

# Propuesta metodológica para la medición del desarrollo sostenible a través de índices sintéticos multivariantes

## Methodological proposal for measuring sustainable development through multivariate synthetic indices

Gustavo Herminio Trujillo Calagua<sup>1</sup>  
Universidad ESAN

### RESUMEN

**Objetivos:** Establecer las bases metodológicas para el diseño de un índice sintético global de desarrollo sostenible que cumpla con dos condiciones: que se adapte a los principios de presión-estado-respuesta y que se adecúe a los cuatro componentes o dimensiones básicas de la sostenibilidad: institucional, medioambiental, económica y social.

**Métodos:** Se construyó un índice sintético sobre el cómputo de una batería de variables, subindicadores e indicadores, agrupados estos en las cuatro dimensiones citadas para luego, proceder a su aplicación en el Perú. Según la forma, información seleccionada y relaciones preestablecidas entre los elementos considerados significativos de evaluar, obtendremos las claves que nos indican la interpretación del ideal de sostenibilidad impulsada por sus gestores. **Resultados:** Se formuló una nueva estrategia metodológica para la elaboración de un índice que recoja los aspectos asociados al desarrollo sostenible en el Perú, mediante la propuesta de análisis sintético multivariante. En el mismo, se identificó que la dimensión "institucional" es la dimensión más débil. **Conclusiones:** Se deduce que los mayores índices de sostenibilidad podrían ser alcanzados en aquellas economías en las que sus gobiernos vienen desarrollando estrategias de desarrollo sostenible. Asimismo, quedó demostrado que no existe relación alguna entre las medidas tradicionales de crecimiento económico (PBI y su variación) y sostenibilidad.



Gustavo Trujillo

[gtrujillo@esan.edu.pe](mailto:gtrujillo@esan.edu.pe)

#### Historial del artículo:

Recibido: 5 de diciembre de 2013

Aprobado: 4 de abril de 2014

Disponible en línea: 30 de junio de 2014

**Palabras clave:** Desarrollo sostenible, índices sintéticos multivariantes, índices, pruebas de coherencia, distribuciones asintóticas.

<sup>1</sup> Economista, Ph.D. en Economía; docente de posgrado en la Universidad ESAN, Lima, Perú; docente de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú.

## ABSTRACT

**Objectives:** To set the methodological basis for the design of a sustainable development's global synthetic index that complies two conditions: that fits the pressure-state-response principles and that suits the four basic components or dimensions of sustainability: institutional, environmental, economic and social.

**Methods:** A synthetic index on the variables, indicators and sub-indicators set computation was constructed; these grouped in the four dimensions and then proceed to its application in Peru. According to the form, selected information and preset relationships between the elements considered significant to evaluate, we will get the keys that indicate the interpretation about the ideal of sustainability driven by its operators. **Results:** A new methodological strategy for the development of an index which collects the associated aspects of sustainable development in Peru was formulated, through the proposal of multivariate synthetic analyze. Also, it was identified that the "institutional" dimension is the weakest one. **Conclusions:** We can assume that the highest sustainability indices could be achieved in economies in which their governments are developing strategies for sustainable development. Also, it was demonstrated that there is no relationship between traditional measures of economic growth (GDP and its variation) and sustainability.

**Keywords:** Sustainable development, multivariate synthetic indices, indices, consistency tests, asymptotic distributions.

## INTRODUCCIÓN

En la teoría del crecimiento económico existen modelos de crecimiento como por ejemplo el planteado por Solow-Swan, que propone un modelo de crecimiento con tasas de ahorro exógenas; el desarrollado por Ramsey, que postula una teoría de crecimiento con optimización del consumidor; modelos de crecimiento endógeno con un único sector como el

propuesto por Cobb-Douglas; modelos de crecimiento endógeno con dos sectores (con especial hincapié en el papel del capital humano) como el impulsado por Uzawa-Lucas; modelos que incorporan cambios tecnológicos como el sostenido por Schumpeter y algunas estimaciones econométricas desarrolladas por Sala-i-Martin, Doppelhofer y Miller. Sin embargo, toda esta gama de "teorías" solo abordan al crecimiento económico y no aspectos asociados al desarrollo económico, menos aún a la reciente propuesta metodológica del desarrollo sostenible. Por ello es vital entender la importancia del desarrollo sostenible, por lo que es muy necesario evaluar la actuación de las principales variables económicas, sociales, institucionales y medioambientales, de manera que nos pueda mostrar un índice de monitoreo y/o seguimiento sobre estas cuatro dimensiones que grafican el desarrollo sostenible y se convierta en una herramienta de gestión para la formulación de políticas públicas en nuestro país.

La investigación propone diseñar un índice sintético global que cumpla la totalidad de las condiciones a las que pretenden acercarse las aproximaciones oficiales mencionadas y que presente una sistemática de análisis que, aun dentro de su complejidad, pueda aplicarse a distintos ámbitos.

El problema es que en nuestro país no existe actualmente una propuesta metodológica y de cálculo que aborde todas las facetas del desarrollo sostenible, por lo cual resulta preciso la adaptación y reformulación de las mismas para su posterior aplicación práctica y que permita realizar un análisis comparativo con otras economías. De ahí que planteamos evaluar la fiabilidad en la construcción de un indicador sintético multivariante para cuantificar el índice de desarrollo sostenible.

Un indicador sintético es aquel que está compuesto por varios indicadores parciales, cuyo objetivo es representar la realidad analizada de forma cuantitativa, sencilla y directa.

El estudio planteó las siguientes premisas:

- ¿Resulta indispensable que el índice esté relacionado con las cuatro facetas de la sostenibilidad generalmente admitidas?
- ¿Cada una de las variables debe clasificarse sobre la base del esquema adoptado por los organismos internacionales (OCDE, ONU), presión-estado-respuesta (PSR) o su variante fuerzas motrices-estado-respuesta (DSR)?
- ¿Cada variable debe adaptarse a los principios de sostenibilidad específicos recogidos en la Agenda 21?
- El índice sintético generado, así como los indicadores, subindicadores y variables de las que se compone, ¿deben adaptarse igualmente a determinados principios de coherencia? (1).

La hipótesis planteada fue, la elaboración de un índice sintético multivariante para cuantificar el índice de desarrollo sostenible, es la metodología que se ajusta lógicamente y consistentemente a los datos disponibles en las cuentas nacionales de la economía peruana.

La investigación define un denominado índice sintético de desarrollo sostenible multivariante (synthetic index multivariate sustainable development, SIMSD), que se estructura en forma piramidal; de esta forma, el referido índice se conforma a su vez de cuatro componentes o dimensiones divididas en diversos indicadores. Estos provienen del cálculo de un determinado número de subindicadores compuestos -cada uno de ellos- por una serie de variables (2).

La dificultad en el desarrollo de esta investigación fue el escaso acceso a la información estadística relevante disponible para el caso peruano, más aún cuando el objeto de estudio estuvo orientado a cuantificar un número índice para medir el grado de desarrollo sostenible.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La primera fase de cálculos se realiza sobre la base de los distintos valores observados y obtenidos para las 53 variables seleccionadas para la economía peruana (2003-2012).

En segundo lugar, se calculan los Z-score (3), es decir, los valores de la variable tipificados (estandarizados), con el fin de que resulten comparables. El cálculo se obtiene del siguiente algoritmo:

$$Zs_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_x}, \text{ si el sentido de la sostenibilidad es directo, o bien,}$$

$$Zs_i = \frac{\bar{X} - X_i}{\sigma_x}, \text{ si es inverso. En donde:}$$

$Zs_i$  = Valor de la variable.

$\bar{X}$  = Media de la distribución.

$X_i$  = Valor que alcanza la variable.

$\sigma_x$  = Desviación estándar de la distribución.

$$DSt = \sum_{k=0}^n (De + Di + Dm + Ds)$$

Especificación del modelo:

$$DSt = De + Di + Dm + Ds$$

DSt = Desarrollo sostenible.

De = Dimensión económica.

Di = Dimensión institucional.

Dm = Dimensión medioambiental.

Ds = Dimensión social.

A continuación se procede al cálculo de los valores de los percentiles 97,5 y 2,5 que se utilizan con el fin de evitar que los valores extremos distorsionen los cálculos (4). De esta forma, y en un proceso posterior, los valores máximos y mínimos se sustituyen por el valor de los percentiles respectivos

(97,5 y 2,5). Aunque es un procedimiento propio de distribuciones muy amplias (World Economic Forum, 2002) que no es el caso, con ello se corrigen los valores de las variables nulos (caso de que fuesen desconocidos o no disponibles) o que pudiesen resultar excesivamente dispersos.

Una vez generada los cálculos de las 53 variables, resulta preciso continuar con el proceso posterior de cálculo de indicadores, que se rige por las siguientes pautas: el valor de la variable tipificada se corrige para los valores alcanzados de los percentiles 97,5 y 2,5 con el fin de evitar, como hemos señalado, una amplia dispersión en los valores de la variable.

El valor de la variable tipificada de cada indicador se obtiene calculando la media simple de los Z-scores de las variables, clasificados según los subindicadores que componen cada uno de aquellos (WEF, 2002); y finalmente se transforman los valores de la variable tipificada según se obtuvieron en el apartado anterior, de forma que puedan comprenderse y compararse, para ello, el Z-score de cada indicador se convierte en el percentil normal estándar, con valor teórico comprendido entre 0 y 100. También se generan los valores de los percentiles de cada componente o dimensión para el índice sintético global - SISD (económica, institucional, medioambiental y social) mediante la media ponderada de los percentiles calculados para los indicadores (5). Por último, el valor del índice SISD se obtiene a través de la ponderación de la media de los percentiles calculados para cada una de las dimensiones o componentes del índice.

## RESULTADOS

Con el fin de efectuar un análisis de los resultados alcanzados en las tablas 1 y 2, se han analizado los valores obtenidos en las cuatro dimensiones tratadas de la sostenibilidad y en el índice sintético global (SISD), para la economía peruana.

A continuación analizamos las cuestiones

más destacables:

En la tabla 1 se aprecia los resultados estadísticos alcanzados por sectores para cada una de las dimensiones analizadas. En la tabla 2 se obtuvo un valor bajo en el SISD (1,41). De los componentes en esta

Tabla N° 1: Valores de Indicadores Z-score.

Dimensión	Indicadores	Índice
Económica	Estructura económica	1,47890471
	Consumo y producción	1,53773395
Institucional	Capacidad institucional	1,20850211
Medioambiental	Atmósfera	1,63663714
	Tierra	1,49062167
	Agua	1,21665065
	Biodiversidad	1,44830664
Social	Equidad	1,53057069
	Salud	1,5025342
	Educación	1,49366244
	Vivienda	1,57390639
	Seguridad	1,53453868
	Población	1,38907432

segunda tabla, el económico es el que arroja un mayor valor (1,508), seguido del social (1,504) y medioambiental (1,448). Frente a la evidencia empírica podemos afirmar que la sostenibilidad institucional es muy escasa (tecnología de la información, infraestructura de las comunicaciones y gasto en investigación y desarrollo), debido al proceso de unificación y a que muchas de las variables analizadas se definen en términos per cápita.

Aunque el Gobierno peruano ha tratado de poner en funcionamiento una estrategia para la sostenibilidad, la mayor debilidad de muestra política viene por el lado de las condiciones de gobernabilidad (además de las dificultades sobrevenidas por el rebrote de las actividades asociadas al terrorismo y al narcotráfico), sobre la estructura institucional del Estado que –en muchos casos por diferencias políticas (conflictos sociales)– hace imposible una coordinación indispensable y multinivel (Jänicke et al,

Tabla N° 2: Valores alcanzados por dimensiones y SISD

Dimensión	Índice
Económica	1,50831933
Institucional	1,20850211
Medioambiental	1,44805402
Social	1,50404779
SISD	1,41723081

2001) De ahí la lentitud del proceso de implementación de una estrategia global.

### Prueba de coherencia (box plot)

Desde una perspectiva netamente estadística, es preciso establecer si los resultados obtenidos son significativos y coherentes, lo que exige averiguar si los valores de los percentiles calculados para el SISD son representativos de una distribución normal multivariante estandarizada. Para ello utilizamos el programa estadístico SPSS y específicamente efectuamos los cálculos sobre un diagrama de caja (box plot). En dicho diagrama, la caja se encuentra limitada en su parte superior por el cuartil tercero, y en su parte inferior por el primero (6). La línea horizontal incluida dentro de la caja representa la mediana. Los bigotes representan los valores de la variable mayor (el superior) y menor (el inferior). Si existe alguno que diste de los límites inferior o superior de la caja menos de una vez y media el rango intercuartílico, el programa lo señala con O; y con X, si dista más de una vez y media. Realizados los cálculos para los valores alcanzados para el SISD, los resultados que se obtienen (figura 1) prueban la coherencia, bondad y representatividad del índice, al no existir al 95 % de significatividad estadística más de dos valores aislados o extremos.

La evidencia empírica para los datos de la economía peruana comprendida entre los años 2002-2013 aplicada a las cuatro dimensiones que conforman la propuesta de desarrollo sostenible, muestra que la metodología utilizada, la del análisis sintético multivariante, permite capturar las regularidades empíricas para cada una de las dimensiones analizadas, asimismo

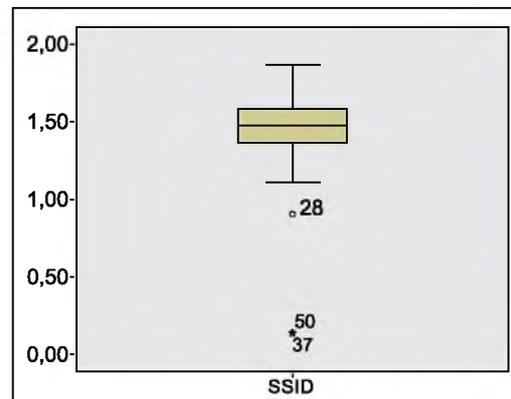


Figura N° 1: Diagrama de caja y bigotes

brinda una herramienta de modelización útil para representar fenómenos heterogéneos y complejos como lo es el desarrollo sostenible.

La principal restricción lo conforma la disponibilidad de datos (7) (con una mayor frecuencia) que permita generar funciones de densidad con un mayor grado de libertad y que se aproxime asintóticamente a una distribución normal estandarizada multivariante.

Tabla N° 3: Coeficiente de correlación entre SISD y PBI real.

Dimensiones	Componentes, indicadores y SISD	PBI real
<b>Económica</b>		
Estructura económica	1,47	-1,30
Consumo y producción	1,53	-1,16
<b>Institucional</b>		
Capacidad Institucional	1,20	-0,90
<b>Medioambiental</b>		
Atmósfera	1,63	-0,58
Tierra	1,49	-0,19
Agua	1,22	0,28
Biodiversidad	1,44	0,32
<b>Social</b>		
Equidad	1,53	0,79
Salud	1,50	1,19
Educación	1,49	1,41
Vivienda	1,57	1,58
Seguridad	1,53	-1,34
Población	1,38	1,35
<b>Coeficiente de correlación (%) estático</b>		<b>0,04668270</b>
<b>Coeficiente de correlación (%) dinámico</b>		<b>-0,24071865</b>

Además, la inclusión/exclusión de variables para cada una de las dimensiones analizadas se convierte también en una restricción al no haber un consenso generalizado sobre qué variables o tipos de variables deberían incorporarse para medir el desarrollo sostenible mediante un índice. Sin embargo, esta metodología desarrollada en esta investigación, permite la incorporación de más variables por dimensión, así como la inclusión de una frecuencia de tiempo mucho más larga, de manera que el análisis se vea más enriquecido (8).

## DISCUSIÓN

Anteriormente se hizo referencia al debate entre las medidas tradicionales del desarrollo, articuladas a través del PBI, y la necesidad de nuevos indicadores o sistemas de contabilidad que midan los niveles de sostenibilidad. El análisis empírico realizado en esta investigación, permite efectuar comparaciones estadísticas entre los valores del SISD, sus componentes y los indicadores que forman cada uno de estos con el PBI real en los últimos años (9). El procedimiento resulta sencillo y para ese fin se han comparado los valores alcanzados en el supuesto empírico planteado, con las cifras del PBI real. De esta manera se analiza si existe una relación directa o inversa entre sostenibilidad y PBI real de forma estática (a través del valor actual del mismo) o dinámica (en función de las oscilaciones del PBI real). Para comparar dichas variables se ha calculado un coeficiente de correlación lineal. Se dan por reproducidas las fórmulas matemáticas del coeficiente de correlación, ampliamente conocidas. Los valores obtenidos se incluyen en la tabla 3. En primer lugar, la correlación entre los valores del SISD y del PBI es bajísima: 0,046 (estática) y -0,240 (dinámica). Si se relaciona el índice sintético con las variaciones del PBI real en los últimos diez años, resulta inversa (-0,240). Se deduce que la sostenibilidad y el PBI no tienen, en principio, relación sino todo lo contrario: a medida que este aumenta, el desarrollo sostenible es menor. En consecuencia, debe destacarse el hecho de que a través del

análisis efectuado, no existe justificación alguna que permita asegurar que niveles de renta altos o variaciones positivas de la misma sean sinónimo de desarrollo sostenible sino todo lo contrario. Ambos sistemas de medición, por lo tanto, llevan a resultados inversos (10).

Podemos concluir que en la presente investigación se ha realizado la medición del desarrollo sostenible mediante índices sintéticos multivariantes. Con dichos antecedentes se ha diseñado un índice sintético global que resulta útil y adecuado para medir la sostenibilidad en distintos ámbitos espaciales. Así, a través de la metodología diseñada se ha procedido a aplicar dicho índice sintético para comparar el grado de desarrollo sostenible en el Perú, encontrando evidencia empírica que descarta correlación alguna entre desarrollo sostenible y crecimiento económico.

Los resultados alcanzados admiten las pruebas de coherencia a las que se han sometido. En particular, debe destacarse el bajísimo nivel de sostenibilidad que presenta nuestro país, especialmente en la escasísima capacidad institucional para dicho desarrollo, lo que sin duda es la consecuencia de la inexistencia de políticas de planificación a mediano y largo plazo en el Perú.

Se deduce entonces que los mayores índices de sostenibilidad podrían ser alcanzados en aquellas economías y países en los que sus gobiernos vienen desarrollando estrategias de desarrollo sostenible. Asimismo queda demostrado que no existe relación entre las medidas tradicionales de crecimiento económico (PIB y su variación) y la sostenibilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adriaanse A. Environmental Policy Performance Indicators. 2ª ed. SDV Publishers: The Hague; 1993.
2. Bakkes JA, Born GJ, Helder JC, Swart

- RJ, Hope CW, Parker JDE. An Overview of Environmental Indicators: State of the Art and Perspectives. 1<sup>ª</sup> ed. UNEP/Earthprint: Nairobi; 1994.
3. Bergh van den J. Ecological Economics and Sustainable Development: Theory, Methods and Applications. 1<sup>ª</sup> ed. Reino Unido: Edward Elgar Publishing Cheltenham; 1996.
  4. Bossel H. Indicators for Sustainable development: Theory, Method, Applications. A Report to the Balaton Group. 1<sup>ª</sup> ed. Canada: International Institute for Sustainable Development; 1999.
  5. Braun-Blanquet J. Plant Sociology. The study of plant communities. 2<sup>ª</sup> ed. New York: Hafner Publishing Company; 1972.
  6. Chevalier S, Choiniere R, Bernier L, Sauvageau Y, Masson I, Cadieux E. User Guide to 40 Community Health Indicators. 1<sup>ª</sup> ed. Ottawa: Health and Welfare Canada; 1992.
  7. Coen Anitüa A. De sostenible y sustentable. Correo del Maestro [Internet]. 2006 Enero [Citado el 10 de noviembre de 2013]; (116): [1 pantalla]. Disponible en: <http://correodelmaestro.com>
  8. Dever GE. Community Health Analysis. 1<sup>ª</sup> ed. Marytown: Aspen Systems Corporation; 1979.
  9. Division for Sustainable Development. Global Trends and Status of Indicators of Sustainable Development. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs; 2006; DESA/DSD/2006/2.
  10. Gallopín G. Impoverishment and Sustainable Development: A Systems Approach. 1<sup>ª</sup> ed. Canada: International Institute for Sustainable Development; 1994.