Desarrollo de un índice de sostenibilidad ambiental, a partir de indicadores físico-biológicos, como herramienta de gestión ambiental municipal para Guatemala

Héctor Obdulio Alvarado Quiroa

Candidato a Doctor de Programa DOCINADE –UNED–

Profesor de la División de Ciencia y Tecnología

Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola

M. Sc. en Administración de Tierras para el Desarrollo Sostenible

hectoralvarado@cytcunoc.org

Centro Universitario de Occidente CUNOC

Universidad de San Carlos de Guatemala

Freddy Araya Rodríguez

Profesor/Investigador, Instituto Tecnológico de Costa Rica

faraya@itcr.ac.cr

Fecha de recepción: 15/06/2015

Fecha de aceptación: 12/08/2015

Resumen

En Guatemala a partir de los años ochenta, se desarrolló un marco legal e institucional en el tema ambiental, pero a pesar de ello la degradación de éste y el deterioro de los recursos naturales se han convertido en un foco crítico y hasta el momento no se cuenta con indicadores propios, que permitan comparar la sostenibilidad ambiental a nivel municipal. Existen índices globales, sin embargo estos presentan inconvenientes al momento de utilizarlos a nivel municipal, ya que la escala es a nivel de país y necesitan de un gran número de variables, muchas de las cuales no se tiene información. Con la presente investigación se desarrolló un índice de sostenibilidad ambiental que permite comparar el estado del ambiente a nivel municipal, el cual se validó por medio de herramientas participativas y estadísticas con la finalidad que el mismo pueda aplicarse a nivel nacional. El índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT) quedó conformado por siete indicadores con su respectiva ponderación, a través del siguiente modelo: $ISAGT = ICUT \text{ (conflicto de uso del territorio)} \times 0.14 + ICAS \text{ (calidad de agua superficial)} \times 0.12 + IGR \text{ (gestión de residuos)} \times 0.14 + ICF \text{ (cobertura forestal)} \times 0.15 + ICAP \text{ (cobertura áreas protegidas)} \times 0.21 + IPFEAP \text{ (presencia flora endémica)} \times 0.15 + IEVAP \text{ (estado evolutivo de las áreas protegidas)} \times 0.09$.

Palabras clave

Indicadores ambientales en Guatemala, estado ambiental en Guatemala, sostenibilidad ambiental a nivel municipal, deterioro ambiental en Guatemala.

Abstract

In Guatemala starting in the eighties, a legal and institutional framework on environmental issues was developed, but nevertheless the degradation and deterioration of natural resources have become critical, and so far, no proprietary indicators have been created to compare the environmental sustainability at the municipal level. There are global indices, but these have drawbacks when used at the municipal level, since the scale is at the country level and need a large number of variables, many of which there is no information about. With this research, an environmental sustainability index for comparing the state of the environment at the municipal level was developed; this was validated through participatory tools and statistics in order for it be implemented at a national level. The Environmental Sustainability Index (ISAGT) was constructed of seven indicators with their respective weights through the following model: $ISAGT = ICUT \text{ (conflict of land use)} \times 0.14 + ICAS \text{ (surface water quality)} \times 0.12 + IGR \text{ (waste management)} \times 0.14 + ICF \text{ (forest cover)} \times 0.15 + ICAP \text{ (protected area coverage)} \times 0.21 + IPFEAP \text{ (endemic flora presence)} \times 0.15 + IEVAP \text{ (evolutionary status of protected areas)} \times 0.09$.

Keywords

Environmental Indicators in Guatemala, Guatemala environmental status, environmental sustainability at the municipal level, environmental deterioration in Guatemala.

1. Introducción

Con el surgimiento del paradigma “desarrollo sostenible” a finales de los años ochenta, se perfiló a nivel mundial una visión integral sobre el desarrollo socioeconómico y su compatibilidad con el medio ambiente, brindando nuevas perspectivas para realizar análisis temporales de largo plazo, considerando las interrelaciones complejas entre los elementos físicos, biológicos, sociales, culturales, económicos y políticos, dentro de espacios territoriales específicos. Desde esta perspectiva, se han desarrollado trabajos en donde la gestión ambiental territorial, surge como una estrategia básica para lograr el desarrollo sostenible, entendiéndolo en términos de planeación físico-espacial, que tiene como fin combatir las causas estructurales de la pobreza y marginación, a través del uso adecuado de los recursos naturales, la localización apropiada de las actividades productivas, la infraestructura, el equipamiento urbano y los servicios; optimizando el aprovechamiento de cada territorio (Massiris Cabeza, 2002).

Los indicadores de sostenibilidad ambiental, son herramientas que constituyen un sistema de señales que permiten evaluar el progreso de los países hacia el desarrollo sostenible (Segnestam, 2000). Además los indicadores son importantes para definir el uso sostenible y el manejo de los recursos naturales ya que pueden orientar la formulación de políticas al proporcionar una valiosa información acerca del estado actual, la intensidad y dirección de los posibles cambios, subrayando además los temas primarios (Quiroa, 2009).

El desarrollo de indicadores de sostenibilidad ambiental como los de desarrollo sostenible, se inicia a finales de los años ochenta en Canadá y en algunos países de Europa. Un impulso más fuerte se derivó de la Cumbre de la Tierra, ya que para poder controlar el cumplimiento de la Agenda 21 (United Nations, 1992), la Conferencia de Río creó la Comisión

de Desarrollo Sostenible (CDS), con el mandato de monitorear el progreso de los países hacia el desarrollo sostenible, por lo que se evidencia la necesidad de contar con instrumentos para medir el avance hacia la sostenibilidad. Después de la Declaración de Río, la CDS reiteró la necesidad de generar conjuntos de indicadores de monitoreo, por lo que en 1995 aprobó el programa de trabajo que tuvo como finalidad la generación de un listado de indicadores consensuados a nivel internacional; producto de ello se presentó el documento *Indicadores de Desarrollo Sostenible Marco y Metodologías en 1996* (Schuschny & Soto, 2009).

Al analizar estos índices globales desarrollados hasta la fecha, tales como el Environmental Performance Index, (EPI), de la Universidad de Yale (Yale University, 2010); la Huella Ecológica (Wackernagel & Rees, 2001); o Living Planet Index (LPI), elaborado por el Fondo Mundial para la Naturaleza (Loh, *et al.*, 2005), presentan algunos inconvenientes al momento de utilizarlos a nivel local, pero especialmente a nivel municipal; entre estos están que su aplicación es de carácter global, la escala es a nivel de país y necesitan de un gran número de variables, de muchas de las cuales no se tiene información a nivel municipal.

Por otro lado, en la década de los años 80 se desarrolla en Guatemala un marco de leyes en el tema ambiental, entre ellas: la aprobación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Congreso de la República de Guatemala, 1986), en la cual se crea la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA); la Ley de Áreas Protegidas (Decreto No. 4-89 Congreso de la República de Guatemala) y la creación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP). Este proceso continúa en 1996 con la aprobación de la Ley Forestal (Decreto No. 101-96 Congreso de la República de Guatemala) y la creación del Instituto Nacional de Bosques (INAB). Y fi-

nalmente, en el 2000 se crea el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (Decreto No 90-2000 Congreso de la República de Guatemala), como resultado de la fusión de CONAMA y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Presidencia de la República.

Pero a pesar de este marco legal e institucional, en Guatemala la degradación ambiental y el deterioro de los recursos naturales se ha convertido en un foco crítico, porque no se le ha dado la importancia debida. En la décimo cuarta cumbre de la ONU sobre cambio climático y medio ambiente, que se realizó en Copenhague (COP14) en noviembre de 2009, se dio a conocer el documento: *Evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres* en el cual se sitúa a Guatemala entre los diez países con la más alta vulnerabilidad ambiental del planeta. Entre estos diez países, Guatemala ocupa el cuarto lugar en cuanto a la mayor vulnerabilidad a las inundaciones y deslaves (Harmeling & Eckstein, 2012). A pesar de ello, en la actualidad no se cuenta con instrumentos que sirvan para monitorear y explicar la sostenibilidad ambiental, la gestión de los recursos y la calidad ambiental; la cultura y gestión ambiental no ha permeado los espacios de planeación y ordenamiento territorial, para garantizar la inserción del paradigma del desarrollo sostenible en las políticas públicas del país.

A nivel nacional, en las últimas décadas se han desarrollado estudios que contienen información valiosa sobre el estado de los recursos naturales y la situación ambiental. Tal es el caso de la Universidad Rafael Landívar de Guatemala, que a través de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas y el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) y del Instituto de Incidencia Ambiental (IIA), ha publicado el Perfil Ambiental de Guatemala; este se ha editado en cuatro ocasiones: 1984 (Universidad Rafael Landívar, IARNA, 1984), 2004 (Universidad Rafael Landívar,

IARNA, 2004), 2006 (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2006) y, el más reciente, 2008-2009 (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2009). A pesar de la información valiosa que contienen, el inconveniente de estos informes es que presentan las variables e indicadores a manera de inventario, lo que no permite realizar comparaciones entre municipios, sino debe hacerse indicador por indicador, tampoco permiten la relación entre indicadores, que admitan generar nueva información.

Por todo ello, el propósito de la presente investigación es el de desarrollar un índice de sostenibilidad ambiental propio para Guatemala, que permita combinar distintas fuentes de información en un solo valor (unidimensional), esto a través de desarrollar una serie de indicadores físicobiológicos, que revelen condiciones y tendencias ambientales, y que permita comparar el estado del ambiente a nivel municipal.

2. Metodología

Las etapas metodológicas que se siguieron para el logro de los objetivos del presente trabajo de investigación, son una modificación de las propuestas por Schuschny & Soto (2009) y Quiroa (2009), las que para su validación se combinaron técnicas participativas y estadísticas, siendo estas:

- Revisión del contexto institucional, la pertinencia nacional y la experiencia internacional en la elaboración de índices ambientales.
- Revisión del marco conceptual y enfoques metodológicos propios acerca de Indicadores de sostenibilidad ambiental para Guatemala.
- Selección preliminar de indicadores y sus respectivas variables.
- Selección y ponderación de variables e indicadores, a través del método Delphi (Astigarraga, 2000).

- Normalización de variables e indicadores.
- Agregación de las variables de cada indicador.
- Análisis de sensibilidad de los indicadores e índice.
- Ecuación de síntesis del Índice de sostenibilidad ambiental.

2.1 Revisión del contexto

La primera etapa consistió en la revisión del marco institucional y del contexto nacional, que incluyó un examen de las políticas existentes en el país, también se recabó información sobre los usuarios actuales y potenciales de los indicadores ambientales y sus necesidades. Posteriormente se realizó una revisión de las experiencias internacionales en la elaboración de metodologías de indicadores de sostenibilidad ambiental, incluyendo países desarrollados y de América Latina y el Caribe, con el propósito de conocer cuáles son sus avances. Esta revisión también incluyó lo que están haciendo las agencias especializadas del sistema de Naciones Unidas, en este caso particularmente la Oficina Regional del PNUMA y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (Isa, *et al.*, 2005).

2.2. Revisión y construcción del marco conceptual y enfoques metodológicos

De acuerdo al modelo desarrollado por la Organization for Economic Cooperation and Development, OECD, (1993) PRESIÓN-ESTADO-RESPUESTA, el desarrollo de los indicadores físico biológicos y la estimación del índice de sostenibilidad ambiental de la presente investigación, se realizó analizando únicamente el ESTADO del ambiente, no así la PRESIÓN y RESPUESTA, bajo el criterio que las actividades humanas (PRESIÓN), se verán reflejadas en el ambiente actual (ESTADO) y a través de estimar el índice de sostenibilidad ambiental, se genere información, que sirva de base para

la toma de decisiones en los sistemas socioeconómicos y ambientales (RESPUESTA).

Si se considera la categorización de los indicadores compuestos, realizado por Schuschny & Soto (2009), la presente propuesta se enmarca dentro de la clasificación de indicadores sinópticos, es decir que proveen una mirada contextual a una cuestión inherentemente compleja. Se construyen a partir de la agregación ponderada bajo cierto criterio, de la información que se considera relevante sobre el tema a describir. Los indicadores compuestos del tipo sinóptico buscan resumir la información de un conjunto de variables o indicadores de interés en un solo índice, que si bien es interpretable de modo comparativo entre períodos o entre casos de estudio, no tienen una interpretación en términos de una unidad de medida, como lo tienen los índices basados en criterios contables, cuyo valor se puede asociar directamente a una medida ya sea de tipo monetario o de cualquier otro.

2.3 Selección preliminar de indicadores y sus respectivas variables

Se realizó una revisión exhaustiva de los indicadores de desarrollo sostenible propuestos por organismos internacionales y nacionales. La revisión de las propuestas de los organismos internacionales incluyó: Los identificados en el marco de la Comisión de Desarrollo Sostenible: (United Nations DESA, 2007); Los objetivos del Milenio, que aunque no están asociados particularmente al Desarrollo Sostenible, sí incluyen muchos indicadores que pueden considerarse relativos al tema, particularmente los de la Meta 7, correspondiente a la sostenibilidad (Naciones Unidas, 2005); La base de datos de estadísticas e indicadores ambientales (BADEIMA), que mantiene la División de Estadística y Proyecciones económicas de la Comisión Económica para América Latina, CEPAL (BADEIMA/CEPAL 2008) y los Indicadores propuestos por la Iniciativa Latino Americana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible, ILAC (ILAC, 2008).

A nivel nacional: El Perfil Ambiental de Guatemala 2006, de la Universidad Rafael Landívar; IARNA: reflexiones sobre la gestión ambiental (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2006) y el Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009, de la Universidad Rafael Landívar; IARNA: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo (Universidad Rafael Landívar IARNA, 2009).

En esta etapa se realizó una selección preliminar de 19 indicadores (10 físicos y 9 biológicos), tomando como criterio de que exista la disponibilidad de información a nivel municipal y la pertinencia de los mismos.

2.4 Selección y ponderación de variables e indicadores

De acuerdo a Schuschny & Soto, (2009), paralelamente a las técnicas de selección y ponderación basadas en criterios estadísticos y/o matemáticos, existe la posibilidad de establecer el peso relativo de cada variable en el indicador sintético a partir de metodologías de índole participativa en las que se consulta la opinión de expertos que contribuyen con su conocimiento, priorizando algunas variables por sobre otras. La ventaja de estas metodologías, es que eluden la acusación de manipulación que suele imputárseles a las técnicas sofisticadas, a la vez que le otorgan legitimidad: *"En la medida en que el conjunto de expertos seleccionado refleje la diversidad de ramas del conocimiento y las posibles áreas de experiencia, el indicador compuesto contará con mayor consenso al momento de su comunicación, y por lo tanto, se transformará en una herramienta válida y eficaz para influenciar la aplicación de políticas en pro del mejoramiento del contexto al que se refiere el indicador"*.

Por lo tanto, para evitar la subjetividad en la estimación del índice de sostenibilidad ambiental, especialmente en la selección de las variables e indicadores, así como su ponderación, se recurrió a la consulta de expertos

utilizando la metodología Delphi. Por lo tanto, la capacidad de predicción de Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos (Astigarraga, 2000). Los pasos para ello son los siguientes:

a. Formulación de problema, diseño y envío de cuestionarios a expertos

En esta actividad se proveyó a los expertos de información sobre el contexto, los objetivos y el diseño de la presente investigación. Se consideraron además, las hipótesis y las preguntas de investigación planteadas. Así mismo se incluyó el listado preliminar de indicadores con sus respectivas variables, las que fueron identificadas en la etapa anterior, para su respectiva priorización. Los cuestionarios se elaboraron con mecanismos que redujeran los sesgos en las respuestas, construyéndose preguntas claras, precisas e independientes, tanto cuantitativas (para calcular medias y rangos) como cualitativas (para la justificación de sus opiniones). El cuestionario Delphi fue construido con una escala tipo Likert (García & Suárez, 2013), en donde 1 es equivalente a totalmente en desacuerdo y 5 a totalmente de acuerdo.

b. Selección de expertos

De acuerdo a Astigarraga (2000), el experto es "aquel individuo cuya situación y capacidades personales lo posibiliten contribuir positivamente a la consecución del fin que ha motivado la iniciación del trabajo y que pueda a su vez aportar una perspectiva relevante a la investigación". La selección de expertos se hizo bajo los siguientes criterios: profesionales con experiencia en el tema ambiental, con preparación académica preferiblemente con el grado de maestría o doctorado y con reconocida competencia que garantice la confiabilidad de los resultados. Respecto al número de expertos considerados, Ortega (2008) razona que un grupo de 7 a 15 expertos puede ser metodológicamente fiable, ya que a partir de este

número se “disminuye el espacio intercuartil precisando la mediana”. Se seleccionaron 11 grupos de expertos (un grupo por cada uno de los indicadores seleccionados preliminarmente). Cada grupo de expertos conformó entre 10 y 12 integrantes.

c. Vaciado y análisis estadístico de la información

Después de recibidos los cuestionarios con sus respectivas respuestas, se procedió a vaciar la información en el programa Excel. Los estadísticos que se emplearon en esta etapa fueron medidas de tendencia central y dispersión: media, mediana, moda, máximo y mínimo y desviación típica. Esta etapa tuvo como propósito hacer una segunda selección de los indicadores y de la ponderación de las variables que constituyen cada uno de ellos. El criterio utilizado para este propósito, después de realizado el análisis estadístico descriptivo de cada grupo de expertos, fue el de utilizar la zona de amplio consenso, en torno a la media de la muestra. Es decir, aquella en las que en las respuestas del grupo de expertos, la desviación típica fuera menor de 0.85.

2.5 Normalización de variables e indicadores

Para la construcción de indicadores compuestos, debido a que muchas de las variables seleccionadas están expresadas nominalmente en diferentes unidades físicas, para proceder a agregarlas es necesario normalizarlas para evitar la congregación de variables de unidades de medida distintas y la aparición de fenómenos dependientes de escala. Por lo que la estandarización tiene como objeto salvar el problema derivado de las distintas unidades de medida y la forma funcional de los indicadores (Castro Bonaño, 2009).

Para el caso de la presente investigación, para la normalización de las variables que constituyen cada indicador se utilizó la técnica de la “Estandarización (z-score)”. Dado que para

cada variable se puede calcular la media y la desviación estándar, medida sobre la población de unidades de análisis, es posible estandarizar la variable, calculando el valor estandarizado, llamado también valor “z” (ó z-score), como:

$$y_t^i = \frac{x_t^i - \bar{x}_t}{\sigma_t^x}$$

Para cada unidad de análisis i , el valor obtenido representa la distancia entre el valor de la variable y la media poblacional, expresada en unidades de desviación estándar. Es importante destacar, que el cálculo de este indicador requiere estimar la media y desviación estándar poblacional, y no la de la muestra. La ventaja de esta representación es que, los valores de cada unidad de análisis quedan estandarizados con respecto de una misma distribución; así mismo, dado que la media que proviene de las transformaciones es cero, se evita cuando se agregan las variables, la presencia de distorsiones debidas a las diferencias entre las medias de los indicadores (Schuschny & Soto, 2009).

2.6 Agregación de las variables de cada indicador

Después de la selección de los indicadores, así como la ponderación de sus respectivas variables, se procedió a recabar información de campo (a través de un estudio de caso), para cada uno de los indicadores seleccionados en la etapa anterior, con el propósito de hacer una nueva selección, respetando no solo los criterios conceptuales generados por el grupo de expertos, sino también considerando los estadísticos, para reducir la subjetividad. El procedimiento que se utilizó para este fin, es el propuesto por Schuschny & Soto (2009), que es la suma de “Rankings”, que es el método más simple de agregación de toda la información, que consiste en sumar, para cada unidad de análisis, el orden o rankings que posee cada una de las “p” variables, en relación con el resto de las unidades de análisis, esto es:

$$I_t^j = \sum_{i=1}^p \text{Ranking } y^i t^j \quad \forall 1 \leq j \leq N \text{ municipio}$$

La ecuación de síntesis para estimar el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT), se realizó a través de analizar la definición e interpretación del valor teórico; este valor se define como una combinación lineal de la realización de las variables aleatorias (X_j) con su respectiva ponderación (w_j), determinadas empíricamente por la técnica multivariante específica (Castro Bonaño, 2009):

Valor teórico: $w_1X_1 + w_2X_2 + \dots + w_jX_j$

2.7 Análisis de sensibilidad de variables e indicadores

Tuvo como propósito la validación final, la cual consiste en determinar si pequeñas variaciones en las variables contenidas en los indicadores, conducen efectivamente a pequeñas variaciones en el valor del indicador compuesto. El análisis de sensibilidad se realizó a partir del uso de la varianza. El empleo de una metodología de estimación de la sensibilidad frente a cambios basada en el uso de la varianza tiene la ventaja de que puede ser utilizada aun cuando la representación sea no lineal (aunque estable en el sentido de que las perturbaciones no se amplifican); además, siendo de fácil interpretación, nos permite distinguir los principales factores que afectan la sensibilidad del indicador.

Las dos variables de salida consideradas en el análisis de sensibilidad serán: $\text{Ranking } (I_i)$ y/o $\bar{R}_s$. Se rotulará como Y a cualquiera de ellas. Para calcular la varianza asociada a la sensibilidad frente a cambios en el factor: X_k se considera su contribución a la varianza de la variable de salida: Y producto de la incertidumbre de X_k . Esto puede expresarse como:

$$V_k = V_{x_k}(E_{x-k}(y | x_k))$$

La varianza condicional $V_{x_2x_3}(E_{x_1}(Y | x_2, x_3))$, puede escribirse en términos genéricos como: $V_{x-k}(E_{x-k}(Y | x_k))$ y expresa la contribución total a la varianza de Y debido a los factores distintos de X_k , por lo que $V(Y) - V_{x-k}(E_{x-k}(Y | x_k))$ involucra la variabilidad (de primer orden) debida al factor X_k . El índice de sensibilidad puede escribirse como:

$$S_{T_k} = \frac{V(Y) - V_{x-k}(E_{x-k}(y | x_k))}{V(Y)} = \frac{E_{x-k}(V_{xk}(y | x_k))}{V(Y)}$$

Toda diferencia sustantiva entre S_{T_k} y el índice de sensibilidad a primer orden: S_k indicaría que la interacción entre factores es relevante (Schuschny & Soto, 2009).

3. Resultados

Luego de la validación, el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT) quedó conformado por ocho indicadores del tipo estado, agrupados en tres indicadores del subsistema físico: 1) Indicador de la conflictividad de uso del territorio (ICUT); 2) Indicador de la calidad de agua superficial (ICAS); 3) Indicador de gestión de residuos (IGR). Y cinco del subsistema biótico: 1) Cobertura forestal, 2) Extensión de las áreas protegidas, 3) Presencia de flora endémica en el área protegida, 4) Producción de servicios ambientales de las áreas protegidas, y 5) Estado evolutivo del área protegida.

Para la valoración de cada indicador, se construyó una escala tipo Likert (García & Suárez, 2013) a los que se les asignó valores, los cuales se encuentran entre un rango de 1 a 5 y que permite establecer calificativos de muy bajo, bajo, medio alto y muy alto potencial del indicador. Debido a que no todos los indicadores tienen la misma influencia dentro de la valoración, se asignaron coeficientes de ponderación a cada uno de ellos.

3.1 Desarrollo del indicador conflicto de uso del territorio (ICUT)

3.1.1 Definición del indicador

El indicador de la intensidad de uso del territorio, se define como la determinación y cuantificación de la extensión y distribución geográfica, en un período de tiempo determinado, de la idoneidad del uso del territorio de acuerdo a su uso potencial. Este indicador mide la tendencia de transformación de un tipo de uso del territorio hacia su uso óptimo, proveyendo información sobre el estado real de la aplicación de políticas de ordenamiento territorial (Gómez, 2008).

El indicador de Intensidad de Uso del Territorio se basa en el análisis biofísico realizado mediante las variables uso actual del territorio y capacidad de uso, determinando las divergencias entre el uso potencial de un territorio (basado en su aptitud y vocación natural) que puede ser practicado sin riesgo de deteriorar el suelo, y el uso que se hace del territorio en cuestión. Para evaluar los conflictos de uso de la tierra se realizó un análisis de acuerdo a la metodología del INAB (Instituto Nacional de Bosques, 2000).

Para la elaboración de las unidades de mapeo del indicador del conflicto de uso del territorio (ICUT), se realizó un análisis comparativo del potencial de uso (especialmente capacidad de uso agropecuario), las áreas con declaratoria de protegidas y con el uso actual de la tierra; para lo cual se realizó una clasificación cruzada de los tres mapas correspondientes para cada unidad de mapeo, determinando todas las combinaciones existentes de las unidades de capacidad con las unidades de uso. Para ello se utilizaron las capas generadas a nivel nacional por el IGN (Instituto Geográfico Nacional), con la ayuda del programa ArcGis 9.1. Las unidades de mapeo generadas se clasificaron y definieron como sin conflicto de uso, conflicto de uso por sobre uso y conflicto de uso por sub-uso (Alvarado, 2010).

3.1.2 Criterios de ponderación del indicador de conflicto de uso del territorio (ICUT)

Después de realizada la consulta a expertos utilizando la metodología Delphi, la ponderación de cada una de las unidades de mapeo y el criterio de ponderación, se presenta en el cuadro 1:

Cuadro 1
Criterios de ponderación del indicador de conflicto de uso del territorio (ICUT)

Conflicto de uso	Ponderación	Criterio de ponderación
CONFLICTO POR SOBRE USO: Equivale a la exclusión de la capacidad de acogida o a una actividad inaceptable bajo cualquier circunstancia. Calificación dada a las tierras en donde el uso actual dominante es más intenso, en comparación con la vocación de uso principal natural asignado a las tierras, de acuerdo con sus características agroecológicas.	1	75% a 100% del territorio bajo esta categoría
	2	30% a 74% del territorio bajo esta categoría
CONFLICTO POR SUB USO: Calificación dada a las tierras donde el uso dominante corresponde a un nivel inferior de intensidad de uso, si se compara con la vocación de uso principal o la de los usos compatibles.	3	30% a 100% del territorio bajo esta categoría
SIN CONFLICTO DE USO: El uso dominante guarda correspondencia con la vocación de uso principal o con un uso compatible. El uso actual no causa deterioro ambiental, lo cual permite mantener actividades adecuadas y concordantes con la capacidad productiva natural de las tierras.	4	30% a 74% del territorio bajo esta categoría
	5	75% a 100% del territorio bajo esta categoría

Fuente: elaboración propia, 2014.

3.2 Desarrollo del indicador de calidad de agua superficial (ICAS)

3.2.1 Definición del indicador

Un indicador de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja, de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. Se entiende por calidad natural del agua, al conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua en su estado natural en los ríos, lagos, manantiales, en el subsuelo, etc. (Fermández, et al., 2005).

3.2.2 Criterios de ponderación de las variables de la calidad de agua superficial (ICAS)

Para la determinación del indicador de calidad de agua, en la presente investigación, se adoptó y adaptó la metodología que proponen Brown, et al. (1970), la cual es una versión modificada del "WQI" (Water Quality Index) desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU (NSF). Esta metodología considera nueve variables, con sus respectivos coeficientes de ponderación, lo que indica la importancia que tiene cada uno de estos parámetros en la definición de indicador. Las variables con su respectiva ponderación se presentan en el cuadro 2.

3.2.3 Ecuación de síntesis para estimar el indicador de calidad de agua superficial (ICAS)

El indicador de Calidad de Agua (ICA), es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua que existen y utiliza un promedio aritmético ponderado (Brown, et al., 1970):

En donde:

$$ICAS = \sum_{i=1}^n q_i w_i$$

ICAS = Indicador de calidad de agua superficial

N = Número de variables

q_i = Escala de calidad (subíndice) del parámetro i

w_i = factor de ponderación de la variable i

La ecuación de síntesis desarrollada para estimar el indicador de calidad de agua superficial, se determina de la siguiente manera:

$$ICAS = (WCf \cdot Cf) + (WpH \cdot pH) + (WBO \cdot DBO) + (WN \cdot N) + (WF \cdot F) + (WT \cdot T) + (WTu \cdot Tu) + (WSdt \cdot Sdt) + (WOD \cdot OD)$$

En donde:

ICAS = Indicador calidad de agua superficial

W = Ponderación de cada variable

Cf = Coliformes totales

pH = pH

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno

N = Nitratos

F = Fosfatos

T = Temperatura

Tu = Turbidez

Sdt = Sólidos disueltos totales

OD = Oxígeno disuelto

Para el cálculo del indicador de calidad de agua superficial (ICAS), los valores de cada variable adquiridos del laboratorio (con sus dimensionales de medida) se multiplican por el valor de q_i que es la escala de calidad del parámetro i (valor de las tablas de ajuste polinómico) y luego se multiplican por el peso de cada variable (ver cuadro 2), para obtener el valor total.

Cuadro 2
Ponderación de cada una de las variables para estimar el indicador
de la calidad de agua superficial (ICAS)

Variables	Ponderación (%)	Valor de la variable	Unidad de medida	Valor de q_1	Total
Coliformes totales	15		Colonias/100mL		
pH	12		Unidades		
DBO	10		mg/L		
Nitratos	10		mg/L		
Fosfatos	10		mg/L		
Temperatura	10		°C		
Turbidez	08		FTU		
Sólidos disueltos totales	08		mg/L		
Oxígeno disuelto	18		% saturación		
Valor Indicador Calidad de Agua				Σ	

Fuente: Índice Calidad de Agua de la National Sanitation Foundation NSF WQI (Brown, R. 1970).

3.2.4 Interpretación de los resultados del indicador de la calidad de agua superficial (ICAS)

El indicador de calidad de agua de fuentes superficiales adopta, para condiciones óptimas, un valor máximo determinado de 100, el cual va disminuyendo con el aumento de la conta-

minación del agua en estudio. Posteriormente al cálculo del indicador de calidad de agua, y para poder utilizar esta información en la ecuación de síntesis del índice ambiental, se le asignó a la misma una ponderación en escala tipo Likert (García & Suárez, 2013), es decir entre uno y cinco, tal y como se observa en el cuadro 3:

Cuadro 3
Clasificación del Indicador de Calidad de Agua Superficial (ICAS)
y su respectiva ponderación

Calidad del agua	Valor calidad de agua	Ponderación escala Likert
Muy mala	0 a 25	1
Mala	26 a 50	2
Media	51 a 70	3
Buena	71 a 90	4
Excelente	91 a 100	5

Fuente: Elaboración propia con información del Índice Calidad de Agua (Brown, R. 1970).

3.3 Desarrollo del indicador de gestión de residuos (IGR)

3.3.1 Definición del indicador

Colomer & Gallardo (2007), definen a los residuos como *"cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes, cuyo generador descarta, porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó"*. Así mismo los mismos autores definen a la gestión de residuos como: *"el conjunto articulado e interrelacionado de acciones de política, normativas, operativas, financieras, administrativas, sociales, educativas, de seguimiento y monitoreo, desde la prevención de la generación hasta*

la disposición final de los residuos, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad".

3.3.2 Criterios de ponderación de las variables del indicador gestión de residuos (IGR)

El criterio para la estimación de este indicador, se hizo en función del nivel de eficiencia en el manejo y disposición de los desechos sólidos, la producción per cápita de basura y el nivel de eficiencia en el tratamiento de aguas residuales a nivel municipal. Los criterios que se utilizaron para la ponderación de este indicador se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4
Criterios para la valoración del indicador de gestión de residuos (IGR)

Variable	Ponderación	Tipo de tratamiento	Eficiencia	Valor
Tratamiento Aguas Superficiales	50%	Sin tratamiento	0	1
		Tratamiento primario (fosa séptica)	35%	2
		Tanque Imhof	50%	3
		Pre tratamiento (canal de rejillas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof	70%	4
		Pre tratamiento (canal de rejillas para separar sólidos gruesos + desarenador + atrapa grasas) + Tanque Imhof + Sistema de aireación extendida	90 al 100%	5
Disposición y manejo de desechos sólidos	40%	Basureros al aire libre (basureros clandestinos) o baja eficiencia y cobertura en el sistema de recolección	0 %	1
		Sistema de recolección y disposición en basurero al aire libre	30 %	2
		Sistema de recolección y relleno sanitario	50 %	3
		Sistema de recolección + clasificación + relleno sanitario	75 %	4
		Sistema de recolección + clasificación + compostaje+ relleno sanitario + Sistema de tratamiento de lixiviados	80 – 100 %	5
Producción per cápita de desechos sólidos (kg/hab/día)	10%	> 1.0		1
		0.91 – 1.0		2
		0.81 – 0.9		3
		0.51 – 0.8		4
		< 0.5		5

Fuente: Elaboración propia 2015.

3.3.3 Ecuación de síntesis para estimar el indicador de gestión de residuos (IGR)

Por lo tanto de acuerdo a los criterios de ponderación, la ecuación de síntesis para estimar el indicador de gestión de residuos es:

$$\text{IGR} = \text{tas} (W_{\text{tas}}) + \text{mds} (W_{\text{mds}}) + \text{ppds} (W_{\text{ppds}})$$

En donde:

IGR	=	Indicador de gestión de residuos
W	=	Ponderación de cada variable
tas	=	Tratamiento de aguas superficiales
mds	=	Manejo de desechos sólidos
ppds	=	Producción per cápita de desechos sólidos (kg/Hab/día)

3.4. Desarrollo del indicador del subsistema biológico (ISB)

3.4.1 Definición del indicador

La estimación de este indicador se hace en función al potencial que la cobertura forestal y la cobertura de las áreas protegidas reportadas en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP) y el aporte de estas a la calidad ambiental de un territorio, y la conser-

vación de la biodiversidad, que ofrecen (en este caso a nivel municipal). Para ello se consideraron cuatro variables: Cobertura forestal (en porcentaje en relación al área total del municipio); la extensión de las áreas protegidas (en porcentaje en relación al área total del municipio); presencia de flora endémica y el estado evolutivo del área protegida.

3.4.2 Criterio de ponderación de las variables del indicador del subsistema biótico (ISB)

A la cobertura forestal se le asignó una ponderación de 25%, utilizando como criterio el porcentaje de la cobertura forestal en relación al área total del municipio; a la extensión de las áreas protegidas la ponderación asignada fue del 35%, usando como criterio la extensión de éstas en relación al área total del municipio. Para el caso de la presencia de flora endémica, esta se ponderó con el 25% (de acuerdo al número de especies endémicas en el área protegida), como criterio para evaluar la importancia de la protección de la biodiversidad. El estado evolutivo del área protegida se ponderó con el 15%, utilizando como criterio la etapa serial en la que se encuentra el área protegida (ver cuadro 5).

Cuadro 5
Variables, criterios y valor para estimar el indicador del subsistema biótico (ISB)

Componente	Ponderación	Unidad de medida	Criterio	Valor
Cobertura forestal	25%	% del área total del municipio	1 – 20 %	1
			21 – 35%	2
			36 – 45 %	3
			46 – 50%	4
			> 50%	5
Cobertura áreas protegidas	35%	% del área total del municipio	1 – 10%	1
			11 – 20%	2
			21 – 30%	3
			31 – 40%	4
			> 40%	5
Flora endémica en el área protegida	25%	No. de especies	<5	1
			6 – 10	2
			11 - 15	3
			16 – 20	4
			> 20	5
Estado evolutivo del área protegida	15%	Etapa serial	Inicio	1
			Media	3
			Clímax	5

Fuente: Elaboración propia 2015.

3.4.3 Ecuación de síntesis para estimar el indicador del subsistema biótico (ISB)

La ecuación de síntesis para obtener el indicador del subsistema biótico, que permita expresar el valor de cada una de las unidades territoriales, es la siguiente:

$$SB = (cf * W_{cf}) + (cap * W_{cap}) + (fe * W_{fe}) + (sa * W_{sa}) + (ee * W_{ee})$$

En donde:

- SB = Indicador del subsistema biótico.
- W = Ponderación de cada variable.
- cf = Cobertura forestal.
- cap = Cobertura de áreas protegidas.
- fe = Presencia de flora endémica en las áreas protegidas.
- sa = Servicios ambientales del área protegida.

3.5 Desarrollo del índice de sostenibilidad ambiental para Guatemala (ISAGT)

3.5.1 Definición del índice

Después de desarrollada la metodología para cada uno de los indicadores que conforman el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT), los cuales se validaron combinando técnicas participativas y estadísticas, éste quedó conformado por ocho indicadores físico-biológicos (tres del subsistema físico y cinco del subsistema biológico), los cuales agrupan un total de 20 variables, siendo estos: indicador conflicto de uso de la tierra (ICUT), indicador de calidad de

agua superficial (ICAS), indicador de gestión de residuos (IGR), indicador cobertura forestal (CF), indicador cobertura áreas protegidas (CAP), indicador presencia de flora endémica (FE), y el indicador estado evolutivo de las áreas protegidas (EE).

3.5.2 Criterio de ponderación de los indicadores físico-biológicos que conforman el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT)

La ponderación de cada uno de los indicadores seleccionados, clasificados en indicadores del subsistema físico y del subsistema biótico, así como el criterio de ponderación de ellos, se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6
Ponderación de cada uno de los subsistemas con sus respectivos indicadores para la estimación del índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT)

Subsistema	Indicador ambiental	Ponderación
FÍSICO	Conflicto de uso de la tierra	0.35
	Calidad de agua superficial	0.30
	Gestión de residuos	0.35
BIÓTICO	Cobertura forestal	0.20
	Cobertura áreas protegidas	0.25
	Presencia flora endémica	0.15
	Servicios ambientales del área protegida	0.25
	Estado evolutivo de las áreas protegidas	0.15

Fuente: Elaboración Propia, 2015.

3.5.3. Ecuación de síntesis para estimar el índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT)

La agregación del índice de sostenibilidad ambiental, se realizó a través de la siguiente ecuación de síntesis, con su respectiva ponderación:

$$ISAGT = ICUT*0.14 + ICAS*0.12 + IGR*0.14 + ICF*0.15 + ICAP*0.21 + IPFEAP*0.15 + IEVAP*0.09$$

En donde:

- ISAGT = Índice de Sostenibilidad Ambiental para Guatemala
- ICUT = Indicador de conflicto de uso del territorio
- ICAS = Indicador de calidad de agua superficial
- IGR = Indicador de gestión de residuos
- ICF = Indicador de cobertura forestal
- ICAP = Indicador de cobertura de áreas protegidas

IPFEAP = Indicador de presencia de flora endémica en áreas protegidas

IEVAP = Indicador de Estado evolutivo del área protegida

3.5.4 Interpretación del Índice de Sostenibilidad Ambiental (ISAGT)

El Índice de Sostenibilidad Ambiental, adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 5, que va disminuyendo en función de la calidad de los indicadores físico-biológicos estimados (ver cuadro 7).

Cuadro 7
Clasificación del Índice de Sostenibilidad Ambiental para Guatemala (ISAGT)

Sostenibilidad Ambiental	Ponderación
Muy malo	1
Malo	2
Medio	3
Bueno	4
Excelente	5

Fuente: Elaboración propia 2015.

4. Conclusiones

a. El índice de sostenibilidad ambiental (ISAGT) construido en la presente investigación, se diseñó y validó combinando técnicas participativas (consulta a expertos) y estadísticas (normalización de variables, agregación y análisis de sensibilidad), estimándolo a partir de ocho indicadores (tres del subsistema físico y cinco del subsistema biológico), los cuales agrupan un total de 20 variables:

- Indicador de conflictividad de uso del territorio, conformado por las variables: sobre uso, subuso y uso adecuado del territorio.
- Indicador de calidad del agua superficial, el cual utilizó la metodología propuesta por Brown, *et al.* (1970), que

agrupa las variables: coliformes totales, pH, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto.

- Indicador de Gestión de residuos, con tres variables: tratamiento de aguas superficiales, disposición y manejo de desechos sólidos y producción per cápita de desechos sólidos.
- Indicador del subsistema Biológico, que aglutina las variables: cobertura forestal y la cobertura de las áreas protegidas registradas en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), donde se considera: la biodiversidad a través de la presencia de la flora endémica y el estado evolutivo.

b. Dentro de los factores que han dificultado los resultados obtenidos en el diseño del índice de sostenibilidad ambiental generado en la presente investigación, se encuentra la no disponibilidad de estadística ambiental, así como la existencia de datos no adecuados o poco confiables, con escasa resolución espacial o que no cubren el territorio de estudio (para este caso, el municipio) en su totalidad. Por lo anterior, se considera que la lista de los indicadores propuestos en este estudio no está cerrada, ya que al contarse con más datos a nivel municipal (como, por ejemplo, información sobre calidad del aire y emisión de gases efecto invernadero, entre otros), será posible incrementar el número de indicadores y sus respectivas variables.

c. Es importante señalar que, si bien el objetivo del índice desarrollado de manera sintética, así como los indicadores que lo constituyen, es el de establecer una condición que puede ser representada espacialmente, su interpretación, no obstante, requiere de análisis más o menos comple-

jos, ya que un indicador “indica”, no explica. En este sentido la interpretación del índice y el nivel de detalle de la información, va desde la ponderación del índice, que proporciona información de carácter general y complejo, hasta los criterios de ponderación de cada una de las variables que conforman los indicadores, lo que proporciona información más específica sobre el estado del ambiente.

5. Recomendaciones

- a. Aunque la metodología que se desarrolló para estimar el índice de sostenibilidad ambiental, se validó de manera participativa y con herramientas estadísticas, es importante realizar otros estudios de caso, con la finalidad de afinar la ecuación de síntesis. Por lo que el conjunto de indicadores considerados en esta investigación, no es exhaustivo, ya que únicamente se consideraron una serie de variables de las cuales se tiene información confiable o que se pueda capturar de manera sencilla a nivel municipal, de tal manera que este índice es la primera aproximación de contar en el país con una herramienta que permita reflejar el estado del ambiente a nivel municipal.
- b. Debido a que en el país persiste la débil valoración de los indicadores como herramienta para evaluar las políticas públicas, se recomienda al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales la difusión de la presente metodología, para su aplicación a nivel nacional.
- c. Considerando la desarticulación y debilidad institucional para el desarrollo y sostenimiento de indicadores de sostenibilidad ambiental, es importante la construcción de plataformas interinstitucionales en donde converjan y colaboren todas las instituciones y su personal, para consolidar el proceso estadístico ambiental, particularmente a nivel municipal.

- d. Capacitar a los tomadores de decisiones sobre la aplicación práctica del índice, para enmarcar los procesos de planificación local, regional y nacional.

6. Referencias

- Alvarado, H., 2010. *Análisis del crecimiento urbano y los cambios de uso del suelo, durante el período 1964 a 2006 en los municipios conurbados de la Metrópoli de Los Altos, Quetzaltenango. Tesis Maestría*. Quetzaltenango: FAUSAC.
- Astigarraga, E., 2000. El método Delphi. *Prospectiva*, pp. 1-14.
- Brown, R., McClelland, N., Deininger, R. & Tozer, R., 1970. *A water quality index; Do we dare?*. s.l.:Water and Sewage works.
- Colomer, F. & Gallardo, A., 2007. *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Congreso de la República de Guatemala, 1986. *Decreto 68-86 Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*. Guatemala: Diario de Centro América.
- Congreso de la República de Guatemala, 1989. *Decreto No. 4-89 Ley de Áreas Protegidas*. Guatemala: Diario de Centro América.
- Congreso de la República de Guatemala, 1996. *Decreto No. 101-96 Ley Forestal de Guatemala*. Guatemala: Diario de Centro América.
- Congreso de la República de Guatemala, 2000. *Decreto No. 90-2000 Ley de creación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales*. Guatemala: Diario de Centro América.
- Fermández, N., Ramírez, A. & Solano, F., 2005. *Índices de calidad de agua e índices de contaminación*. Pamplona: Universidad de Pamplona.
- García, M. & Suárez, M., 2013. El método Delphi para la consulta a expertos en la in-

- vestigación científica. *Revista Cubana de Salud Pública*, pp. 253-267.
- Gómez, D., 2008. *Ordenación Territorial*. Madrid: Mundi Prensa.
- Harmeling, S. & Eckstein, D., 2012. *Global Climate Risk Index 2013*. Berlin: Germanwatch.
- Instituto Nacional de Bosques, 2000. *Clasificación de Tierras por capacidad de uso*. Guatemala: INAB.
- Isa, F., Ortúzar, M. & Quiroga, R., 2005. *Cuentas ambientales: conceptos, metodologías y avances en los países de América Latina y el Caribe*. Santiago: CEPAL.
- Loh, J. y otros, 2005. *The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity*. [En línea] Available at: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/360/1454/289> [Último acceso: 2013].
- Massiris Cabeza, A., 2002. Ordenación del territorio en América Latina. *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 6(125), pp. 7-87.
- Naciones Unidas, 2005. *Objetivos de desarrollo del milenio: una mirada desde América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Organization for Economic Cooperation and Development OECD, 1993. *Core set of indicators for environmental performance reviews*. París: OCDE.
- Ortega, F., 2008. El método Delphi, prospectiva en Ciencias Sociales. *Revista EAN*, 16 Agosto. pp. 31-54.
- Quiroa, R., 2009. *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL Naciones Unidas.
- Schuschny, A. & Soto, H., 2009. *Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Santiago de Chile: CEPAL, Naciones Unidas.
- Segnestam, L., 2000. *Desarrollo de indicadores: lecciones aprendidas de América Central*. Washington: Proyecto CIAT Banco Mundial-PNUMA.
- United Nations DESA, 2007. *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies*. Third edition ed. New York: United Nations.
- United Nations, 1992. *Agenda 21: United Nations Conference on Environment & Development*, Río de Janeiro: Commission on Sustainable Development, United Nations.
- Universidad Rafael Landívar IARNA, 2006. *Perfil Ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión Ambiental*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas.
- Universidad Rafael Landívar IARNA, 2009. *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009: Las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Guatemala: IARNA Universidad Rafael Landívar.
- Universidad Rafael Landívar, IARNA, 1984. *Perfil Ambiental de Guatemala*. Guatemala: IARNA, Universidad Rafael Landívar.
- Universidad Rafael Landívar, IARNA, 2004. *Perfil ambiental de Guatemala, Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistémica*. Guatemala: IARNA Universidad Rafael Landívar.
- Wackernagel, M. & Rees, W., 2001. *Nuestra huella ecológica, Reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*. Primera Edición ed. Santiago de Chile: LOM ediciones.
- Yale University, 2010. *2010 Environmental Performance Index*. New Haven(Connecticut): Yale Center for Environmental Law and Policy.