al otro, por tanto se ejecutaron 11 iteraciones del cálculo del IDST-OM variando sus valores de 0 a 1, y

se calcularon los errores promedio con respecto al IDST-ES para cada año, como se muestra en la Figura 3.13.

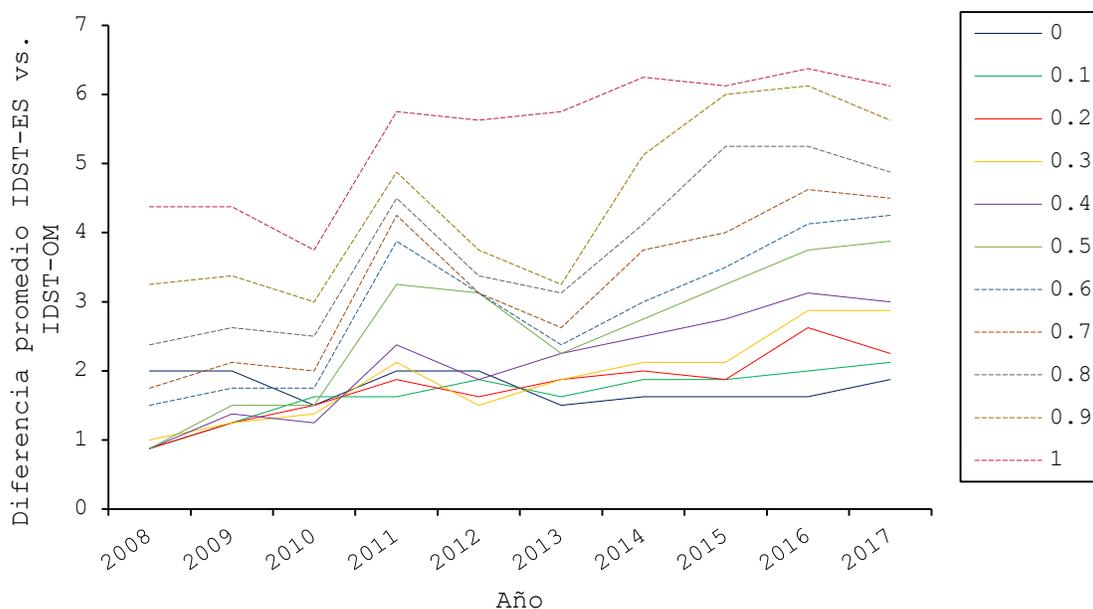


Figura 3.13. Promedio del valor absoluto de la diferencia entre las posiciones alcanzadas por cada territorio a través del IDST-ES con respecto al IDST-OM, variando el valor λ entre 0 y 1, por año. Las series correspondientes a los valores de λ que favorecen al modelo $\ln(gI)$ se muestran con líneas discontinuas, y con líneas sólidas las series correspondientes a los valores de λ que favorecen el modelo $\ln(bI)$, exceptuando el valor 0.5. Fuente: elaboración propia empleando los datos obtenidos de SEDSTv1.5.

El valor $\lambda = 0.1$ (1.675) permitió obtener la menor diferencia promedio entre los IDST-ES y los IDST-OM empleando las diferencias computadas para cada año. Mientras el parámetro de control λ se aproximó a 1, la diferencia promedio aumentó, corroborando la sospecha de que el modelo $\ln(gI)$, con menor valor discriminante basado en los datos obtenidos, introduce mayor discrepancia entre los conjuntos de índices. Tomando en consideración estos resultados, la Tabla 3.9 muestra los resultados de ambos conjuntos de índices para $\lambda = 0.1$ en el año 2017.

Tabla 3.9. Valores IDST de los 16 territorios cubanos en el año 2017, calculados empleando el procedimiento estándar de construcción y el método de optimización multiplicativa para $\lambda=0.1$. Fuente: SEDSTv1.5.

Territorio	IDST-ES		IDST-OM		Diferencia
Pinar del Río	0.799	1	0.919	1	0
Santiago de Cuba	0.790	2	0.812	2	0

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO MODIFICADO

Territorio	IDST-ES		IDST-OM		Diferencia
Guantánamo	0.778	3	0.777	3	0
Sancti Spiritus	0.726	4	0.489	9	-5
Camagüey	0.703	5	0.487	10	-5
Granma	0.691	6	0.691	4	2
Matanzas	0.674	7	0.530	7	0
Villa Clara	0.648	8	0.611	5	3
Holguín	0.626	9	0.482	11	-2
Ciego de Ávila	0.621	10	0.520	8	2
Isla de la Juventud	0.613	11	0.050	15	-4
La Habana	0.606	12	0.362	12	0
Artemisa	0.599	13	0.599	6	7
Las Tunas	0.593	14	0.238	13	-1
Cienfuegos	0.562	15	0.021	16	-1
Mayabeque	0.470	16	0.066	14	2

La variación del parámetro de control λ permitió ajustar la catalogación de las provincias con mayores discrepancias en los resultados para ambos índices; Las Tunas y Mayabeque pasaron a las últimas posiciones de la comparación. La provincia de Matanzas logra ajustarse a la misma posición en ambos índices. Los casos de Sancti Spiritus, Camagüey y Artemisa permanecen invariables al ajuste realizado, y se pudo constatar que sus valores para ambos modelos de optimización los colocaron en posiciones similares de la comparación. El Anexo 11 muestra los resultados de la comparación de los 16 territorios en cada año del periodo 2008-2017 para $\lambda = 0.1$.

La Figura 3.14 muestra la variación de las posiciones alcanzados por cada territorio en el análisis comparativo empleando el IDST-OM con valor $\lambda = 0.1$ para el periodo de 10 años analizado.

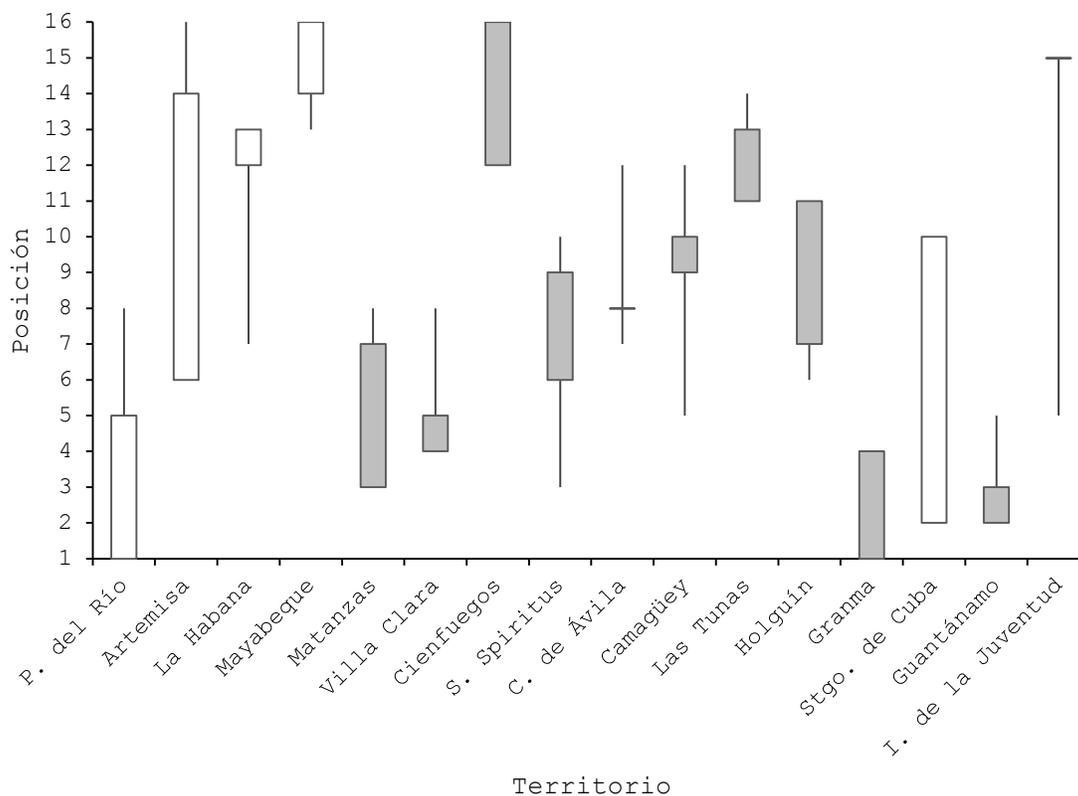


Figura 3.14. Diagrama resumen de la posición de cada territorio en la comparación mediante el IDST-OM para $\lambda = 0.1$, en el periodo entre los años 2008 y 2017. En color gris los rectángulos de los territorios que finalizaron en una posición peor que con la que iniciaron el periodo y viceversa para los que poseen el rectángulo en blanco. El tamaño del rectángulo representa la variación entre la posición al inicio del periodo y la posición al cierre del periodo. El límite inferior de cada representación de cada territorio representa la mejor posición alcanzada y el límite superior la peor. Fuente: elaboración propia.

Los territorios de Pinar del Río, Matanzas, Villa Clara, Granma y Guantánamo fueron los de mejor desempeño de la sostenibilidad y estabilidad en todo el periodo, ocupando lugares entre los 8 mejores territorios. De ellos, Granma y Guantánamo ocuparon lugares entre las 5 mejores posiciones, por lo que de forma global se pueden establecer como los territorios de mejor desempeño del desarrollo sostenible. Los únicos territorios que se posicionaron al menos una vez en el primer lugar de la comparación fueron los territorios de Pinar del Río y Granma.

Los territorios de Mayabeque, Cienfuegos y Las Tunas fueron los de peor desempeño de la sostenibilidad, ocupando establemente las últimas 5 posiciones de la comparación en todo el periodo. En el caso de Cienfuegos hubo una negativa mayor variación entre la posición

ocupada al inicio del periodo que al finalizar el mismo, lo que puede ser interpretado como un retroceso en su avance hacia mejores posiciones en la evaluación del desarrollo sostenible.

Los territorios que mostraron mayor variabilidad o inestabilidad (mayor diferencia entre la mejor y la peor posiciones ocupadas) a lo largo del periodo fueron Artemisa (10), Isla de la Juventud (10) y Santiago de Cuba (8), Sancti Spiritus (7) y Camagüey (7). Las provincias de mayor recuperación en la tabla de posiciones del cierre con respecto al inicio del periodo fueron Santiago de Cuba, alcanzado la segunda posición en 2017, y Artemisa, arribando hasta la posición 6 de la comparación en ese mismo año.

Conclusiones parciales

Los resultados presentados en el capítulo permiten arribar a conclusiones sobre las adecuaciones realizadas al procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible territorial. Como parte de la investigación se propuso un nuevo sistema de indicadores compuesto por las 3 dimensiones de la sostenibilidad, 8 áreas claves y 16 indicadores. Los datos de los indicadores se colectaron de fuentes estadísticas oficiales para los 16 territorios cubanos en el periodo de 10 años, comprendido entre el año 2008 y el año 2017.

La selección de indicadores a través del análisis de componentes principales permitió reducir los sistemas de indicadores analizados. El caso de estudio permitió reducir el sistema de indicadores propuesto en el procedimiento original, conservando el comportamiento sin diferencias estadísticas significativas entre los conjuntos de índices obtenidos por el sistema completo y el sistema reducido. En el caso del sistema de indicadores propuesto como parte de la presente investigación para el análisis de la sostenibilidad de todos los territorios cubanos, los índices obtenidos con el subconjunto de indicadores seleccionados presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a los índices obtenidos con el sistema de indicadores completo empleando la criterio de Kaiser para la selección de las componentes principales. Sin embargo, mediante el criterio de selección por la varianza explicada acumulada, establecida a un 95%, se pudo reducir este sistema de indicadores conservando el comportamiento de los IDST. Debido a la relevancia para la sostenibilidad de los indicadores que no fueron seleccionados mediante el método, se decidió mantener el sistema de indicadores para el análisis de los territorios con la totalidad de sus indicadores.

La medida Shannon-Spearman permitió confirmar que los métodos basados en el producto poseen menor pérdida de información. La alternativa de agregación propuesta en la presente investigación, el ideal desplazado ponderado geométrico (IDPG), obtuvo el menor valor de pérdida de información, secundado por el método del producto ponderado. El experimento conducido fue consecuente con resultados de investigaciones anteriores.

Se ejecutaron dos análisis para la evaluación y comparación del desarrollo sostenible de un territorio y entre los territorios. El primero se ejecutó para la evaluación del desarrollo sostenible de un territorio en un periodo de tiempo (escala espacial específica, escala temporal abarcadora). Se propuso emplear el método de ponderación denominado como criterio de expertos o asignación de presupuesto (AP), implementado en la forma de proyectos asociados al sistema de indicadores en la herramienta SEDSTv1.5. El método AP permite a los expertos ponderar directamente sobre los indicadores a partir de determinado presupuesto o monto a repartir, por tanto los pesos derivados de la aplicación de la herramienta son relativos al IDST. Esta propuesta posee mejoras con respecto al empleo del proceso de jerarquías analíticas (AHP, por sus siglas en inglés) del procedimiento inicial, en que se ponderaban todo los componentes del sistema de indicadores, pero conduciendo a un sistema ponderado que al computar los pesos globales de los indicadores con respecto al IDST, mostraron desbalance o desigualdad con respecto al posible criterio de los expertos. Se condujo un experimento para el caso de pesos iguales empleando el procedimiento inicial y el modificado, utilizando el método de agregación IDPG. Los resultados mostraron que la ponderación del procedimiento inicial actúa como sobre penalización en algunos casos, y como compensación en otros, con respecto a la ponderación del sistema mediante el procedimiento modificado. Los índices intermedios de las dimensiones y las áreas claves, computados en el procedimiento modificado a través del ajuste de los pesos de sus indicadores subordinados, resumieron sus comportamientos de forma directa sin procesamientos intermedios. De forma general, los resultados del procedimiento modificado poseen un grado de interpretación adecuado y soluciona el problema del desbalance de los pesos de los indicadores con respecto al IDST.

El segundo análisis se ejecutó para la comparación del desarrollo sostenible de los territorios en cada año empleando el enfoque de optimización multiplicativa (OM). Se condujeron

varios experimentos comparando los resultados del enfoque OM con el método de construcción estándar (ES) de un índice de sostenibilidad con pesos exógenos. Para el parámetro de control $\lambda = 0.5$, y empleando el método del punto interior para solución de los modelos de optimización, los índices ES y OM en el año 2017 posicionaron a la provincia de Pinar del Río en la primera posición de la sostenibilidad, coincidiendo además en el posicionamiento de otras dos provincias entre los 5 mejores. Ambos índices para ese diseño de experimento coinciden en posicionar a tres territorios en los 5 peores escaños. Diferencias sustantivas ocurrieron con las provincias de Las Tunas y Mayabeque, posicionadas entre los 8 mejores mediante el índice OM pero con malos desempeños de los indicadores. Ante la sospecha de que el modelo $\ln(gI)$ no aportó un valor discriminante adecuado, se condujo otro experimento para determinar ante cual valor de lambda se reducía la diferencia entre los lugares alcanzados por los territorios mediante el índice ES con respecto al índice OM. Se computaron 11 iteraciones variando el valor de lambda entre 0 y 1 con paso de 0.1, determinando que para $\lambda = 0.1$ los resultados poseían menor diferencia y por tanto se ajustaban en mayor medida al desempeño de los indicadores para cada territorio. La principal causa de este problema radicó en la dimensión del problema ($n = 16$) y en las soluciones que provee el método del punto interior.

Las adecuaciones propuestas, aplicadas en su conjunto, comparando resultados, y ajustando los modelos de solución, permitieron arribar a conclusiones adecuadas respecto al desarrollo sostenible de los territorios cubanos.

CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados de la presente investigación permiten arribar a las siguientes conclusiones:

1. El análisis de la bibliografía consultada para la elaboración del marco teórico evidenció el uso de los índices de sostenibilidad compuestos para la evaluación de diversos aspectos de la sostenibilidad.
2. Las diversas investigaciones desarrolladas sobre la temática medioambiental y del desarrollo sostenible permitieron seleccionar un conjunto de técnicas y métodos aplicables al procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible de los territorios cubanos.
3. Se propusieron modificaciones al procedimiento existente en varios de sus subprocesos, se adicionó una fase y se propuso una alternativa de agregación con propiedades no compensatorias.
4. Se ejecutó el diseño de las nuevas funcionalidades a adicionar en la aplicación informática existente a partir de las modificaciones realizadas al procedimiento, sin realizar cambios significativos en su arquitectura.
5. Se implementaron las funcionalidades según el diseño realizado en la versión 1.5 del Sistema para la Evaluación del Desarrollo Sostenible Territorial, proporcionándole funcionalidades para la experimentación durante el proceso de construcción del índice de sostenibilidad.
6. Se aplicó el procedimiento modificado en la evaluación del desarrollo sostenible de los territorios cubanos en el tiempo y para la comparación entre los territorios, permitiendo identificar puntos críticos en el desempeño de la sostenibilidad y pudiendo establecer un orden comparativo entre los territorios.
7. Se realizó el análisis comparativo de los resultados antes y después de las modificaciones al procedimiento, demostrando la factibilidad de la aplicación de las técnicas y métodos propuestos como complemento del procedimiento y para la obtención del Índice de Desarrollo Sostenible Territorial alineado al enfoque de sostenibilidad fuerte.

RECOMENDACIONES

Continuar con la adición de métodos a la biblioteca implementada en la aplicación informática.

Integrar nuevos métodos de solución para resolver los modelos de optimización del enfoque de optimización multiplicativa.

Ponderar el sistema de indicadores propuesto mediante la aplicación del método de asignación de presupuesto implementado en la aplicación informática a través de expertos en las temáticas de las sostenibilidad y aplicarlo en la evaluación del territorio villaclareño.

Perfeccionar el sistema de indicadores propuesto, a través de la adición, modificación o supresión de indicadores, con el fin de obtener un sistema robusto que permita apoyar la toma de decisiones a nivel territorial, con mayor grado de alineación con los objetivos territoriales planificados en pos del desarrollo sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, E.C., Van Westen, C., 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides* 4, 311–325.
- Achkar, M., Cantón, V., Cayssials Brissolèse, R.L., Domínguez, A., Fernández, G., Pesce, F., 2005. Ordenamiento ambiental del territorio.
- Albert, Y.P., Nel, M., others, 2013. Propuesta de indicadores para evaluar la sostenibilidad de la actividad turística. El caso del Valle de Viñales (Cuba, in: *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*. pp. 193–210.
- Amado, C.A., São José, J.M., Santos, S.P., 2016. Measuring active ageing: a data envelopment analysis approach. *European Journal of Operational Research* 255, 207–223.
- ANPP, 2019. Constitución de la República de Cuba.
- Antanasijević, D., Pocajt, V., Ristić, M., Perić-Grujić, A., 2017. A differential multi-criteria analysis for the assessment of sustainability performance of European countries: Beyond country ranking. *Journal of cleaner production* 165, 213–220.
- Apache, 2019. Welcome to The Apache Software Foundation! [WWW Document]. URL <https://www.apache.org/> (accessed 6.12.19).
- Apache Friends Org., 2019. XAMPP Installers and Downloads for Apache Friends [WWW Document]. URL <https://www.apachefriends.org/es/index.html> (accessed 3.21.19).
- Arbolino, R., De Simone, L., Carlucci, F., Yigitcanlar, T., Ioppolo, G., 2018. Towards a sustainable industrial ecology: Implementation of a novel approach in the performance evaluation of Italian regions. *Journal of Cleaner Production* 178, 220–236.
- Arnés, E., 2011. Desarrollo de la metodología de evaluación de sostenibilidad de los campesinos de montaña en San José de Cusmapa, Nicaragua. Master de Tecnología Agroambiental para una Agricultura Sostenible. Universidad Politécnica de Madrid.
- Asamblea Nacional del Poder Popular, 1997. Ley 81 “Del Medio Ambiente.”
- Asamblea Nacional del Poder Popular, 1992. Ley de Reforma Constitucional.
- Asamblea Nacional del Poder Popular, 1981. Ley 33 “De Protección del Medio Ambiente y el Uso Racional de los Recursos Naturales.”
- Attardi, R., Cerreta, M., Sannicandro, V., Torre, C.M., 2018. Non-compensatory composite indicators for the evaluation of urban planning policy: the land-use policy efficiency index (LUPEI). *European Journal of Operational Research* 264, 491–507.
- Becker, W., Paruolo, P., Saisana, M., Saltelli, A., 2016. Weights and importance in composite indicators: mind the gap. *Handbook of uncertainty quantification* 1–30.
- Bezama, A., Szarka, N., Wolfbauer, J., Lorber, K.E., 2007. Application of a balanced scorecard system for supporting decision-making in contaminated sites remediation. *Water, Air, and Soil Pollution* 181, 3–16.
- Billaut, J.-C., Bouyssou, D., Vincke, P., 2009. Should you believe in the Shanghai ranking? An MCDM view. *Scientometrics* 84, 237–263.
- Bossel, H., 1999. Indicators for sustainable development: theory, method, applications.

- Brans, J.-P., Vincke, P., Mareschal, B., 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European journal of operational research* 24, 228–238.
- Bullen, P.S., 2013. *Handbook of means and their inequalities*. Springer Science & Business Media.
- Casares Long, J.J., Arca Ruibal, J.C., 2002. Gestión estratégica de la sostenibilidad en el ámbito local: la Agencia 21 local. *Revista Galega de Economía* 11.
- Castro Bonaño, M., 2002. *Indicadores de desarrollo sostenible urbano. Una aplicación para Andalucía [Tesis doctoral]*. Universidad de Málaga. Málaga, España.
- Chang, Y.-H., Yeh, C.-H., 2001. Evaluating airline competitiveness using multiattribute decision making. *Omega* 29, 405–415.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research* 2, 429–444.
- Chávez, E.S., Osorio, J.A.L.O., 2006. *Turismo y sustentabilidad: de la teoría a la práctica en Cuba*. Cuadernos de turismo 201–221.
- Cherchye, L., Kuosmanen, T., 2004. Benchmarking sustainable development: a synthetic meta-index approach. *Research Paper, UNU-WIDER, United Nations University (UNU)*.
- Chiang, C.-M., Lai, C.-M., 2002. A study on the comprehensive indicator of indoor environment assessment for occupants' health in Taiwan. *Building and Environment* 37, 387–392.
- CITMA, AMA, 2005. *Situación Ambiental Cubana 2004*. Presented at the V Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, Cuba.
- CITMA, MINCEX, ACNU, 2012. *Informe de Cuba a la Conferencia de Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible Río +20*.
- CITMA, ONE, PNUMA, 2009. *Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible: Indicadores de seguimiento: Cuba 2009*. La Habana, Cuba.
- Conover, W.J., 1980. *Practical nonparametric statistics*. Wiley New York.
- Consejo de Estado, 1990. Decreto-Ley 118 “Estructura, Organización y Funcionamiento del Sistema Nacional de Protección del Medio Ambiente y su Órgano Rector.”
- Craft, R.C., Leake, C., 2002. The Pareto principle in organizational decision making. *Management Decision* 40, 729–733.
- CSD, 2001. *Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies*. [http://lst-iiiep.iiiep-unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/\[in=epidoc1.in\]/?t2000=009227/\(100\)](http://lst-iiiep.iiiep-unesco.org/cgi-bin/wwwi32.exe/[in=epidoc1.in]/?t2000=009227/(100)).
- Delgado, E.M., Feijóo, M. del C.L., 2011. Índice de Desarrollo Humano Territorial Comparado para Cuba en un cuarto de siglo. *Líder: revista labor interdisciplinaria de desarrollo regional* 107–138.
- Deng, H., Yeh, C.-H., Willis, R.J., 2000. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers & Operations Research* 27, 963–973.
- Devuyst, D., 2001. Introduction to sustainability assessment at the local level. How green is the city 1–41.

- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., Papayannakis, L., 1995. Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method. *Computers & Operations Research* 22, 763–770.
- Díaz-Balteiro, L., González-Pachón, J., Romero, C., 2017. Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review. *European Journal of Operational Research* 258, 607–616.
- DiSano, J., 2002. *Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies*. United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York.
- Díaz-Balteiro, L., Romero, C., 2004. In search of a natural systems sustainability index. *Ecological Economics* 49, 401–405.
- Dunteman, G.H., 1989. *Principal components analysis*. Sage.
- e Costa, C.A.B., Vansnick, J.-C., 1994. MACBETH—An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International transactions in operational Research* 1, 489–500.
- Ecured, 2019a. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Cuba) - EcuRed [WWW Document]. URL [https://www.ecured.cu/Ministerio_de_Ciencia,_Tecnolog%C3%ADa_y_Medio_Ambiente_\(Cuba\)](https://www.ecured.cu/Ministerio_de_Ciencia,_Tecnolog%C3%ADa_y_Medio_Ambiente_(Cuba)) (accessed 6.13.19).
- Ecured, 2019b. Tarea Vida - EcuRed [WWW Document]. URL https://www.ecured.cu/Tarea_Vida (accessed 6.13.19).
- Ecured, 2019c. Constitución de la República de Cuba - EcuRed [WWW Document]. URL https://www.ecured.cu/Constituci%C3%B3n_de_la_Rep%C3%ABlica_de_Cuba#Constituci.C3.B3n_de_2019 (accessed 6.13.19).
- El Gibari, S., Gómez, T., Ruiz, F., 2019. Building composite indicators using multicriteria methods: a review. *Journal of Business Economics* 89, 1–24.
- Esty, D.C., Levy, M., Srebotnjak, T., De Sherbinin, A., 2005. *Environmental sustainability index: Benchmarking national environmental stewardship*. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy 47–60.
- Fernández, F., 2006. *Indicadores de sostenibilidad y medio ambiente; métodos y escala*. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla. España.
- Fernández, M., Pérez, de los R., Somoza, J., Alcaide, J., Garea, B., Díaz, C., Gómez, E., Fernández, L., Dueñas, M.C., 2009. *GEO Cuba: evaluación del medio ambiente cubano*. La Habana, Cuba: Agencia de Medio Ambiente.
- Fernández-Sánchez, G., Rodríguez-López, F., 2010. A methodology to identify sustainability indicators in construction project management—Application to infrastructure projects in Spain. *Ecological Indicators* 10, 1193–1201.
- Flask, 2019. Welcome | Flask (A Python Microframework) [WWW Document]. URL <http://flask.pocoo.org/> (accessed 6.12.19).
- Frank, A.G., Dalle Molle, N., Gerstlberger, W., Bernardi, J.A.B., Pedrini, D.C., 2016. An integrative environmental performance index for benchmarking in oil and gas industry. *Journal of cleaner production* 133, 1190–1203.

- Freedom House, 2017. Freedom of the press 2017. Washington.
- Freudenberg, M., 2003. Composite indicators of country performance.
- Gan, X., Fernandez, I.C., Guo, J., Wilson, M., Zhao, Y., Zhou, B., Wu, J., 2017. When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators. *Ecological Indicators* 81, 491–502.
- Geniaux, G., 2009. Sustainable development indicator frameworks and initiatives. SEAMLESS.
- Gomez-Limon, J.A., Riesgo, L., others, 2008. Alternative approaches on constructing a composite indicator to measure agricultural sustainability, in: *The Proceedings of the 107th EAAE Seminar. "Modelling of Agricultural and Rural Development Policies"*. January 29th-February 1st, Sevilla, Spain.
- Görener, A., 2012. Comparing AHP and ANP: An application of strategic decisions making in a manufacturing company. *International Journal of Business and Social Science* 3.
- Haider, H., Hewage, K., Umer, A., Ruparathna, R., Chhipi-Shrestha, G., Culver, K., Holland, M., Kay, J., Sadiq, R., 2018. Sustainability assessment framework for small-sized urban neighbourhoods: An application of fuzzy synthetic evaluation. *Sustainable cities and society* 36, 21–32.
- Hardi et al., P., 1997. Assessing sustainable development: principles in practice. International Institute for Sustainable Development Winnipeg.
- Hermans, E., Van den Bossche, F., Wets, G., 2008. Combining road safety information in a performance index. *Accident Analysis & Prevention* 40, 1337–1344.
- Hernández, C.T., Marins, F.A.S., Rocha, P., Duran, J.A.R., 2010. Using AHP and ANP to evaluate the relation between reverse logistics and corporate performance in Brazilian industry. *Brazilian Journal of Operations & Production Management* 7, 47–62.
- Highsoft, 2019. Interactive JavaScript charts for your webpage | Highcharts [WWW Document]. URL <https://www.highcharts.com/> (accessed 6.12.19).
- Institute For Economics & Peace, 2017. Global peace index 2017: Measuring peace in a complex world. Institute For Economics & Peace.
- Kadoić, N., Ređep, N.B., Divjak, B., 2018. A new method for strategic decision-making in higher education. *Central European Journal of Operations Research* 26, 611–628.
- Krajnc, D., Glavič, P., 2005. How to compare companies on relevant dimensions of sustainability. *Ecological Economics* 55, 551–563.
- Lai, E., Lundie, S., Ashbolt, N., 2008. Review of multi-criteria decision aid for integrated sustainability assessment of urban water systems. *Urban water journal* 5, 315–327.
- Li, Y., Mathiyazhagan, K., 2018. Application of DEMATEL approach to identify the influential indicators towards sustainable supply chain adoption in the auto components manufacturing sector. *Journal of cleaner production* 172, 2931–2941.
- Linares, H.L., Garrido, G.M., others, 2013. Gestión de la dimensión medioambiental del desarrollo turístico sostenible en el Hotel Z Cayo Coco perteneciente al destino turístico Jardines del Rey. Observatorio de la Economía Latinoamericana.
- Local Government Management Board, 1993. A Framework for Local Sustainability.

- Loh, J., Green, R.E., Ricketts, T., Lamoreux, J., Jenkins, M., Kapos, V., Randers, J., 2005. The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 360, 289–295.
- Lombera, J.-T.S.-J., Rojo, J.C., 2010. Industrial building design stage based on a system approach to their environmental sustainability. *Construction and Building Materials* 24, 438–447.
- Márquez, L., Cuétara, L., 2006. Propuesta y aplicación de un sistema de indicadores para determinar el índice de desarrollo sostenible global (IDSG) de un destino turístico. Caso: Patanemo, Venezuela. *Revista Faces* 17.
- Martí, L., Martín, J.C., Puertas, R., 2017. A DEA-logistics performance index. *Journal of applied economics* 20, 169–192.
- Martínez de la Vega, V., Pérez Dorta, F., Alonso Guerra, Á., Duque Jova, M., 2014. Diseño e implementación de sistema de indicadores de sostenibilidad turística para instalaciones y destinos de Jardines del Rey, in: *Forum de Ciencia y Técnica 2014*.
- Meadows, D.H., 1998. Indicators and information systems for sustainable development.
- Medel González, F., 2012. Procedimiento para la evaluación del desempeño ambiental. Aplicación en centrales eléctricas de la UEB de generación distribuida de Villa Clara (Tesis de Maestría). Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- Melyn, W., Moesen, W., 1991. Towards a synthetic indicator of macroeconomic performance: unequal weighting when limited information is available. *Public economics research papers* 1–24.
- Méndez Delgado, E., Lloret Feijóo, M.D.C., 2012. Índice de Desarrollo Humano Territorial.
- Mikulić, J., Kožić, I., Krešić, D., 2015. Weighting indicators of tourism sustainability: A critical note. *Ecological Indicators* 48, 312–314.
- Munda, G., 2008. *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy*. Springer.
- Munda, G., 2005. “Measuring sustainability”: a multi-criterion framework. *Environment, Development and Sustainability* 7, 117–134.
- Munda, G., 2004. Social multi-criteria evaluation: Methodological foundations and operational consequences. *European journal of operational research* 158, 662–677.
- Munda, G., Nardo, M., 2005. Non-compensatory composite indicators for ranking countries: A defensible setting. *EUR Report*, EUR 21833.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., 2005. Tools for composite indicators building-EUR 21682 EN. European Communities.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Giovannini, E., Hoffman, A., 2008. *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. OECD publishing, Paris.
- Olden, J.D., Poff, N., 2003. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. *River Research and Applications* 19, 101–121.
- ONEI, 2018. *Anuario Estadístico de Cuba 2017*.
- ONEI, 2009. *Medio Ambiente. Estadísticas en la Revolución*. La Habana, Cuba.

- Oracle, 2019. MySQL [WWW Document]. URL <https://www.mysql.com/> (accessed 6.12.19).
- Parker, J.D.E., 1991. Environmental reporting and environmental indices. (PhD Thesis). University of Cambridge.
- Paruolo, P., Saisana, M., Saltelli, A., 2013. Ratings and rankings: voodoo or science? *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)* 176, 609–634.
- PHP, 2019. PHP: ¿Qué es PHP? - Manual [WWW Document]. URL <https://www.php.net/manual/es/intro-what-is.php> (accessed 6.12.19).
- Pollesch, N., Dale, V.H., 2015. Applications of aggregation theory to sustainability assessment. *Ecological Economics* 114, 117–127.
- Puolamaa, M., Kaplas, M., Reinikainen, T., 1996. Index of environmental friendliness: a methodological study. *Official Statistics of Finland*.
- Python Org., 2019. Welcome to Python [WWW Document]. URL <http://python.org/> (accessed 6.12.19).
- Quiroga Martínez, R., 2007. Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. CEPAL.
- Rodrigues, T.C., Montibeller, G., Oliveira, M.D., e Costa, C.A.B., 2017. Modelling multicriteria value interactions with Reasoning Maps. *European Journal of Operational Research* 258, 1054–1071.
- Rogge, N., 2018. On aggregating benefit of the doubt composite indicators. *European Journal of Operational Research* 264, 364–369.
- Romero, G.D., 2012. Medir la sostenibilidad: indicadores económicos, ecológicos y sociales. Departamento de estructura económica y economía del desarrollo, Universidad Autónoma de Madrid. Consultado en www.ucm.es/info/ec/jec7/pdf/com1-6.pdf.
- Rowley, H.V., Peters, G.M., Lundie, S., Moore, S.J., 2012. Aggregating sustainability indicators: beyond the weighted sum. *Journal of Environmental Management* 111, 24–33.
- Roy, B., 1991. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, in: *Readings in Multiple Criteria Decision Aid*. Springer, pp. 155–183.
- Saaty, R.W., Saaty, T., 2003. The analytic hierarchy process (AHP) for decision making and the analytic network process (ANP) for decision making with dependence and feedback. Creative Decisions Foundation.
- Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences* 1, 83–98.
- Saaty, T.L., 1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill International Book Company.
- Saisana, M., Tarantola, S., 2002. State-of-the-art report on current methodologies and practices for composite indicator development. Citeseer.
- Sen, A., Clapp, J., 2000. Development as freedom: Human capability & global need. *International Journal* 55, 160.

- Sepúlveda, S., 2008. Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios: biograma 2008. Iica.
- Shannon, C.E., Weaver, W., 1947. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana and Chicago.
- Singh, R.K., Murty, H., Gupta, S., Dikshit, A., 2007. Development of composite sustainability performance index for steel industry. *Ecological Indicators* 7, 565–588.
- Tao, C.-C., Hung, C.-C., 2003. A comparative approach of the quantitative models for sustainable transportation. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 5, 3329–3344.
- The World Bank, 2017. *Gross domestic product GDP 2017*. The World Bank, Washington.
- UN, 2015. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.
- UNDP, 2016. *Human development report 2016*. The United Nations Development Programme, New York.
- UNDP, 1990. *Human Development Report 1990*.
- UNDPI, 2009. *Millennium Development Goals Report 2009 (Includes the 2009 Progress Chart)*. United Nations Publications.
- UNSD, 1992. *Agenda 21*. Presented at the United Nations Conference on Environment & Development, Rio de Janeiro, Brazil.
- van Haaster, B., Citroth, A., Fontes, J., Wood, R., Ramirez, A., 2017. Development of a methodological framework for social life-cycle assessment of novel technologies. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 22, 423–440.
- Vega Calcines, A., 2014. *Procedimiento para la evaluación del desarrollo sostenible territorial. Aplicación en la provincia de Villa Clara. (Tesis de Maestría)*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.
- VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, 2011. *Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución*.
- VII Congreso del Partido Comunista de Cuba, 2016. *Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030: propuesta de visión de la nación, ejes y sectores estratégicos*.
- Vitunskiene, V., Dabkiene, V., 2016. Framework for assessing the farm relative sustainability: a Lithuanian case study. *Agricultural Economics/Zemedelska Ekonomika* 62.
- Wilcoxon, F., 1945. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics bulletin* 1, 80–83.
- Wind, Y., Green, P.E., 2013. *Marketing research and modeling: progress and prospects: a tribute to Paul E. Green*. Springer Science & Business Media.
- World Commission on Environment and Development, 1987a. *Our Common Future*. United Nations.
- World Commission on Environment and Development, 1987b. *From One Earth to One World: And Overview by the World Commission on Environment and Development*, in: *Our Common Future*. Oxford University Press, New York, p. 18,24.

- World Economic Forum, 2017a. The Global Competitiveness Report 2017-2018. World Economic Forum, Geneva.
- World Economic Forum, 2017b. The travel & tourism competitiveness report 2017. World Economic Forum, Geneva.
- World Justice Project, 2016. The world justice project rule of law index 2016. World Justice Project, Washington.
- WorldBank, 1999. World Development Indicators 1999.
- Xue, Q., Wei Zhou, X., 2010. The Definitive Guide to Yii 1.1.
- Yang, Y.-C.E., Cai, X., Herricks, E.E., 2008. Identification of hydrologic indicators related to fish diversity and abundance: a data mining approach for fish community analysis. *Water Resources Research* 44.
- Yoon, K.P., Hwang, C.-L., 1995. Multiple attribute decision making: an introduction. Sage publications.
- Zeleny, M., 1982. Multiple Criteria Decision Making, McGraw-Hill Series in Quantitative Methods for Management. McGraw-Hill.
- Zhou, P., Ang, B., Poh, K., 2006. Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: An objective measure. *Ecological Economics* 59, 305–311.
- Zhou, P., Ang, B., Zhou, D., 2010. Weighting and aggregation in composite indicator construction: A multiplicative optimization approach. *Social indicators research* 96, 169–181.
- Zwick, W.R., Velicer, W.F., 1986. Comparison of five rules for determining the number of components to retain. *Psychological bulletin* 99, 432.

ANEXOS

Anexo 1. Enfoque orientado a proceso para responder “cuándo emplear qué” (Gan et al., 2017)

Método	Propósito		Escala				Perspectivas de la sostenibilidad		
	Evaluar estado o predecir	Comparación	Escala espacial		Escala temporal		Sostenibilidad débil	Sostenibilidad fuerte	
			Abarcadora	Específica	Amplia	Reducida			
Ponderación	Igual ponderación	REC	OK	REC	REC	REC	REC	REC	NO
	ACP†	REC	OK	REC	OK	OK	REC	REC	NO
	Beneficio de la duda	REC	NO	REC	OK	OK	REC	REC	NO
	Análisis de regresión	REC	OK	REC	OK	OK	REC	REC	NO
	Modelos de componentes no observados	REC	OK	REC	OK	OK	REC	REC	NO
	Asignación de presupuesto	REC	OK	NO	REC	REC	REC	OK	OK
	Opinión pública	REC	OK	NO	REC	REC	REC	OK	OK
	AHP‡	REC	OK	NO	REC	REC	REC	REC	NO
	Análisis conjunto	REC	OK	NO	REC	REC	REC	REC	NO
Agregación	Aditiva	REC	OK	REC	REC	REC	REC	REC	NO
	Geométrica	REC	OK	REC	REC	REC	REC	REC	NO
	Métodos no compensatorios	FCD§	REC	OK	REC	REC	REC	REC	NO
		TDMA¶	NO	REC	REC	REC	REC	REC	NO
	Métodos combinados	REC	OK	REC	REC	REC	REC	REC	REC

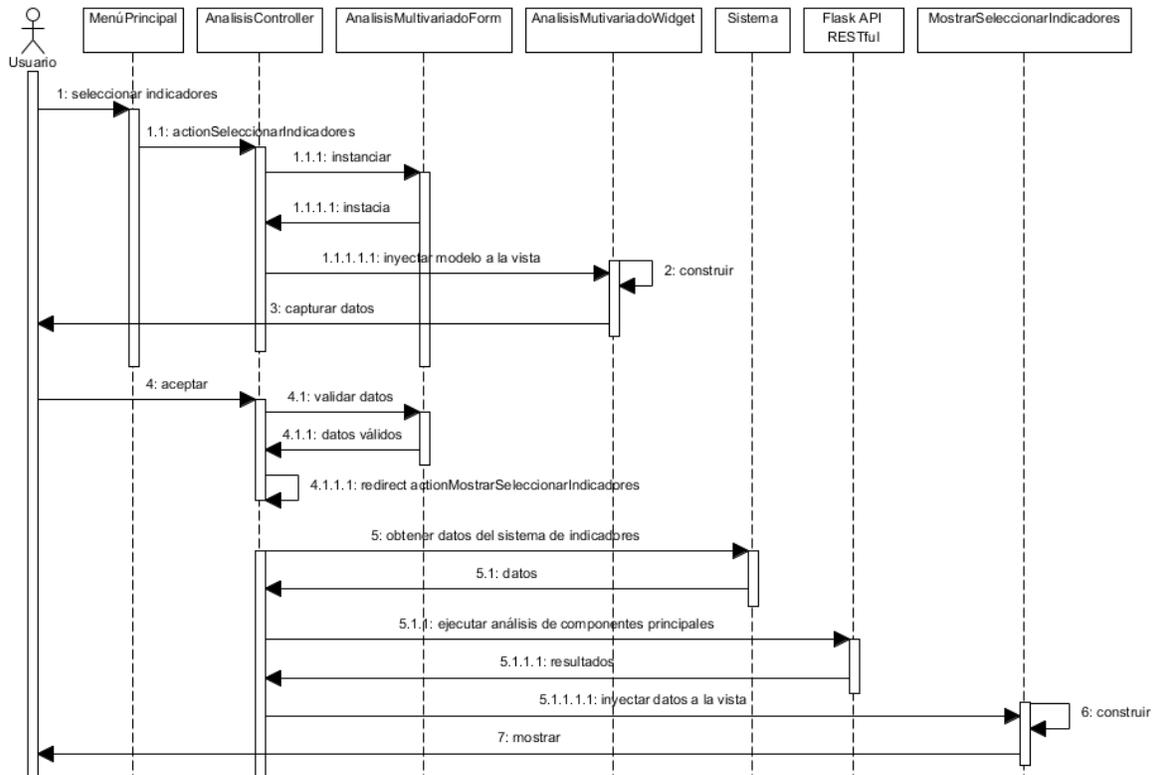
† Análisis de componentes principales

‡ Proceso de jerarquías analíticas (AHP por sus siglas en inglés)

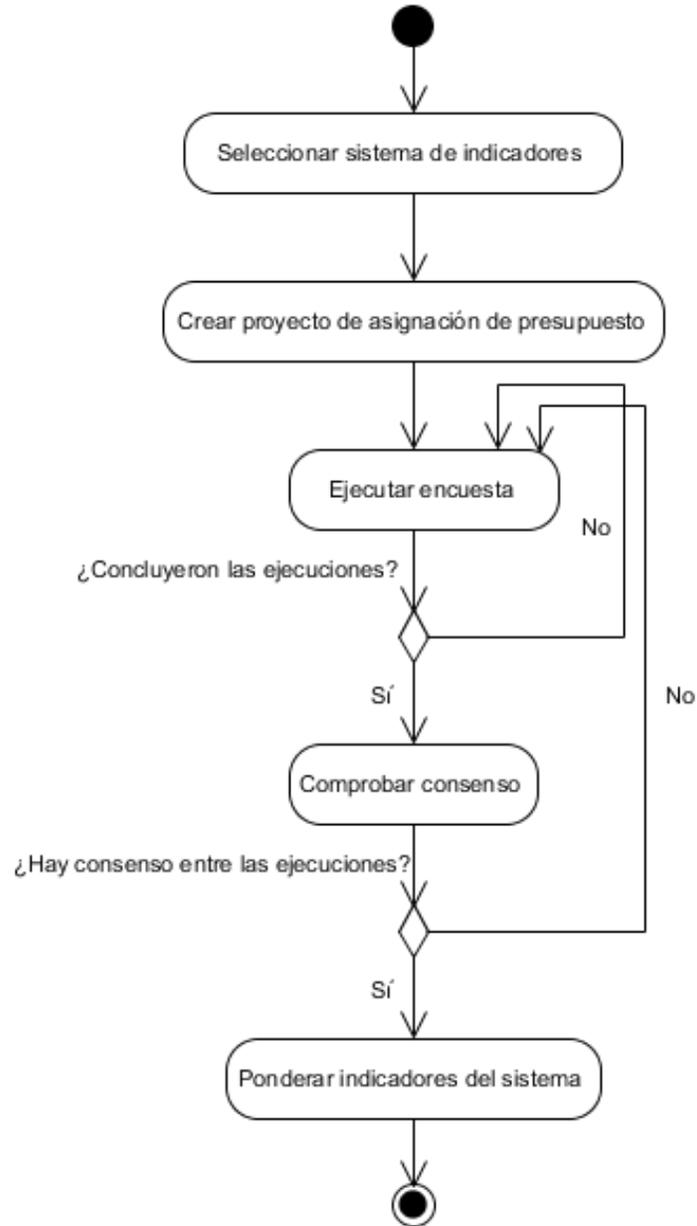
§ Funciones conjuntivas o disyuntivas

¶ Toma de Decisiones basada en Múltiples Atributos

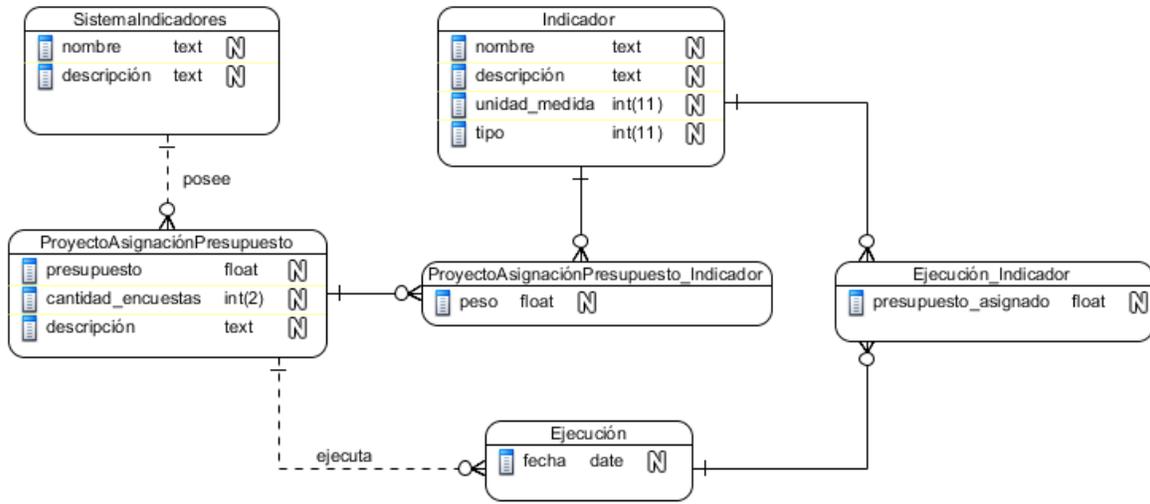
Anexo 2. Diagrama de secuencia de la funcionalidad “Seleccionar indicadores” del componente Análisis



Anexo 3. Diagrama de actividad especificando las actividades que intervienen en la ponderación de un sistema de indicadores mediante un proyecto de asignación de presupuesto



Anexo 4. Modelo lógico de base de datos para la gestión de la ponderación del sistema de indicadores mediante proyectos de asignación de presupuesto



Anexo 5. Ficha de indicadores seleccionados para el análisis de los territorios

Indicador: Superficie cubierta de bosques	
UM: porciento	Tipo: Mayor valor mejor
Dimensión: Ambiental	Área clave: Protección y rehabilitación de los suelos
Descripción: Relación entre el área terrestre cubierta de bosques con respecto a la superficie terrestre total. Se considera área cubierta de bosques a aquellos bosques naturales y los bosques plantados por el hombre.	
Método de cálculo: Tomado directo de la fuente.	
Relevancia para la sostenibilidad: Reducción de gases de efecto invernadero, producción de oxígeno, preservación y creación de hábitats naturales para especies silvestres de la flora y la fauna, preservación de suelos y disminución de la erosión.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 26.40

Indicador: Porcentaje de reforestación en relación a la superficie total	
UM: porciento	Tipo: Mayor valor mejor
Dimensión: Ambiental	Área clave: Protección y rehabilitación de los suelos
Descripción: Relación entre el área plantada de árboles con respecto a la superficie terrestre total	
Método de cálculo: Superficie plantada de árboles / Superficie total * 100	
Relevancia para la sostenibilidad: Determina el accionar en pos de garantizar el crecimiento de espacios verdes y el crecimiento de su porcentaje a futuro.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 0.50

Indicador: Porcentaje de la superficie dañada por incendios forestales en relación a la superficie terrestre total	
UM: porciento	Tipo: Menor valor mejor
Dimensión: Ambiental	Área clave: Protección y rehabilitación de los suelos
Descripción: Relación entre el área dañada por incendios forestales en relación a la superficie terrestre total	

Método de cálculo: Superficie dañada por incendios forestales / Superficie total * 100	
Relevancia para la sostenibilidad: Los incendios forestales inciden directamente en la pérdida de recursos naturales, específicamente en las plantaciones de bosques. Constituye un retroceso en los esfuerzos por reforestar y poseer la mayor superficie cubierta de bosques posible.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 0.10

Indicador: Porcentaje de áreas terrestres protegidas en relación a la superficie total	
UM: por ciento	Tipo: Mayor valor mejor
Dimensión: Ambiental	Área clave: Pérdida de la diversidad biológica
Descripción: Relación entre la superficie terrestre protegida con respecto a la superficie terrestre total.	
Método de cálculo: Áreas terrestres protegidas / Superficie total * 100	
Relevancia para la sostenibilidad: La variación en este indicador dará señal en relación al cuidado que se está proporcionando a lugares que requieren preservarse por su valor natural, aumentando el cuidado y conservación de los recursos que se encuentran en ella, como son las especies, los ecosistemas y en general la protección de la biodiversidad, así como, valores histórico culturales que puedan existir en ella.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 24.00

Indicador: Carga contaminante dispuesta en relación a la cantidad de habitantes	
UM: ton DBO por habitante	Tipo: A menor valor mejor
Dimensión: Ambiental	Área clave: Gestión de recursos hídricos
Descripción: Se refiere a la carga contaminante dispuesta por los residuales líquidos, de origen orgánico y biodegradable.	
Método de cálculo: Carga contaminante dispuesta / Total de habitantes	
Relevancia para la sostenibilidad: Seguimiento a la contaminación de las aguas y su negativo impacto en la vida acuática y su impacto directo en la población.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 0.0038

Indicador: Porcentaje de gastos de inversión para la protección del medio ambiente en relación al monto total de la inversión	
UM: porcentaje	Tipo: A mayor valor mejor
Dimensión: Económica	Área clave: Desarrollo económico
Descripción: Representa la proporción del monto de inversión invertida en la protección del medio ambiente en relación al monto total de la inversión.	
Método de cálculo: Monto destinado a la protección del medio ambiente / Monto total de la inversión * 100	
Relevancia para la sostenibilidad: Sostenibilidad de la protección del medio ambiente a partir de la disposición de recursos monetarios para su ejecución.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 10.00

Indicador: Volumen de inversiones en relación a la cantidad de habitantes	
UM: pesos por habitante	Tipo: A mayor valor mejor
Dimensión: Económica	Área clave: Desarrollo económico
Descripción: Representa la proporción de inversión en relación al total de habitantes.	
Método de cálculo: Monto total de inversión / Total de habitantes	
Relevancia para la sostenibilidad: Representa el grado de avance para sostener las actividades humanas a futuro. Guarda estrecha relación con las necesidades humanas y la previsión de consumo a futuro.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 360.00

Indicador: Salario medio mensual en entidades estatales y mixtas	
UM: pesos	Tipo: A mayor valor mejor
Dimensión: Económica	Área clave: Desarrollo económico
Descripción: Representa la media del salario devengado a trabajadores de entidades estatales y mixtas.	
Método de cálculo: Tomado directo de la fuente.	

Relevancia para la sostenibilidad: Brinda el grado de adquisición general de los trabajadores, dando el grado de avance del desarrollo y su impacto en los individuos.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 466.00

Indicador: Valor de la circulación mercantil minorista de bienes en relación a la cantidad de habitantes	
UM: pesos por habitante	Tipo: A mayor valor mejor
Dimensión: Económica	Área clave: Desarrollo económico
Descripción: Representa la proporción de circulación mercantil minorista de bienes con respecto al total de habitantes.	
Método de cálculo: Valor de la circulación mercantil minorista de bienes / Total de habitantes	
Relevancia para la sostenibilidad: Brinda el grado de desarrollo desde la perspectiva de la venta minorista de bienes y la prestación minorista de servicios.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 2,800.00

Indicador: Volumen de desechos sólidos recogidos en relación a la cantidad de habitantes	
UM: m ³ por habitante	Tipo: A menor valor mejor
Dimensión: Económica	Área clave: Generación de desechos
Descripción: Representa la proporción de desechos sólidos recogidos en relación al total de habitantes.	
Método de cálculo: Desechos sólidos recogidos / Total de habitantes	
Relevancia para la sostenibilidad: La producción, gestión y eliminación de los residuos urbanos es uno de los aspectos más preocupantes en relación con la sostenibilidad del desarrollo y la degradación del medio ambiente. La adecuada gestión de residuos debe tener como punto de partida la prevención de su generación y de su peligrosidad, así como el fomento de su reutilización y valorización.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 0.92

Indicador: Porcentaje de participación en las últimas elecciones de delegados de las Asambleas Municipales del Poder Popular	
UM: porcentaje	Tipo: A mayor valor mejor
Dimensión: Social	Área clave: Equidad
Descripción: Representa la proporción de los participantes en las elecciones con respecto al total en edad electoral.	
Método de cálculo: Tomado directo de la fuente.	
Relevancia para la sostenibilidad: Representa el grado de acceso al voto, la conciencia social asociada a la capacidad electoral, el grado de fortaleza y reconocimiento de instituciones de dirección fuertes.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 95.00

Indicador: Cobertura de abasto de agua potable	
UM: porcentaje	Tipo: A mayor valor mejor
Dimensión: Social	Área clave: Salud
Descripción: Muestra el porcentaje de la población que tiene acceso a una cantidad suficiente de agua potable en su vivienda, o a una distancia razonable de ella.	
Método de cálculo: Tomado directo de la fuente.	
Relevancia para la sostenibilidad: Es un indicador que permite cuantificar el por ciento de personas que tiene acceso adecuado a agua potable o segura, que garantiza su protección a enfermedades de transmisión hídrica.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 95.20

Indicador: Cobertura de saneamiento	
UM: porcentaje	Tipo: A mayor valor mejor
Dimensión: Social	Área clave: Salud
Descripción: Es la proporción de la población con acceso a instalaciones sanitarias para la eliminación de los excrementos humanos en su vivienda o en las proximidades inmediatas de esta, en relación con la población total del territorio.	

Método de cálculo: Tomado directo de la fuente.	
Relevancia para la sostenibilidad: La finalidad del indicador es seguir los progresos en el acceso de la población a instalaciones de saneamiento. Se trata de un indicador básico de gran utilidad para evaluar lo que respecta a la salud humana.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 96.60

Indicador: Tasa de mortalidad de los niños menores de 5 años	
UM: por cada 1000 nacidos vivos	Tipo: A menor valor mejor
Dimensión: Social	Área clave: Salud
Descripción: La probabilidad de morir entre el nacimiento y antes de cumplir exactamente 5 años de edad.	
Método de cálculo: Tomado directo de la fuente.	
Relevancia para la sostenibilidad: Estas mediciones reflejan, mejor que la tasa de mortalidad de menores de un año, la carga de enfermedades en la infancia, incluidas las que pueden prevenirse con mejor nutrición y programas de inmunización.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 2.20

Indicador: Retención en el ciclo normal de la enseñanza primaria	
UM: por ciento	Tipo: A mayor valor mejor
Dimensión: Social	Área clave: Educación
Descripción: Expresa el por ciento de graduados con relación a los nuevos ingresos ocurridos al iniciar el ciclo de duración del nivel educativo primario. Es la proporción de estudiantes de nuevo ingreso que terminan con éxito los estudios, sin repetir ningún grado o año.	
Método de cálculo: Tomado directo de la fuente.	
Relevancia para la sostenibilidad: Este indicador también es conocido como eficiencia académica interna en el ciclo normal de estudios primarios.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 100

Indicador: Retención en el ciclo normal de la enseñanza secundaria	
UM: porciento	Tipo: A mayor valor mejor
Dimensión: Social	Área clave: Educación
Descripción: Expresa el por ciento de graduados con relación a los nuevos ingresos ocurridos al iniciar el ciclo de duración del nivel educativo secundario. Es la proporción de estudiantes de nuevo ingreso que terminan con éxito los estudios, sin repetir ningún grado o año.	
Método de cálculo: Tomado directo de la fuente.	
Relevancia para la sostenibilidad: Este indicador también es conocido como eficiencia académica interna en el ciclo normal de estudios secundarios.	
Fuente: ONEI	Valor deseado: 100

Anexo 6. Datos de los indicadores que conforman el sistema para el análisis de los territorios

Cobertura de abasto de agua potable (por ciento)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	64.2	64.3	64.2	64.2	100	100	100	100	100	100
Artemisa	99.9	99.9	91.8	95.3	95	97.4	98.8	99	99.7	99.8
La Habana	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Mayabeque	99.9	99.9	99.7	100	100	100	100	100	100	100
Matanzas	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Villa Clara	93.9	97.9	98.6	98.8	100	100	100	100	100	100
Cienfuegos	82.9	83.0	83.7	83.8	83.4	84.5	84.7	84.7	88.4	84.6
Sancti Spíritus	98.0	98.3	98.0	98.2	98.8	99.5	99.5	99.6	99.8	99.7
Ciego de Ávila	77.4	100	100	100	99.6	99.3	99.4	99.8	99.8	99.9
Camagüey	99.8	99.8	99.9	100	100	100	100	100	100	100
Las Tunas	100	100	95.4	83.5	100	100	100	100	100	100
Holguín	98.3	98.8	76.1	75.8	76.7	76.8	91.3	91.4	92	91.9
Granma	86.6	92.7	92.9	93.1	69.8	69.4	69.8	71.4	70.7	71.6
Santiago de Cuba	83.9	85.0	86.3	86.1	86.4	86.8	88.4	89.2	89.4	89.7
Guantánamo	85.2	94.2	99.6	99.7	100	100	100	100	100	100
Isla de la Juventud	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Cobertura de saneamiento (por ciento)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	99.7	99.6	100	100	100	100	100	100	100	100
Artemisa	100	100	100	95.6	93.8	98.9	99.4	99.6	100	100
La Habana	99.1	99.4	100	100	100	100	100	100	100	100
Mayabeque	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Matanzas	100	100	100	91.9	100	100	100	100	100	100
Villa Clara	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cienfuegos	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Sancti Spíritus	96.5	97.1	97.4	97.8	97.8	99	99	99.1	99.5	99.5
Ciego de Ávila	100	100	100	82.8	83.8	83.9	84.3	86.4	86.5	86.4
Camagüey	99.4	99.4	99.8	100	100	96.8	100	100	100	100
Las Tunas	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Holguín	100	100	74.9	78.3	76.8	79.5	91.9	91.4	91.6	91.9

ANEXOS

Cobertura de saneamiento (porciento)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Granma	100	100	100	100	100	99.9	100	100	100	100
Santiago de Cuba	67.1	66.9	66.9	72.3	72.4	78	80.3	81.7	81.9	82
Guantánamo	83.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Isla de la Juventud	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Superficie cubierta de bosques (porciento)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	40.1	41.2	42.6	44.0	45.7	46	46.3	47	47.1	47.4
Artemisa	13.5	13.9	17.2	20.6	18	20.9	23	23.9	23.8	24
La Habana	7.5	9.4	10.5	11.5	13.6	13.6	16.7	19.5	18.3	18.2
Mayabeque	13.5	13.9	17.0	20.1	21.4	20.9	21.2	21.5	22.5	22.7
Matanzas	28.8	29.6	30.1	30.6	31.4	32	32.2	39.1	39.3	39.4
Villa Clara	21.3	22.0	22.3	22.5	22.8	22.9	23.6	23.8	24.4	23.2
Cienfuegos	14.8	15.1	15.3	15.6	16.1	16.1	16.8	17.4	18.6	18
Sancti Spíritus	15.6	15.9	16.4	17.0	18.3	18.3	19.2	19.7	19.9	20
Ciego de Ávila	16.2	16.5	17.0	17.5	18.6	18.6	19.8	21.3	21.4	21.5
Camagüey	22.4	22.5	23.0	23.6	24.5	25.3	26	25.9	26.2	26.8
Las Tunas	14.1	14.4	14.6	14.8	18.1	18.1	18.7	19	19.1	19.1
Holguín	33.4	33.9	34.5	35.1	36.5	36.7	38.1	38.3	38.6	38.7
Granma	21.1	21.9	22.4	23.0	25.1	25.5	26.5	26.7	26.6	27.1
Santiago de Cuba	29.3	29.7	30.4	31.1	32	32.3	32.7	33	33.3	33.7
Guantánamo	40.1	40.5	41.6	42.7	44	42.8	45.4	46.7	50.5	50.4
Isla de la Juventud	63.2	63.6	63.5	63.4	73.1	73.7	73.7	65.2	69.3	69.3

Porcentaje de reforestación en relación a la superficie total (porciento)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	0.49	0.48	0.68	0.56	0.41	0.33	0.30	0.25	0.24	0.25
Artemisa	0.71	0.71	1.04	0.46	0.30	0.27	0.22	0.24	0.19	0.17
La Habana	1.27	1.33	1.58	1.16	2.11	0.73	0.38	0.36	0.24	0.18
Mayabeque	0.71	0.71	1.11	0.51	0.22	0.32	0.32	0.18	0.16	0.13
Matanzas	0.36	0.34	0.42	0.36	0.34	0.27	0.19	0.15	0.10	0.07
Villa Clara	0.54	0.51	0.46	0.39	0.33	0.24	0.08	0.11	0.09	0.09
Cienfuegos	0.66	0.35	0.40	0.35	0.24	0.19	0.17	0.12	0.11	0.13

Porcentaje de reforestación en relación a la superficie total (porcentaje)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Sancti Spíritus	0.36	0.36	0.38	0.24	0.18	0.13	0.09	0.09	0.08	0.06
Ciego de Ávila	0.44	0.32	0.62	0.37	0.20	0.15	0.06	0.05	0.06	0.07
Camagüey	0.17	0.26	0.21	0.15	0.09	0.10	0.05	0.07	0.07	0.06
Las Tunas	0.69	0.77	0.78	0.47	0.33	0.24	0.21	0.19	0.16	0.16
Holguín	0.66	0.62	0.60	0.61	0.42	0.36	0.24	0.23	0.23	0.21
Granma	0.59	0.59	0.73	0.46	0.34	0.22	0.15	0.15	0.11	0.10
Santiago de Cuba	0.65	0.78	0.99	0.88	0.71	0.61	0.62	0.59	0.57	0.53
Guantánamo	0.65	0.70	0.69	0.62	0.52	0.40	0.38	0.28	0.29	0.29
Isla de la Juventud	0.13	0.32	0.33	0.36	0.20	0.16	0.09	0.37	0.34	0.39

Porcentaje de áreas terrestres protegidas en relación a la superficie total (porcentaje)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	3.8	3.8	18.1	15.3	15.3	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6
Artemisa	0.2	0.2	0.4	6.4	6.4	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
La Habana	0.4	0.4	7.4	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Mayabeque	0.2	0.2	0.4	1.4	1.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Matanzas	24.2	24.2	44.1	44.1	44.1	44.2	44.2	44.2	44.2	44.2
Villa Clara	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
Cienfuegos	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Sancti Spíritus	2.8	2.8	17.5	17.5	17.5	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
Ciego de Ávila	1.4	1.4	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
Camagüey	1.3	1.3	1.5	1.5	1.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Las Tunas	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Holguín	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Granma	12.3	12.3	12.6	12.6	12.6	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
Santiago de Cuba	0.6	0.6	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
Guantánamo	12.0	12.0	35.1	35.1	35.1	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5
Isla de la Juventud	0.3	0.3	42.0	42.0	42.0	48.3	48.3	48.3	48.3	48.3

Porcentaje de la superficie dañada por incendios forestales en relación a la superficie terrestre total (porcentaje)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	0.039	0.088	0.016	0.688	0.039	0.084	0.057	0.459	0.100	0.031

Porcentaje de la superficie dañada por incendios forestales en relación a la superficie terrestre total (porcentaje)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Artemisa	0.005	0.014	0.024	0.051	0.021	0.067	0.005	0.003	0.122	0.045
La Habana	0.000	0.698	0.038	0.829	0.049	0.093	0.046	0.027	0.059	0.019
Mayabeque	0.001	0.001	0.010	0.138	0.011	0.055	0.147	0.007	0.082	0.104
Matanzas	0.015	0.083	0.009	0.179	0.020	0.030	0.047	0.024	0.003	0.117
Villa Clara	0.010	0.063	0.006	0.053	0.015	0.005	0.005	0.013	0.001	0.011
Cienfuegos	0.010	0.127	0.013	0.020	0.001	0.004	0.003	0.010	0.002	0.031
Sancti Spíritus	0.014	0.032	0.005	0.023	0.019	0.014	0.000	0.012	0.004	0.026
Ciego de Ávila	0.111	0.170	0.014	0.072	0.057	0.023	0.002	0.004	0.002	0.002
Camagüey	0.059	0.174	0.029	0.162	0.021	0.047	0.013	0.010	0.083	0.029
Las Tunas	0.036	0.376	0.033	0.065	0.027	0.098	0.009	0.023	0.010	0.001
Holguín	0.051	0.054	0.321	0.612	0.070	0.038	0.045	0.316	0.010	0.327
Granma	0.015	0.015	0.014	0.015	0.023	0.008	0.001	0.011	0.001	0.004
Santiago de Cuba	0.016	0.022	0.043	0.015	0.044	0.029	0.001	0.012	0.003	0.010
Guantánamo	0.017	0.020	0.019	0.003	0.028	0.006	0.021	0.033	0.001	0.054
Isla de la Juventud	0.064	0.317	0.079	0.397	0.126	0.132	0.059	0.050	0.014	0.051

Volumen de desechos sólidos recogidos en relación a la cantidad de habitantes (m³ por habitante)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	1.7	1.3	1.3	1.1	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4
Artemisa	2.9	2.5	1.6	2.3	2.8	4.0	4.9	5.9	5.9	4.6
La Habana	4.3	4.4	3.7	3.4	3.8	3.0	3.3	2.9	3.3	3.6
Mayabeque	2.9	2.5	2.6	2.2	4.6	6.7	7.0	7.0	7.1	7.1
Matanzas	1.7	1.7	1.6	2.0	2.1	3.0	1.7	1.5	1.5	1.5
Villa Clara	2.0	1.9	1.2	1.4	1.7	1.8	1.6	1.6	1.6	1.7
Cienfuegos	2.4	2.1	2.0	1.6	2.0	1.9	2.0	2.2	2.2	2.5
Sancti Spíritus	1.4	1.3	1.3	2.4	2.8	2.6	2.8	2.4	2.5	2.6
Ciego de Ávila	1.9	1.5	1.7	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.2	2.8
Camagüey	4.0	2.2	3.2	2.6	4.3	2.6	2.3	2.3	1.8	1.5
Las Tunas	4.1	1.5	1.1	1.2	1.3	1.5	2.0	2.1	2.0	2.3
Holguín	2.4	1.6	1.7	1.5	1.9	1.3	1.5	1.9	1.9	2.0
Granma	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.4
Santiago de Cuba	1.1	1.2	1.3	1.3	1.6	1.5	1.8	1.7	1.7	1.6
Guantánamo	1.5	1.5	1.7	1.7	1.8	1.7	1.8	1.8	1.9	1.8

ANEXOS

Volumen de desechos sólidos recogidos en relación a la cantidad de habitantes (m³ por habitante)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Isla de la Juventud	1.8	1.3	3.5	4.7	1.4	1.7	1.9	3.0	1.5	1.5

Porcentaje de gastos de inversión para la protección del medio ambiente en relación al monto total de inversión (porcentaje)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	11.3	9.0	11.9	15.6	14.3	20.8	34.4	23.5	17.7	13.6
Artemisa	2.2	3.9	7.3	0.5	2.0	0.9	9.0	1.6	3.7	2.8
La Habana	4.2	4.0	3.0	3.4	2.5	4.0	6.3	4.3	4.0	5.2
Mayabeque	9.1	3.8	1.9	0.2	0.9	1.6	3.9	3.1	5.8	5.3
Matanzas	7.1	6.0	5.3	5.3	42.5	34.1	10.8	4.9	11.4	5.2
Villa Clara	7.7	13.4	12.6	14.5	13.3	19.8	36.7	24.6	25.6	4.9
Cienfuegos	6.8	2.6	3.7	6.3	7.5	11.1	17.7	15.0	10.4	14.4
Sancti Spíritus	12.1	12.7	10.4	15.7	15.4	17.4	15.9	18.3	17.1	13.1
Ciego de Ávila	8.8	10.5	6.6	12.2	12.4	16.0	17.2	13.0	16.7	10.7
Camagüey	3.3	13.1	5.4	5.9	8.0	11.2	10.7	7.8	14.5	16.4
Las Tunas	5.4	10.2	6.1	13.0	18.6	19.4	16.1	12.4	12.6	6.5
Holguín	4.8	20.8	35.6	39.4	26.3	17.3	25.1	30.5	38.8	36.3
Granma	16.1	14.7	14.7	18.9	24.9	33.4	26.8	21.5	17.4	12.4
Santiago de Cuba	14.0	14.9	33.0	30.9	9.8	13.1	15.6	14.1	10.8	11.7
Guantánamo	15.3	22.8	19.8	20.4	19.7	23.4	30.3	26.0	32.6	17.9
Isla de la Juventud	1.5	0.02	2.7	0.5	0.0	1.5	11.2	19.1	14.1	0.3

Salario medio mensual en entidades estatales y mixtas por provincias (pesos)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	386	415	440	450	471	480	601	688	786	813
Artemisa	391	417	434	424	441	449	551	668	776	782
La Habana	429	441	449	456	467	484	595	725	776	848
Mayabeque	391	417	434	455	465	474	553	642	725	738
Matanzas	433	451	445	468	483	484	607	723	806	780
Villa Clara	406	430	458	456	466	476	603	702	808	808
Cienfuegos	420	424	458	470	474	480	609	710	753	746
Sancti Spíritus	431	442	461	470	477	487	614	703	790	758
Ciego de Ávila	439	467	497	510	515	520	645	752	816	818

Salario medio mensual en entidades estatales y mixtas por provincias (pesos)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Camagüey	410	439	459	462	456	465	566	650	679	680
Las Tunas	393	401	449	439	456	463	584	643	676	688
Holguín	400	419	444	455	462	471	575	669	730	731
Granma	397	416	435	449	460	470	565	633	676	677
Santiago de Cuba	382	399	450	436	433	443	540	628	657	659
Guantánamo	378	396	421	431	434	442	548	624	633	624
Isla de la Juventud	382	422	434	423	451	461	530	617	655	683

Volumen de inversiones en relación a la cantidad de habitantes (pesos por habitante)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	195.8	180.	209.	182.	209.	189.9	172.1	191.2	197.7	211.3
		6	9	1	1					
Artemisa	122.0	57.3	48.4	355.	707.	1,054.	809.5	841.6	850.3	1,334.
				8	1	9				1
La Habana	1,101.	896.	967.	962.	945.	1,162.	1,108.	1,443.	1,667.	2,082.
	8	9	4	4	2	8	3	3	0	4
Mayabeque	64.9	99.3	254.	342.	379.	309.7	187.1	378.5	254.1	212.0
			4	4	7					
Matanzas	480.4	361.	455.	526.	450.	447.5	457.7	484.3	498.1	554.6
		6	6	0	7					
Villa Clara	284.1	238.	142.	122.	158.	192.0	184.4	282.7	361.7	516.8
		6	3	6	5					
Cienfuegos	567.7	594.	320.	294.	411.	247.2	210.9	311.2	318.4	403.4
		5	6	3	0					
Sancti Spíritus	230.3	230.	164.	173.	193.	178.0	161.2	204.2	239.9	352.8
		7	2	2	8					
Ciego de Ávila	382.9	277.	230.	227.	293.	300.4	283.3	314.5	272.7	384.2
		3	5	2	5					
Camagüey	270.1	189.	303.	199.	257.	248.3	259.7	302.6	322.8	342.9
		1	9	8	0					
Las Tunas	261.8	192.	195.	178.	177.	156.8	128.5	170.7	219.6	248.1
		7	8	2	0					
Holguín	581.5	509.	389.	476.	449.	427.9	303.3	359.3	317.0	348.8
		8	3	0	3					

ANEXOS

Volumen de inversiones en relación a la cantidad de habitantes (pesos por habitante)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Granma	205.8	181.	146.	137.	150.	140.3	104.9	127.3	147.7	193.4
		4	2	4	9					
Santiago de Cuba	258.2	247.	202.	136.	164.	220.5	248.8	299.6	347.6	334.3
		2	7	0	2					
Guantánamo	253.1	202.	154.	157.	176.	187.4	157.3	162.4	164.1	288.6
		0	1	5	2					
Isla de la Juventud	382.1	504.	469.	300.	309.	369.2	362.8	365.0	541.8	353.5
		3	0	4	1					

Retención en el ciclo normal de la enseñanza primaria (porcentaje)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	98.5	99.2	98.9	98.8	96.4	98.8	98.3	100	98.1	98.5
Artemisa	100	100	100	99.9	100	100	100	100	99.6	100
La Habana	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Mayabeque	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Matanzas	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Villa Clara	98.3	98.6	97.9	97.6	98.6	99.4	99.8	99.8	100	100
Cienfuegos	100	100	100	100	100	100	99	100	100	99.4
Sancti Spíritus	99.5	99	96.1	99.4	98.7	100	99.9	99.7	100	100
Ciego de Ávila	100	100	100	100	100	99.8	100	100	100	100
Camagüey	100	97	97.1	97.7	99.2	99.1	100	100	100	100
Las Tunas	96.3	95.9	96.4	97.2	97.2	96.2	97.6	99.3	97.8	97.8
Holguín	97.5	97	95.5	96.7	96.6	96.7	96	97.2	96.8	95.9
Granma	96.5	97.4	96.1	96.4	95.7	94.8	93.9	94.5	96	93
Santiago de Cuba	96.4	95.7	95.9	94.9	94.3	94.3	94.9	94.7	94.7	94.9
Guantánamo	93.6	93.9	93.8	92.6	93.1	91.9	92.8	92.2	91.9	90.2
Isla de la Juventud	99.9	99.4	96.8	95.9	95.3	99.1	95	100	96.8	95.9

Retención en el ciclo normal de la enseñanza secundaria básica (porcentaje)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	99.5	99.1	98.9	99.6	100.0	96.9	96.7	96.3	96.6	95.3
Artemisa	100	100	98.4	98.1	96.7	94.6	93.1	92.1	90.2	89.3
La Habana	97.8	98.4	97.1	97.5	98.0	94.4	91.1	93.7	90.2	88.9

Retención en el ciclo normal de la enseñanza secundaria básica (por ciento)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Mayabeque	100	100	98.4	98.1	91.9	95.5	96.6	96.6	93.6	94.5
Matanzas	99.6	100	98.4	98.2	96.9	93.0	92	89.7	91	89.2
Villa Clara	98.8	99	98.6	98.7	98.5	96.2	95	95.1	96.4	96
Cienfuegos	99.8	99.2	98.8	99.6	100	97.2	94.5	94.7	97	94.1
Sancti Spíritus	100	99.7	98.3	95.8	97.1	95.9	95.7	95.2	95	95.8
Ciego de Ávila	100	98.7	99.2	99.4	98.9	95.5	93.2	94.3	94.6	92.8
Camagüey	98	98.2	98.4	98.7	99.2	96.0	96.4	95.1	95.5	96.1
Las Tunas	98	99.3	96.1	97.3	97.3	95.3	95.6	94.4	94.3	95.1
Holguín	98.7	98.7	97.5	96.4	96.3	94.1	92.9	91.7	92.5	93
Granma	98.7	99.2	97.8	97.4	95.7	93.5	93.2	93.7	92.9	93.8
Santiago de Cuba	98.5	98.2	98.5	98.3	98.5	97.3	97	97	97.1	96.9
Guantánamo	97.6	97.1	95.9	96.5	95.5	95.1	93.6	92.3	93.8	93.9
Isla de la Juventud	99.4	100	97.1	100	100	90.7	94.6	96.7	91.3	94

Tasa de mortalidad de los niños menores de 5 años (por cada 1000 nacidos vivos)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	3.6	5.5	7	4.8	6.8	4.9	4.5	4.8	3.2	4.1
Artemisa	2.2	5	5.4	6	4.8	6.8	7.4	6.2	6.9	5.2
La Habana	6.8	6	5.8	5.6	6.3	4.7	6	5.4	5.7	5.6
Mayabeque	2.9	7.7	6.2	7.4	5.7	8.1	5.7	6.7	6.5	6.4
Matanzas	5.4	5.7	5.2	6.2	5.8	6.7	6	6.4	5.8	7.5
Villa Clara	5	4.9	3.3	6.7	6.1	4.8	4.2	4.8	3.5	5.6
Cienfuegos	7.1	8.3	4.1	6.1	4.6	6	4.5	5.9	4.7	5.3
Sancti Spíritus	5.8	3.8	5.9	7.2	3.2	4.9	4.3	6.2	4.5	2.2
Ciego de Ávila	8.8	7.4	7	5.5	7.2	5	7	5.6	5.8	5.7
Camagüey	6	5.9	6.1	6.6	6.5	7.9	5.9	6.4	6.1	5.1
Las Tunas	4.4	5.1	6.3	4.7	6.6	5.5	5.8	6.5	4.7	4.9
Holguín	4.3	4.9	4.8	4.7	5.1	5.1	4.9	4.7	5.3	5
Granma	5.3	6.7	5.9	5	5.2	4.4	6.7	5.1	5.6	5.8
Santiago de Cuba	8.2	7.9	6.3	7	6.4	7.4	5.7	6.1	5.8	5.8
Guantánamo	8	5.7	7	7.4	7.4	5.7	6.1	7.1	8.1	5.9
Isla de la Juventud	3.9	10.2	6.4	9.6	7.1	3	4	6	3.1	8.2

Porcentaje de participación en las últimas elecciones de delegados de las Asambleas Municipales del Poder Popular (porcentaje)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	96.5	96.5	97.4	97.4	95.3	95.3	95.3	93.6	93.6	93.1
Artemisa	99.5	99.5	96.7	96.7	95.6	95.6	95.6	91.2	91.2	92.5
La Habana	94.5	94.5	94.7	94.7	93.1	93.1	93.1	84.9	84.9	84.1
Mayabeque	99.5	99.5	96.7	96.7	96.8	96.8	96.8	93	93	93.1
Matanzas	97.3	97.3	95	95	92.6	92.6	92.6	89.6	89.6	89
Villa Clara	97.5	97.5	97.2	97.2	95.4	95.4	95.4	91.8	91.8	90.7
Cienfuegos	97.8	97.8	98.1	98.1	96.8	96.8	96.8	91.8	91.8	91.2
Sancti Spíritus	96.7	96.7	96.5	96.5	95.2	95.2	95.2	91.2	91.2	91.8
Ciego de Ávila	97.1	97.1	96.1	96.1	94.1	94.1	94.1	91.4	91.4	89.6
Camagüey	95.7	95.7	94.3	94.3	93	93	93	90.7	90.7	88.8
Las Tunas	97.3	97.3	96.8	96.8	94.3	94.3	94.3	92.4	92.4	91.2
Holguín	96.1	96.1	95.8	95.8	94	94	94	91	91	88.9
Granma	97	97	96.3	96.3	93.7	93.7	93.7	90.6	90.6	87.2
Santiago de Cuba	96.4	96.4	94.4	94.4	93	93	93	91	91	90.5
Guantánamo	97.2	97.2	97.7	97.7	96.9	96.9	96.9	90.7	90.7	90
Isla de la Juventud	93.8	93.8	97	97	95.9	95.9	95.9	86.7	86.7	87.3

Valor de la circulación mercantil minorista de bienes en relación a la cantidad de habitantes (pesos por habitante)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	1,944	2,201	2,692	2,418	5,631	2,758	2,855	2,844	2,953	2,973
	.4	.7	.0	.9	.3	.6	.9	.0	.7	.3
Artemisa	1,920	2,156	3,066	2,316	4,701	2,349	2,307	2,277	2,379	2,468
	.3	.8	.8	.2	.0	.3	.2	.5	.5	.5
La Habana	3,306	2,589	2,808	2,527	6,327	3,056	3,227	3,314	3,305	3,473
	.0	.3	.2	.5	.3	.8	.6	.0	.7	.6
Mayabeque	1,920	2,156	4,058	3,637	5,228	2,583	2,612	2,636	2,678	2,725
	.3	.8	.0	.9	.0	.4	.5	.9	.1	.3
Matanzas	1,924	2,127	2,295	2,235	5,068	2,499	2,524	2,695	2,682	2,650
	.5	.1	.5	.5	.2	.4	.8	.8	.1	.7
Villa Clara	2,245	2,263	2,462	2,690	6,189	2,984	3,200	3,270	3,299	3,258
	.3	.1	.0	.8	.9	.5	.1	.3	.5	.0

Valor de la circulación mercantil minorista de bienes en relación a la cantidad de habitantes (pesos por habitante)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Cienfuegos	2,650	3,059	2,723	2,746	6,412	2,972	3,408	3,472	3,261	3,211
	.3	.6	.1	.9	.7	.2	.1	.6	.0	.3
Sancti Spíritus	2,134	2,144	2,045	2,338	5,485	2,765	2,696	2,807	3,049	3,099
	.5	.2	.6	.7	.5	.5	.4	.7	.8	.4
Ciego de Ávila	2,183	2,315	2,411	2,740	5,945	2,910	2,982	3,124	3,115	3,136
	.2	.2	.1	.1	.6	.8	.3	.7	.1	.7
Camagüey	1,892	2,048	2,049	2,219	4,888	2,512	2,361	2,514	2,514	2,621
	.4	.9	.5	.4	.5	.1	.9	.1	.7	.2
Las Tunas	2,305	2,962	1,840	2,109	4,369	2,126	2,222	2,349	2,477	2,557
	.2	.4	.5	.0	.4	.3	.6	.2	.4	.9
Holguín	1,564	1,721	1,750	2,089	4,498	2,263	2,227	2,404	2,477	2,524
	.6	.5	.7	.0	.4	.5	.8	.2	.1	.5
Granma	1,616	1,794	1,770	1,970	4,383	2,181	2,195	2,200	2,419	2,353
	.7	.8	.2	.4	.6	.6	.0	.8	.0	.3
Santiago de Cuba	1,489	1,704	1,845	2,086	4,841	2,490	2,327	2,476	2,523	2,542
	.1	.5	.2	.4	.5	.5	.1	.8	.2	.6
Guantánamo	1,569	1,726	1,767	1,950	4,194	2,113	2,079	2,161	2,425	2,416
	.5	.2	.7	.6	.9	.6	.6	.5	.7	.4
Isla de la Juventud	2,272	1,641	2,530	2,816	5,938	2,833	3,099	3,385	3,383	4,020
	.7	.6	.7	.4	.1	.3	.2	.6	.3	.8

Carga contaminante dispuesta en relación a la cantidad de habitantes (ton DBO por habitante)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pinar del Río	0.011	0.009	0.011	0.007	0.007	0.007	0.008	0.009	0.009	0.008
	9	2	9	8	8	6	9	2	2	6
Artemisa	0.022	0.020	0.030	0.017	0.018	0.017	0.026	0.024	0.024	0.022
	1	8	2	9	4	7	3	6	4	0
La Habana	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
	0	1	9	7	8	7	7	7	7	7
Mayabeque	0.022	0.020	0.040	0.021	0.021	0.022	0.022	0.023	0.023	0.022
	1	8	0	3	5	4	3	9	9	6
Matanzas	0.017	0.014	0.014	0.012	0.012	0.017	0.023	0.021	0.021	0.019
	6	5	2	8	8	6	4	2	1	0

ANEXOS

Carga contaminante dispuesta en relación a la cantidad de habitantes (ton DBO por habitante)										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Villa Clara	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011	0.011	0.013	0.013	0.013	0.012
	2	9	6	3	4	7	7	0	0	7
Cienfuegos	0.027	0.014	0.011	0.012	0.012	0.012	0.013	0.016	0.016	0.014
	3	0	1	5	6	9	6	0	0	2
Sancti Spíritus	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012
	9	8	6	4	5	1	8	7	7	9
Ciego de Ávila	0.026	0.025	0.026	0.025	0.025	0.028	0.030	0.028	0.028	0.028
	3	9	0	5	6	9	3	4	3	0
Camagüey	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010
	4	1	0	8	9	0	9	8	8	9
Las Tunas	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.009	0.011	0.011	0.011	0.010
	7	5	3	2	2	4	2	7	7	3
Holguín	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.010	0.017	0.017	0.017	0.014
	8	1	9	5	6	4	9	8	8	6
Granma	0.012	0.004	0.003	0.003	0.003	0.008	0.006	0.009	0.009	0.007
	9	5	8	7	7	2	1	3	3	4
Santiago de Cuba	0.012	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010	0.011
	1	6	8	7	7	6	1	8	8	3
Guantánamo	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.012	0.012	0.013
	5	4	7	7	6	0	7	3	3	1
Isla de la Juventud	0.069	0.069	0.074	0.041	0.042	0.035	0.027	0.017	0.017	0.028
	6	2	4	8	6	9	8	9	9	7

Anexo 7. Sistema de indicadores original, reducido mediante el método de selección a través de un análisis de componentes principales

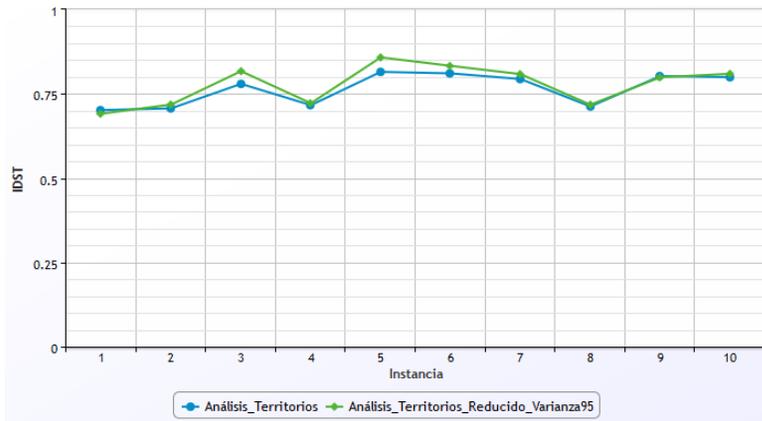
Dimensión	Área clave	Indicador
Ambiental	Protección y rehabilitación de los suelos	Índice de boscosidad
	Pérdida de la diversidad Biológica	Áreas marinas protegidas
	Gestión de recursos hídricos	Extracción de agua dulce con relación a la disponible
Económica	Desarrollo económico	Tasa de crecimiento de la producción mercantil
		Inversiones en Ciencia y Técnica
		Tasa de crecimiento de las ventas netas
	Uso de la energía	Consumo de biomasa en relación a la producida
	Transporte	Pasajeros transportados en ómnibus públicos con respecto al total de habitantes
		Tráfico de carga
	Generación de desechos	Volumen de desechos sólidos recogidos en relación a la cantidad de habitantes
Social	Equidad	Tasa de desocupación
		Tasa de desocupación de las mujeres con respecto a los hombres
		Participación en las últimas elecciones de la APPP
	Educación	Retención en el ciclo normal de la enseñanza primaria

Anexo 8. Resultados de la aplicación de la prueba de Wilcoxon para comparar los conjuntos de índices obtenidos del sistema Análisis_Territorios y del sistema Análisis_Territorios_Reducido_Varianza95, para cada territorio empleando los datos del periodo 2008-2017

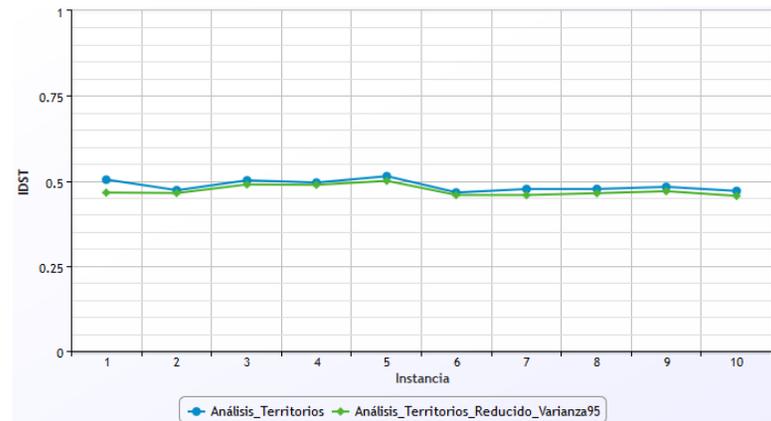
Territorio	Valor <i>p</i> de la prueba de Wilcoxon
Pinar del Río	0.028*
Artemisa	0.092
La Habana	0.386
Mayabeque	0.005*
Matanzas	0.005*
Villa Clara	0.507
Cienfuegos	0.006*
Sancti Spiritus	0.878
Ciego de Ávila	0.005*
Camagüey	0.284
Las Tunas	0.168
Holguín	0.059
Granma	0.005*
Santiago de Cuba	0.005*
Guantánamo	0.005*
Isla de la Juventud	0.507

* Valores por debajo del nivel de confianza del 5%

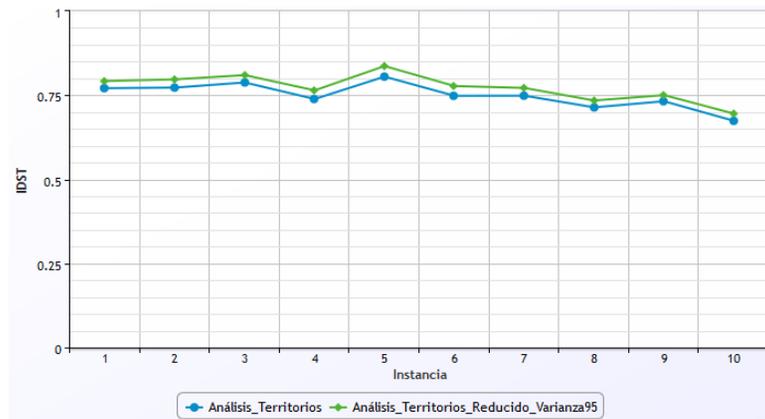
Anexo 9. Gráficos del Índice de Desarrollo Sostenible Territorial de los sistemas Análisis_Territorios y Análisis_Territorios_Reducido_Varianza95 para una selección de territorios empleando los datos del periodo 2008-2017



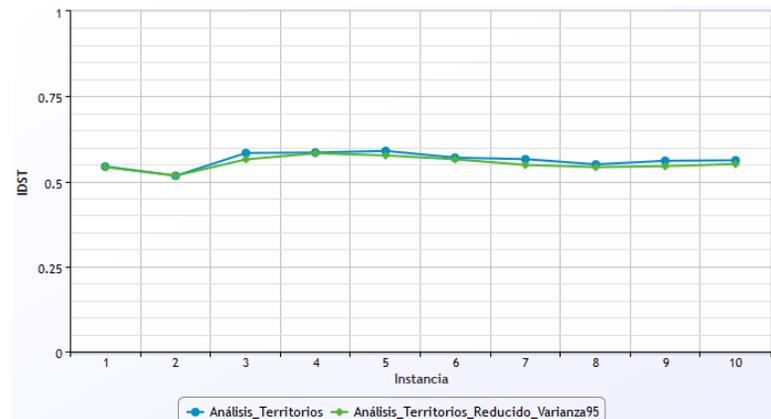
Pinar del Río



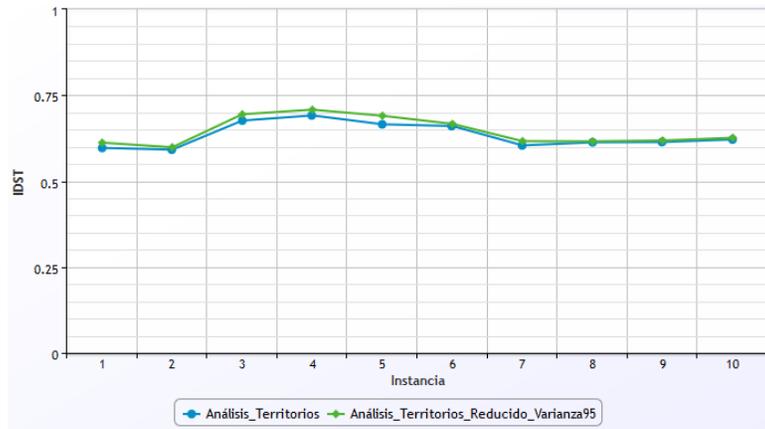
Mayabeque



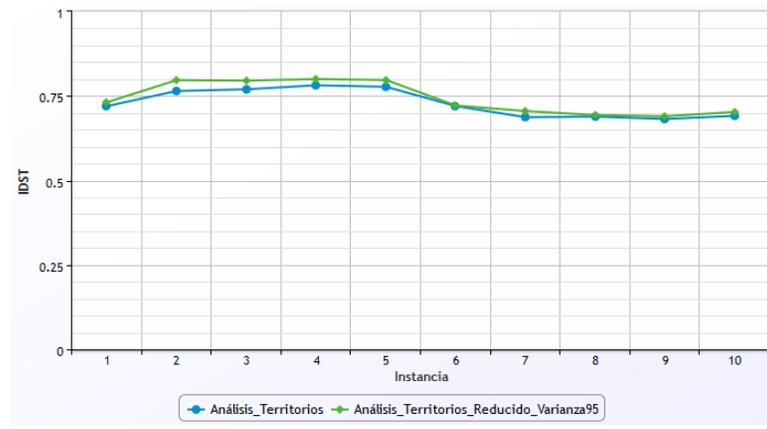
Matanzas



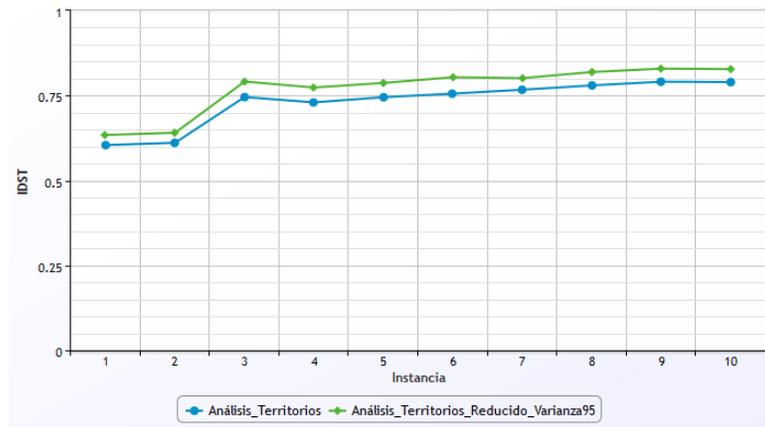
Cienfuegos



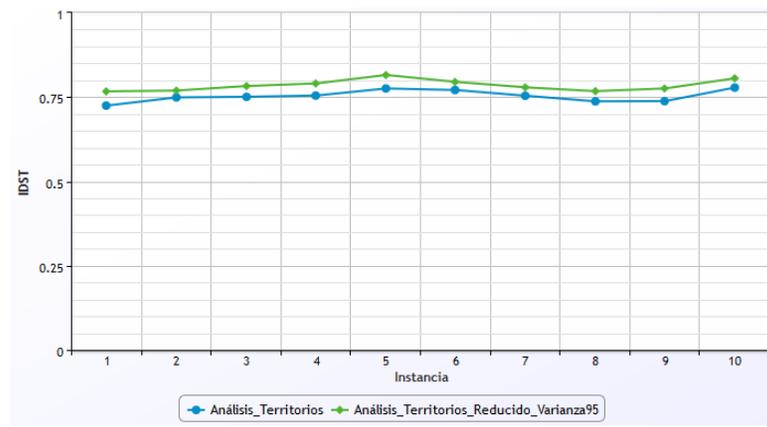
Ciego de Ávila



Granma



Santiago de Cuba



Guantánamo

Anexo 10. Evaluación de cada territorio en el tiempo empleando el método de agregación del ideal desplazado ponderado geométrico, pesos iguales para los indicadores y normalización basada en la distancia al sistema de referencia establecido

Año	Territorio							
	Pinar del Río		Artemisa		La Habana		Mayabeque	
2008	0.3333	9	0.0637	9	0.0948	9	0.0648	9
2009	0.3345	8	0.0626	10	0.0899	10	0.0627	10
2010	0.4949	6	0.0931	8	0.4046	1	0.0914	3
2011	0.3227	10	0.1716	7	0.2122	8	0.0995	2
2012	0.5135	5	0.3548	1	0.2249	6	0.1731	1
2013	0.6033	1	0.2269	6	0.2318	3	0.0763	8
2014	0.5822	3	0.3014	3	0.2320	2	0.0771	6
2015	0.3940	7	0.2964	5	0.2311	4	0.0771	5
2016	0.5758	4	0.3007	4	0.2257	5	0.0776	4
2017	0.5943	2	0.3216	2	0.2247	7	0.0767	7

Año	Territorio							
	Matanzas		Villa Clara		Cienfuegos		Sancti Spiritus	
2008	0.4080	5	0.3639	5	0.0824	9	0.2790	10
2009	0.4500	4	0.3665	4	0.0804	10	0.2837	9
2010	0.4592	3	0.3713	3	0.0986	3	0.4546	1
2011	0.4683	2	0.3607	7	0.0987	2	0.4433	3
2012	0.4889	1	0.3610	6	0.0991	1	0.4522	2
2013	0.4019	6	0.3901	1	0.0974	4	0.4237	4
2014	0.3487	9	0.3246	10	0.0971	5	0.3489	6
2015	0.3577	8	0.3855	2	0.0957	8	0.3494	5
2016	0.3631	7	0.3554	8	0.0966	7	0.3329	7
2017	0.3071	10	0.3415	9	0.0968	6	0.2951	8

ANEXOS

Año	Territorio							
	Ciego de Ávila		Camagüey		Las Tunas		Holguín	
2008	0.1866	9	0.1721	10	0.0675	10	0.0675	10
2009	0.1858	10	0.1798	9	0.0677	9	0.0677	9
2010	0.3144	2	0.1931	6	0.1624	3	0.1624	3
2011	0.3210	1	0.1879	8	0.1654	1	0.1654	1
2012	0.3143	3	0.1896	7	0.1649	2	0.1649	2
2013	0.2947	4	0.3655	1	0.1599	4	0.1599	4
2014	0.2692	7	0.2563	5	0.1563	8	0.1563	8
2015	0.2476	8	0.3052	3	0.1564	7	0.1564	7
2016	0.2714	6	0.3112	2	0.1589	5	0.1589	5
2017	0.2903	5	0.2905	4	0.1572	6	0.1572	6

Año	Territorio							
	Granma		Santiago de Cuba		Guantánamo		Isla de la Juventud	
2008	0.4605	6	0.1229	10	0.4465	10	0.0763	8
2009	0.5011	5	0.1236	9	0.4791	1	0.0258	9
2010	0.5357	3	0.4900	6	0.4563	8	0.1796	5
2011	0.5462	2	0.4789	7	0.4575	6	0.1610	6
2012	0.5707	1	0.4919	5	0.4655	5	0.0002	10
2013	0.5296	4	0.4740	8	0.4747	4	0.2648	4
2014	0.4475	8	0.5125	4	0.4573	7	0.3148	3
2015	0.4546	7	0.5238	2	0.4773	2	0.4045	2
2016	0.3872	9	0.5275	1	0.4477	9	0.4194	1
2017	0.3718	10	0.5153	3	0.4751	3	0.1357	7

Anexo 11. Comparación del desarrollo sostenible de los territorios cubanos empleando el enfoque de optimización multiplicativa para $\lambda = 0.1$

Año: 2008							
Territorio	IDST-ES		$\ln(gI)$	$\ln(bI)$	IDST-OM		Diferencia
Matanzas	0.771	1	0.921034039239	3.072272351703	0.798	3	-2
Guantánamo	0.725	2	0.921034045305	3.314186004732	0.934	2	0
Granma	0.720	3	0.921034050764	3.382943941435	1.000	1	2
Villa Clara	0.706	4	0.921034037201	2.931193756296	0.729	4	0
Pinar del Río	0.702	5	0.921034037540	2.762117434437	0.668	5	0
Holguín	0.689	6	0.921034038207	2.491827103447	0.571	7	-1
Sancti Spiritus	0.667	7	0.921034041702	2.456735798354	0.583	6	1
Santiago de Cuba	0.604	8	0.921034046530	1.000000000182	0.069	10	-2
Ciego de Ávila	0.597	9	0.921034039080	1.763588592267	0.302	8	1
Camagüey	0.547	10	0.921034038602	1.689480620112	0.271	9	1
Las Tunas	0.547	11	0.921034041767	1.000000000009	0.034	11	0
Cienfuegos	0.544	12	0.921034039880	1.000000000059	0.020	12	0
La Habana	0.540	13	0.921034038634	1.000000000173	0.011	13	0
Mayabeque	0.503	14	0.921034037247	1.000000000816	0.000	16	-2
Artemisa	0.487	15	0.921034038622	1.000000012464	0.010	14	1
Isla de la Juventud	0.466	16	0.921034037250	1.000000001189	0.000	15	1

Año: 2009							
Territorio	IDST-ES		$\ln(gI)$	$\ln(bI)$	IDST-OM		Diferencia
Matanzas	0.773	1	0.921034037472	3.266022603301	0.820	3	-2
Granma	0.765	2	0.921034055992	3.491520020072	1.000	1	1
Guantánamo	0.749	3	0.921034046969	3.422474780195	0.927	2	1
Holguín	0.738	4	0.921034038128	2.491827101199	0.544	6	-2
Villa Clara	0.716	5	0.921034038240	2.931193763310	0.703	4	1
Pinar del Río	0.707	6	0.921034037201	2.762117430265	0.637	5	1
Sancti Spiritus	0.690	7	0.921034038232	2.456735793285	0.532	7	0
Santiago de Cuba	0.611	8	0.921034046976	1.000000000183	0.052	10	-2
Camagüey	0.597	9	0.921034050017	1.689480620112	0.317	8	1
Ciego de Ávila	0.592	10	0.921034037978	1.763588592266	0.280	9	1
Las Tunas	0.550	11	0.921034039205	1.000000000012	0.011	13	-2
Cienfuegos	0.517	12	0.921034039836	1.000000000055	0.014	12	0
La Habana	0.485	13	0.921034041306	1.000000000115	0.022	11	2
Mayabeque	0.472	14	0.921034037332	1.000000000003	0.001	15	-1
Artemisa	0.470	15	0.921034037303	1.000000001213	0.001	16	-1
Isla de la Juventud	0.332	16	0.921034037884	1.000000000352	0.004	14	2

ANEXOS

Año: 2010							
Territorio	IDST-ES		<i>ln(gI)</i>	<i>ln(bI)</i>	IDST-OM		Diferencia
Matanzas	0.788	1	0.921034039476	3.286929288118	0.798	6	-5
Pinar del Río	0.779	2	0.921034055626	3.447717397476	0.941	2	0
Granma	0.770	3	0.921034052886	3.618675196343	0.985	1	2
Guantánamo	0.751	4	0.921034044532	3.322775419935	0.838	5	-1
Santiago de Cuba	0.746	5	0.921034037200	3.472071721465	0.850	4	1
Sancti Spiritus	0.740	6	0.921034050655	3.330101460014	0.874	3	3
Villa Clara	0.735	7	0.921034037208	2.931193770425	0.664	8	-1
Ciego de Ávila	0.676	8	0.921034037368	2.682074721230	0.579	9	-1
Holguín	0.662	9	0.921034039292	2.491827104159	0.524	10	-1
La Habana	0.658	10	0.921034038217	3.213455758294	0.766	7	3
Las Tunas	0.633	11	0.921034047068	1.427116355685	0.200	13	-2
Isla de la Juventud	0.632	12	0.921034039837	1.630715310888	0.231	12	0
Camagüey	0.597	13	0.921034037200	1.832581463752	0.286	11	2
Cienfuegos	0.583	14	0.921034037199	1.000000000181	0.000	16	-2
Artemisa	0.520	15	0.921034039038	1.000000000037	0.010	14	1
Mayabeque	0.501	16	0.921034037581	1.000000000037	0.002	15	1

Año: 2011							
Territorio	IDST-ES		<i>ln(gI)</i>	<i>ln(bI)</i>	IDST-OM		Diferencia
Granma	0.782	1	0.921034037199	3.641962534891	0.900	1	0
Guantánamo	0.755	2	0.921034046607	3.322775419933	0.891	2	0
Matanzas	0.739	3	0.921034040105	3.390726081882	0.845	3	0
Santiago de Cuba	0.730	4	0.921034037201	3.447717397658	0.834	4	0
Pinar del Río	0.716	5	0.921034037199	2.676551535829	0.571	8	-3
Villa Clara	0.694	6	0.921034042113	2.931193752419	0.710	6	0
Sancti Spiritus	0.693	7	0.921034037255	3.344916545900	0.799	5	2
Ciego de Ávila	0.691	8	0.921034038235	2.701492804557	0.591	7	1
Las Tunas	0.657	9	0.921034037199	1.427116355658	0.146	14	-5
Holguín	0.654	10	0.921034041706	2.491827092680	0.556	9	1
Artemisa	0.589	11	0.921034037203	1.609437912440	0.208	13	-2
Cienfuegos	0.585	12	0.921034045300	1.000000000172	0.086	15	-3
Camagüey	0.565	13	0.921034037204	1.832581463751	0.284	11	2
La Habana	0.540	14	0.921034042548	2.120263536271	0.438	10	4
Isla de la Juventud	0.518	15	0.921034037275	1.609437912453	0.208	12	3
Mayabeque	0.495	16	0.921034038883	1.000000000009	0.018	16	0

ANEXOS

Año: 2012							
Territorio	IDST-ES		<i>ln(gI)</i>	<i>ln(bI)</i>	IDST-OM		Diferencia
Pinar del Río	0.815	1	0.921034037409	3.476704934202	0.816	3	-2
Matanzas	0.805	2	0.921034037843	3.390726081835	0.790	5	-3
Granma	0.777	3	0.921034037199	3.735683523690	0.900	1	2
Guantánamo	0.776	4	0.921034042783	3.330101460016	0.796	4	0
Santiago de Cuba	0.745	5	0.921034037202	3.480582411254	0.816	2	3
Sancti Spiritus	0.727	6	0.921034037200	3.337481567347	0.769	6	0
Holguín	0.722	7	0.921034046460	2.491827102928	0.539	10	-3
Villa Clara	0.695	8	0.921034037915	2.931193762066	0.639	8	0
Ciego de Ávila	0.665	9	0.921034039009	2.697578915867	0.568	9	0
Las Tunas	0.652	10	0.921034056496	1.427116355683	0.241	14	-4
Artemisa	0.630	11	0.921034042494	2.995732273559	0.684	7	4
La Habana	0.607	12	0.921034037778	2.120263536206	0.372	11	1
Cienfuegos	0.590	13	0.921034037206	1.000000000169	0.000	16	-3
Camagüey	0.575	14	0.921034037199	1.832581463756	0.274	12	2
Mayabeque	0.514	15	0.921034037698	1.763588592306	0.254	13	2
Isla de la Juventud	0.260	16	0.921034037530	1.000000001970	0.002	15	1

Año: 2013							
Territorio	IDST-ES		<i>ln(gI)</i>	<i>ln(bI)</i>	IDST-OM		Diferencia
Pinar del Río	0.811	1	0.921034042687	3.804392342708	0.936	1	0
Guantánamo	0.771	2	0.921034039177	3.375221895298	0.775	3	-1
Santiago de Cuba	0.756	3	0.921034037201	3.392147546224	0.768	4	-1
Matanzas	0.748	4	0.921034037218	3.072272350683	0.665	8	-4
Granma	0.720	5	0.921034037199	3.662849144259	0.855	2	3
Holguín	0.714	6	0.921034037218	2.491827104262	0.479	10	-4
Villa Clara	0.703	7	0.921034037516	3.075775014941	0.668	7	0
Sancti Spiritus	0.691	8	0.921034037399	3.258096538067	0.726	6	2
Camagüey	0.668	9	0.921034052383	2.995732273587	0.740	5	4
Isla de la Juventud	0.663	10	0.921034039543	2.359433957290	0.452	11	-1
Ciego de Ávila	0.660	11	0.921034042552	2.576329671544	0.541	9	2
La Habana	0.645	12	0.921034037618	2.120263536202	0.362	13	-1
Las Tunas	0.614	13	0.921034037199	1.427116355728	0.137	14	-1
Artemisa	0.572	14	0.921034037811	2.197224577347	0.388	12	2
Cienfuegos	0.570	15	0.921034037512	1.000000000196	0.002	15	0
Mayabeque	0.466	16	0.921034037370	1.000000000005	0.001	16	0

ANEXOS

Año: 2014							
Territorio	IDST-ES		<i>ln(gI)</i>	<i>ln(bI)</i>	IDST-OM		Diferencia
Pinar del Río	0.794	1	0.921034038413	3.754119977355	0.907	1	0
Santiago de Cuba	0.767	2	0.921034037199	3.533226144621	0.828	3	-1
Guantánamo	0.754	3	0.921034038313	3.322775419922	0.766	4	-1
Matanzas	0.749	4	0.921034037280	2.787435241695	0.585	8	-4
Isla de la Juventud	0.725	5	0.921034037232	2.615135232085	0.528	10	-5
Granma	0.687	6	0.921034050521	3.372073670150	0.856	2	4
Sancti Spiritus	0.676	7	0.921034039113	2.890371757898	0.629	5	2
Holguín	0.673	8	0.921034053673	2.491827092635	0.588	6	2
Villa Clara	0.659	9	0.921034038141	2.772588722278	0.585	7	2
Camagüey	0.657	10	0.921034041318	2.302585092996	0.451	12	-2
La Habana	0.646	11	0.921034037686	2.120263536202	0.369	13	-2
Artemisa	0.629	12	0.921034037249	2.670602313603	0.546	9	3
Ciego de Ávila	0.604	13	0.921034038536	2.484906649792	0.493	11	2
Las Tunas	0.587	14	0.921034044732	1.427116355805	0.185	14	0
Cienfuegos	0.565	15	0.921034039560	1.000000000201	0.014	15	0
Mayabeque	0.476	16	0.921034038134	1.000000000054	0.006	16	0

Año: 2015							
Territorio	IDST-ES		<i>ln(gI)</i>	<i>ln(bI)</i>	IDST-OM		Diferencia
Santiago de Cuba	0.780	1	0.921034037199	3.560625119419	0.900	2	-1
Isla de la Juventud	0.771	2	0.921034037211	3.055370539877	0.723	6	-4
Guantánamo	0.737	3	0.921034040149	3.430571990500	0.885	3	0
Matanzas	0.714	4	0.921034037270	2.886170071045	0.664	8	-4
Pinar del Río	0.713	5	0.921034037203	3.081290167637	0.732	5	0
Granma	0.689	6	0.921034046878	3.401197381827	0.944	1	5
Villa Clara	0.686	7	0.921034039361	3.075774981232	0.752	4	3
Sancti Spiritus	0.678	8	0.921034038775	2.890371788656	0.681	7	1
Camagüey	0.666	9	0.921034040285	2.639057335596	0.608	10	-1
La Habana	0.641	10	0.921034037268	2.120263564916	0.394	13	-3
Holguín	0.626	11	0.921034037200	2.491827092638	0.524	11	0
Ciego de Ávila	0.613	12	0.921034038415	2.302585093143	0.470	12	0
Las Tunas	0.587	13	0.921034044914	1.427116355805	0.230	14	-1
Artemisa	0.569	14	0.921034037554	2.737424809799	0.614	9	5
Cienfuegos	0.550	15	0.921034038918	1.000000000186	0.018	16	-1
Mayabeque	0.476	16	0.921034039287	1.000000000034	0.022	15	1

ANEXOS

Año: 2016							
Territorio	IDST-ES		<i>ln(gI)</i>	<i>ln(bI)</i>	IDST-OM		Diferencia
Isla de la Juventud	0.829	1	0.921034038964	3.055370539981	0.691	5	-4
Pinar del Río	0.803	2	0.921034042243	3.720967769105	0.931	1	1
Santiago de Cuba	0.791	3	0.921034037200	3.560625118904	0.847	2	1
Guantánamo	0.738	4	0.921034041620	3.301763484720	0.788	3	1
Matanzas	0.732	5	0.921034037328	2.890898214378	0.626	7	-2
Villa Clara	0.702	6	0.921034037589	2.890371757962	0.628	6	0
Sancti Spiritus	0.693	7	0.921034037272	2.772588730655	0.587	10	-3
Camagüey	0.692	8	0.921034040463	2.639057334754	0.562	11	-3
Granma	0.682	9	0.921034050881	3.091042453361	0.775	4	5
Holguín	0.664	10	0.921034053679	2.491827092635	0.593	9	1
Ciego de Ávila	0.614	11	0.921034038186	2.484906678531	0.497	12	-1
La Habana	0.611	12	0.921034037228	2.120263536202	0.371	13	-1
Las Tunas	0.606	13	0.921034046492	1.427116355764	0.198	14	-1
Artemisa	0.580	14	0.921034043170	2.745588120425	0.614	8	6
Cienfuegos	0.560	15	0.921034040235	1.000000000170	0.018	16	-1
Mayabeque	0.482	16	0.921034040293	1.000000000041	0.019	15	1

Año: 2017							
Territorio	IDST-ES		<i>ln(gI)</i>	<i>ln(bI)</i>	IDST-OM		Diferencia
Pinar del Río	0.799	1	0.921034040750	3.788409050571	0.919	1	0
Santiago de Cuba	0.790	2	0.921034037200	3.515368527148	0.812	2	0
Guantánamo	0.778	3	0.921034039604	3.367559022548	0.777	3	0
Sancti Spiritus	0.726	4	0.921034038893	2.484906649790	0.489	9	-5
Camagüey	0.703	5	0.921034038645	2.484906670613	0.487	10	-5
Granma	0.691	6	0.921034045729	2.995732276075	0.691	4	2
Matanzas	0.674	7	0.921034037426	2.639057329632	0.530	7	0
Villa Clara	0.648	8	0.921034037422	2.890371757973	0.611	5	3
Holguín	0.626	9	0.921034037199	2.491827092635	0.482	11	-2
Ciego de Ávila	0.621	10	0.921034037338	2.607966742550	0.520	8	2
Isla de la Juventud	0.613	11	0.921034040492	1.098612292729	0.050	15	-4
La Habana	0.606	12	0.921034037224	2.120263536203	0.362	12	0
Artemisa	0.599	13	0.921034037669	2.849128800547	0.599	6	7
Las Tunas	0.593	14	0.921034055421	1.427116355759	0.238	13	1
Cienfuegos	0.562	15	0.921034040993	1.000000000187	0.021	16	-1
Mayabeque	0.470	16	0.921034049144	1.000000000041	0.066	14	2