

Huella ecológica como indicador de sostenibilidad. Perspectiva en Cuba

Ecological footprint as an indicator of sustainability. Perspective in Cuba

Mirtha Reinoso Valladares^I  <https://orcid.org/0000-0001-6614-6895>

Janet Canciano Fernández^I  <https://orcid.org/0000-0002-8600-4386>

Yan Carlos Ordoñez Sánchez^I  <https://orcid.org/0000-0002-7728-3374>

Lianet Ramírez Díaz^I,  <https://orcid.org/0000-0002-8600-6643>

Javier Pozo Bejerano^{II}  <https://orcid.org/0000-0001-8135-7164>

^ICentro de Ingeniería e Investigaciones Químicas. Vía blanca s/n y Palatino. Cerro, La Habana. Email: mirtha@ciiq.cu, mirtirei@gmail.com

^{II}Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA. Kilómetro 2½ carretera a Luis Lazo, Pinar del Río.

Fecha de recepción: 12 de enero de 2021 Fecha de aceptación: 15 de febrero de 2021

RESUMEN. El trabajo investigativo analiza las principales referencias científicas relacionadas con la huella ecológica, a partir del paradigma económico que, desde la Revolución Industrial, ha marcado las pautas en la desigual relación hombre-biosfera que comenzó a evidenciar extorsiones en las décadas pasadas. Así, en los años ochenta surgió un término que trataba de equilibrar de nuevo las debilitadas relaciones hombre-medio natural: el Desarrollo Sostenible. Esta expresión fue evolucionando con el transcurso de los años y en la cual intervienen diversas dimensiones más allá de los tradicionales enfoques económico, social y ambiental. Con el propósito de lograr convertirlos en medidas concretas, tangibles para los ciudadanos y manejables para el gestor, se hizo necesario desarrollar indicadores como la huella ecológica. Las investigaciones científicas consultadas, han demostrado la evolución de esta terminología aplicada por gobiernos, organizaciones, empresas e individuos. En la presente investigación se analizó el comportamiento de la huella ecológica de Cuba la cual se mantuvo entre 1.5 y 2 hag, muy inferior a la de los países estudiados. Se reportaron, además, los resultados de las evaluaciones de varios indicadores de sostenibilidad y la correlación de estos con la huella ecológica. Se expusieron los casos de estudios de estimación de huella ecológica y huella de carbono destacándose la industria azucarera. Las experiencias obtenidas en el cálculo de este indicador, demuestran que es posible su extensión a otros sectores económicos, significando el compromiso de las empresas cubanas en el cuidado del medio ambiente y en la lucha contra el cambio climático.

Palabras clave: huella ecológica, indicador, sostenibilidad, huella de carbono

ABSTRACT. The investigative work analyzes the main scientific references related to the ecological footprint, based on the economic paradigm that, since the Industrial Revolution, has set the standards in the unequal man-biosphere relationship that began to show extortion in past decades. Thus, in the eighties a term emerged that tried to re-balance the weakened man-natural environment relations: Sustainable Development. This expression has evolved over the years and in which various dimensions intervene beyond the traditional economic, social and environmental approaches. In order to convert them into concrete measures, tangible for citizens and manageable for the manager, it was necessary to develop indicators such as the

ecological footprint. The scientific research consulted has shown the evolution of this terminology applied by governments, organizations, companies and individuals. In this research, the behavior of the ecological footprint of Cuba was analyzed, which remained between 1.5 and 2 hag, much lower than that of the countries studied. In addition, the results of evaluations of various sustainability indicators and their correlation with the ecological footprint were reported. The cases of studies to estimate the ecological footprint and carbon footprint were presented, highlighting the sugar industry. The experiences obtained in the calculation of this indicator show that it is possible to extend it to other economic sectors, signifying the commitment of Cuban companies in caring for the environment and in the fight against climate change.

Keywords: ecological footprint, indicator, sustainability, carbon footprint

INTRODUCCIÓN

El paradigma económico que, desde la Revolución Industrial, ha marcado las pautas en la desigual relación hombre-biosfera comenzó a evidenciar extorsiones en las décadas pasadas. Éstas se manifestaron en contradicciones entre los sistemas ecológico y socioeconómico, con funcionamientos totalmente divergidos en el tiempo y el espacio. Así, en la década de los ochenta surgió un término que trataba de equilibrar de nuevo las debilitadas relaciones hombre-medio natural: el desarrollo sostenible (Olalla, 2003).

El desarrollo sostenible o la sostenibilidad, como categoría conceptual, consiste en reconocer el carácter limitante del patrimonio natural para lograr el crecimiento económico y el desarrollo social; en comprender que los objetivos y metas económicas y sociales deben alcanzarse con un mínimo empleo de los recursos naturales de todo tipo, y que los residuos producidos puedan ser debidamente asimilados por la naturaleza; alcanzando una distribución equitativa y justa de las riquezas y los conocimientos, en todo lo cual intervienen diversas dimensiones más allá de las tradicionales dimensiones económica, social y ambiental (Díaz y Gómez, 2013 y Díaz, 2016).

Este vocablo se ha convertido, desde su surgimiento, en una expresión capaz de unir las posturas más enfrentadas y se ha situado en el centro de debates por parte de economistas, empresarios y políticos, como por los medios de prensa (Olalla, 2003 y Díaz, 2016).

Con el propósito de convertirlos en medidas concretas, tangibles para los ciudadanos y manejables para el gestor, se hace necesario desarrollar herramientas sobre la base de una concepción integral, en la que se incluyan aspectos medio ambientales, tecnológicos, políticos, económicos, ideológicos, sociales, culturales, éticos, filosóficos, psicológicos, jurídicos, entre otros.

La huella ecológica se presenta como uno de los instrumentos de planificación ampliamente utilizada por investigadores, organizaciones, gobiernos e individuos para medir la sostenibilidad. Propuesta por Wackernagel y Rees en la década de los 90, tiene el objetivo de estimar la magnitud del consumo humano que excede la capacidad de regeneración de la biosfera (Olalla, 2003).

La metodología de la huella ecológica se ha podido aplicar a todas las escalas. De hecho, se reportan investigaciones que analizan este indicador en la economía de un conjunto de países (Wackernagel et al., 1999), otros trabajos lo relacionan con el impacto de las ciudades (Luck et al., 2001), existen algunos centrados a las corporaciones multinacionales (Barret y Scott, 2001), en el estudio del impacto ambiental a través del tiempo (Haberl et al., 2004a). Incluso han surgido en los últimos tiempos programas de cómputo que permiten determinar la huella ecológica personal.

En Cuba, existen insuficiencias en lo relacionado al cálculo de la huella ecológica en todos los sectores del país y que permita evaluar a partir de la integración con otros indicadores, la sostenibilidad del modelo socialista cubano sobre la base de un enfoque socioeconómico, histórico y cultural. Es por ello que el presente trabajo centra su objetivo en abordar los principales aspectos relacionados con la huella ecológica, así como la introducción de esta temática en el país, reportándose investigaciones realizadas en esta dirección.

DESARROLLO

Referentes históricos relacionados con la huella ecológica

Desde que en el año 1996 los investigadores Mathis Wackernagel y William Rees definieran el término huella ecológica, este índice de sostenibilidad se ha consolidado como uno de los más aplicados, convirtiéndose en la herramienta más útil para evaluar los avances en este terreno.

La huella ecológica parte, realmente, de un término que aporta la ecología de poblaciones: la capacidad de carga abordada por Rees y Wackernagel (1994).

Esta expresión la define Rees y Wackernagel (1994) como: "el máximo número de individuos de una especie concreta que es capaz de soportar de forma indefinida un hábitat específico sin alterar la productividad de éste " (p. 362).

La definición anterior supone poblaciones aisladas y una eficiencia de uso de los recursos no variable a lo largo del tiempo lo que no se puede presuponer para el hombre, que es capaz de aumentar las capacidades de carga del medio desarrollando posibilidades comerciales y tecnológicas. Por lo tanto, este concepto ecológico resultaba muy controvertido en su aplicación a la especie humana considerándose en la práctica irrelevante y difícil de emplear (Olalla, 2003).

Ante esta situación y en un intento por encontrar un método que incluyera los impactos de las poblaciones humanas, los autores Rees y Wackernagel (1994) sobre la base del concepto de capacidad de carga, la definen nuevamente, es decir, ¿cuál sería la superficie necesaria para mantener un número de individuos determinado?

Se debe señalar que desde el año 1967 existían precedentes relacionado con este concepto, pues se había calculado que cada habitante de la Tierra necesitaba aproximadamente 1 ha para su mantenimiento, mientras que en 1993 otros autores afirmaban que una ciudad de un millón de habitantes, requería 1 000 km² para captar la suficiente luz solar capaz de proporcionar a sus ciudadanos una dieta básicamente vegetariana (Olalla, 2003).

El aporte de Rees y Wackernagel (1994) consistiría en el establecimiento de una metodología muy específica de cálculo que permitiría la evaluación numérica. A partir de entonces, se convertiría el concepto, en un verdadero índice biofísico para expresar a nivel global el impacto de las actividades humanas en términos de superficies productivas de los ecosistemas.

Los autores lo definieron como una herramienta que sirve para determinar el área de tierra y mar ecológicamente productiva que se requiere para proveer todos los recursos materiales y toda la energía consumida, y también para poder absorber todos los residuos producidos por una población determinada y con el actual nivel tecnológico, sea donde sea que se encuentre esta área.

En el Informe Planeta Vivo (2008) la presentan como: “la demanda de la humanidad sobre la biosfera, en términos del área de tierra y mar biológicamente productiva, requerida para proporcionar los recursos que utilizamos y absorber nuestros desechos” (p. 34).

Carballo et al. (2008) indica que la huella ecológica es el área de tierra productiva o ecosistema acuático necesario para mantener el consumo de recursos y energía, así como para poder absorber los residuos producidos por una determinada población humana o economía considerando la tecnología existente, independientemente de su ubicación geográfica.

Desde estas perspectivas Monfreda et al., (2004) plantea que si la humanidad consume más recursos de los que la biosfera puede generar y produce más residuos de los que puede absorber, el resultado será la degradación ambiental y la insostenibilidad. Situación a la que ha llegado a la actualidad pues, según los estimados que se han realizado, a la biosfera le cuesta 1,2 años regenerar aquellos que la humanidad consume en uno. En cualquier caso, el indicador no deja de ser un valor medio pues la comparación de la huella ecológica de los diferentes países del planeta demuestra la desigualdad en el acceso a los recursos que ofrece la naturaleza.

El cálculo de la huella ecológica se hace a partir de la suma de las huellas particulares de las distintas necesidades del hombre denominadas subhuellas, las cuales se enuncian a continuación (Olalla, 2003):

- Energía fósil, área necesaria de bosque para la absorción del CO₂ emitido por el consumo de combustibles fósiles.
- Superficie agrícola, para producir alimentos de origen vegetal.
- Superficie de pastos, para producir alimentos de origen animal.
- Mar, para producir alimentos que provienen del mismo.
- Bosques necesarios para necesidades de papel, madera, energía renovable, entre otros.
- Superficie construida.

Los predecesores de la huella ecológica al apostar por la contabilidad de la economía en base a las medidas biofísicas y a su traducción superficial, establecen las siguientes suposiciones (Monfreda et al., 2004).

1. Es posible saber la cantidad de recursos consumidos y los residuos generados en un territorio, por una población o actividad económica.
2. Una gran parte de los consumos de recursos pueden relacionarse con el área bioproductiva necesaria para su regeneración o para la asimilación de los residuos.
3. La información se obtiene de las bases estadísticas oficiales, aunque se leen desde una óptica socio-ecológica.
4. Cada área se pondera de acuerdo con su potencial de biomasa, expresando las diferentes áreas en términos de una superficie global media.

5. La demanda total se agrega al sumar las áreas de provisión de recursos, las de asimilación de recursos y las de asimilación de residuos.
6. La demanda agregada de recursos y residuos (huella ecológica) se compara con la provisión de la naturaleza (biocapacidad). Si la huella ecológica es superior a la biocapacidad, indica que se ha excedido la capacidad regenerativa y se produce un déficit ecológico, que suele ser compensado principalmente por dos vías: a través de las importaciones y/o sobreexplotación de los recursos naturales.

En la Tabla 1 aparece reportado lo que Wackernagel et al. (1999) denomina la "biocapacidad" ecológica per cápita, un indicador que resulta de calcular la biocapacidad total de la tierra y dividirla por la población mundial. Al tratarse de un indicador superficial, en una situación teórica de total ecoequidad, cada habitante del planeta debería poder satisfacer sus necesidades materiales con lo que le proporciona 1,67 ha de las diferentes coberturas del suelo.

Tabla 1. Capacidad ecológica per cápita. Fuente: Loh (2002) con elaboración propia.

Bosques	0,86 ha
Suelo agrícola	0,53 ha
Pastos	0,27 ha
Mar	0,14 ha
Suelo construido	0,10 ha
Total	1,90 ha
Suelo para la protección de la biodiversidad	-12%
Capacidad ecológica per cápita	1,67 ha

La determinación de la huella ecológica para diferentes países según plantea, Loh (2002) comparada con 1,67 ha de biocapacidad, arroja resultados que evidencian dos hechos fundamentales:

1. La economía mundial tiene un impacto superior a la capacidad de regeneración de la biosfera. La huella ecológica global, de 2,2 ha/cápita, comparada con la biocapacidad del planeta (1,67 ha), lo que supone un déficit ecológico de 0,53 ha/cápita.
2. Como es de suponer, no todos los países, ni clases sociales, tienen la misma huella ecológica. Se plantea en tal sentido, que, si todos los habitantes del planeta tuviesen una huella ecológica como la de un estadounidense promedio 9,6 ha/ cápita, se requerirían

seis planetas de más como la tierra que funcionaran como almacén de recursos y sumideros de residuos.

Para que las medidas de superficie sean comparables entre sí, se ha definido teóricamente lo que se ha denominado la hectárea global que no es más que una medida estandarizada de las áreas de suelo y mar biológicamente productivas que se han ponderado con un factor de equivalencia.

Los factores de equivalencia representan la media mundial de potencial productivo o rendimiento promedio de una determinada área bioproductiva relativo a la media potencial de la productividad biológica mundial de todas estas zonas (Carballo et al., 2008).

El objetivo de esta ponderación está relacionado con lograr sumar las hectáreas de diferentes áreas bioproductivas en distintos biomas reduciéndolas a una misma unidad de valor, la hectárea global. En este caso la producción global de biomasa por superficie del planeta recibe el valor de 1,00 ha, después se calcularán el resto de factores de equivalencia en base al valor de referencia de la media mundial tal como aparece en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación entre área física y hectáreas globales (10⁶ ha). Fuente: Carballo et al. (2008) con elaboración propia.

Categorías	Hectáreas bioproductivas	Hectáreas bioproductivas globales	Factor de equivalencia(Global ha/ ha)
Pesquerías	2300	800	0,35 ha
Agricultura	1500	3200	2,11 ha
Pastos	3500	1600	0,47 ha
Bosques	3800	5100	1,35 ha
Suelo construido	300	600	2,11 ha
Total	11400	11400	1,00 ha

Por otra parte, algunas organizaciones, han contemplado ventajoso su utilización al marco concreto de sus políticas de actuación ambiental.

Surge, entonces, la posibilidad de emplear la huella ecológica con este fin, lo que se denominó la huella ecológica corporativa. Alternativa señalada por los propios creadores del indicador (Wackernagel y Rees, 1996), no excesivamente explotada en sus primeros años de vida. En los últimos años, trabajos como los de Chambers y Lewis (2001), Holland (2003) y Doménech

(2004a, 2004b, 2007) impulsaron el uso de la huella ecológica como herramienta aplicada a empresas y organizaciones.

Al emplear un indicador menos relacionado con las corporaciones y expresado en unidades de hectáreas de superficie productiva apropiada para países o regiones, puede causar incertidumbre, no obstante, los diferentes tipos de superficie que distingue la huella ecológica proporcionan también información relevante a las empresas, como el consumo de energía directo e indirecto, los desechos generados, entre otros.

De acuerdo con Holland (2003) "tiene sentido valorar cuánta biosfera precisa una empresa para mantener las actividades del negocio y, por lo tanto, la posibilidad de que la capacidad requerida provoque impactos ecológicos que sean insustentables". El autor incide en que, a nivel de organizaciones, la huella ecológica puede actuar como una herramienta de gestión interna, en las que se identifican las demandas de la biosfera insustentables y usos alternativos del capital, además de poder ser empleada como un instrumento de consenso a nivel estratégico y de política de la propia empresa e incluso puede ser empleada como una herramienta de predicción.

Posteriormente, Doménech (2007) señala que la superficie es una unidad que tiene sentido para el análisis de la sustentabilidad de las empresas, por lo que propone que la inversión en hectáreas de superficie productiva (jardines, bosques) sea una de las posibilidades de las que dispongan las empresas para reducir su huella. Así, el estudio no se centraría en comparar la huella ecológica con la biocapacidad, sino que reflejaría la posibilidad de reducirla invirtiendo en superficie biológicamente productiva.

Además de aplicarse a las organizaciones, el análisis de la huella ecológica fue aplicado a productos, por ejemplo, Sibylle et al., (2006), a actividades de naturaleza diversa (Patterson et al., 2007) o incluso a cuestiones relacionadas con el cambio climático (Santamouris et al., 2007).

Debilidades y fortalezas asociadas a la aplicación de este indicador

A pesar de su amplia utilización a nivel internacional, la huella ecológica ha recibido diversos cuestionamientos coherentes con las premisas fundamentales para la aplicación del indicador. Algunos de estos aspectos giran en torno a lo que describe López et al., (2006) a continuación:

- Aunque es una herramienta que resume una gran variedad de impactos, no considera otros más difíciles de cuantificar, pero no menos importantes como el resto de las

emisiones atmosféricas, el mantenimiento de los ciclos del agua, la disminución de la capa de ozono, la contaminación de los suelos.

- La huella no supone todo el impacto del hombre sobre el entorno. En tal sentido se plantea que no es suficiente el 12 % considerado como el espacio necesario para preservar la biodiversidad.
- Los recursos naturales no renovables no son tenidos en cuenta, excepto la energía fósil.
- Se asume que la agricultura y la silvicultura se desarrollan de forma sostenible.
- Este indicador requiere una serie de datos, que no siempre están disponibles, sobre todo en los países del Tercer Mundo.
- En dependencia de la calidad de los datos suministrados, su valor puede estar sometido a una cierta incertidumbre que no siempre es fácil de calcular.

A consideración de los autores, las desventajas descritas por López et al. (2006) revelan suposiciones que deben tenerse presente al aplicarse el indicador huella ecológica.

Asumir que la agricultura se desarrolla de forma sostenible en regiones de bajo desarrollo como América Latina implicaría desviaciones en cuanto a la evaluación de este indicador. Aún prevalecen en estos países prácticas agrícolas sustentadas en tecnologías intensivas altamente dependiente de insumos y fertilizantes químicos, con aumentos significativos de la productividad de la tierra, pero a un elevado costo ambiental.

Por otra parte, Carballo et. al., (2008), reportan las fortalezas que brindan la determinación de la huella ecológica, las cuales se relacionan, en primer lugar, con que se considera que persigue un objetivo adecuado: cuantificar la superficie transformada por los humanos. En la medida en que la huella ecológica mide cuánto capital natural es empleado y, por lo tanto, transformado para satisfacer las necesidades del ser humano, cuantifica qué parte de los ecosistemas han sido modificados (Wackernagel et al., 1999).

Desde otro punto de vista analizada por Carballo et al. (2008), y en correspondencia con las bases implícitas en el concepto, la huella ecológica incorpora tres aspectos relacionados con el desarrollo sustentable que los autores consideran muy relevantes: 1) considera la complementariedad entre capital manufacturado y natural; 2) es consistente con las leyes de la termodinámica; y 3) incluye la dimensión social del desarrollo sustentable, pues considera los límites ecológicos.

Otra fortaleza importante es su capacidad para comunicar los resultados, pues su claridad y simpleza conceptual favorecen su uso para la toma de decisiones.

Finalmente, en la medida en que el indicador establece diferentes categorías de superficie apropiada y consumo de bienes, permite identificar demandas de productividad de diferentes campos, lo que permite la puesta en marcha de medidas de acuerdo con las necesidades de cada una de estas áreas (Carballo et al.,2008).

Perspectiva en Cuba en la estimación de índices de sostenibilidad

Eras et al., (2011) muestran la evolución de la huella ecológica de Cuba y de varios países seleccionados con similar Indicador de Desarrollo Humano (IDH). En la traza de Cuba se aprecia en la siguiente figura 1 que a finales de los años 60 con el inicio del proceso de industrialización del país la huella ecológica se incrementó hasta valores superiores a 3 hectáreas globales (hag) per cápita y cercanos a 4 en 1980, manteniéndose en una meseta hasta inicios de los años 90 en que desaparece la Unión Soviética.

En coincidencia con la caída brusca del Producto Interno Bruto (PIB) en 1990 mostrada en la **Fig. 1**, se produce una importante reducción de la huella ecológica. También se puede observar como a partir de 1996 la economía cubana comienza a recuperarse y crece sistemáticamente hasta 2007, mientras la huella ecológica se mantuvo entre 1.5 y 2 hag, muy inferior a la de los países seleccionados (Eras et al., 2011).

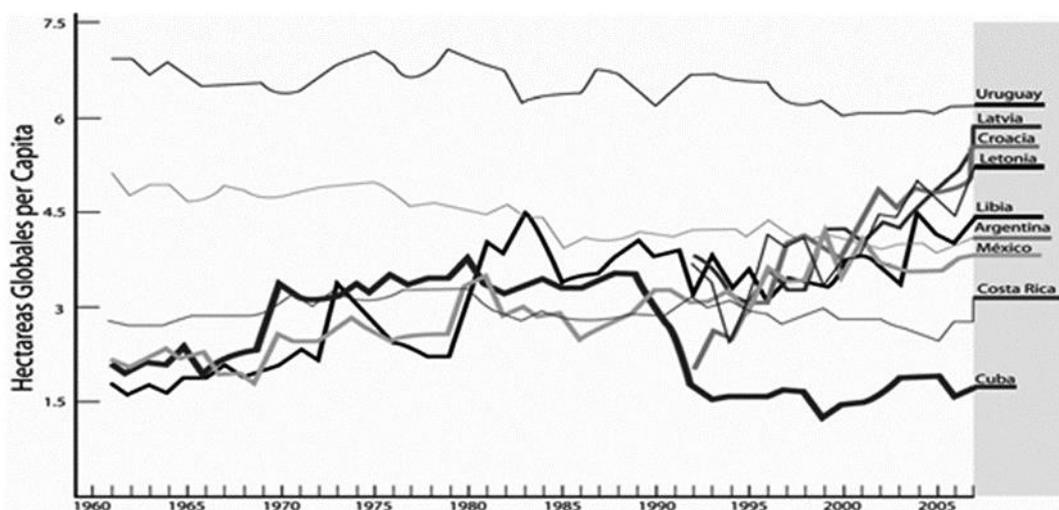


Figura 1. Evolución de la HE en un grupo de países de similar IDH. Fuente: Eras et al., (2011).

El análisis de la huella ecológica de Cuba por componentes entre 2000 y 2010 se muestra en la Tabla 3. Los mayores aportes los realizan la huella de carbono y la huella del uso de las tierras.

Tabla 3. Principales componentes de la huella ecológica de Cuba. Fuente: Eras et al., (2011) con elaboración propia.

Cuba	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Huella ecológica, hag	2,10	1,49	1,40	1,40	1,80	1,90
Tierras agrícolas, hag	0,64	0,55	0,39	0,62	0,67	0,64
Huella de carbono, hag	0,96	0,64	0,80	0,62	0,82	0,76

Los autores Díaz et al. (2013) en Gómez y Gómez (2013), evaluaron el comportamiento de la huella ecológica de Cuba representado en la **Fig. 2**, en la que se observa una diferencia entre la huella y la biocapacidad. La huella, resulta prácticamente el doble de la biocapacidad actual lo que constituye una alerta a considerar en la toma de decisiones futuras acerca de los usos de tierra disponible.

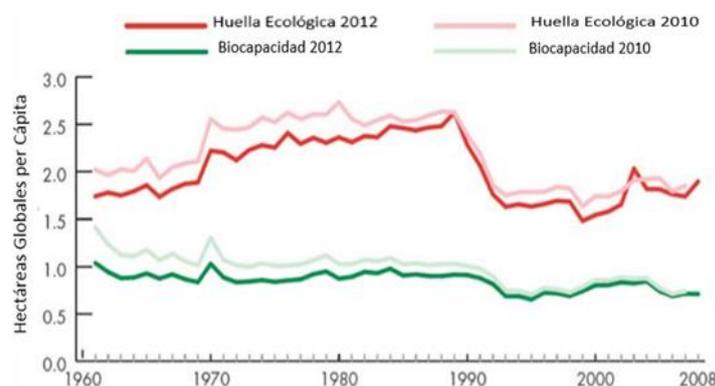


Figura 2. Huella Ecológica y Biocapacidad para Cuba desde 1960. Fuente: Díaz (2013).

Díaz et al. (2013) en Gómez y Gómez (2013) plantean que no existe hasta el momento indicador individual alguno que pueda integrar en un solo valor la complejidad del concepto de desarrollo sostenible para un país o región.

En este sentido, Díaz et al. (2013) en Gómez y Gómez (2013) realizan la comparación entre el IDH, Índice de Desempeño Ambiental (EPI), Índice de Desarrollo Sostenible (IDS) y la huella ecológica. El comportamiento mostrado por el IDS representada en la gráfica que contiene la Fig. 3 es consistente con los resultados obtenidos con el IDH, el EPI y la huella ecológica lo que manifiesta para el periodo analizado un desarrollo económico y social que puede considerarse en términos generales sostenible.

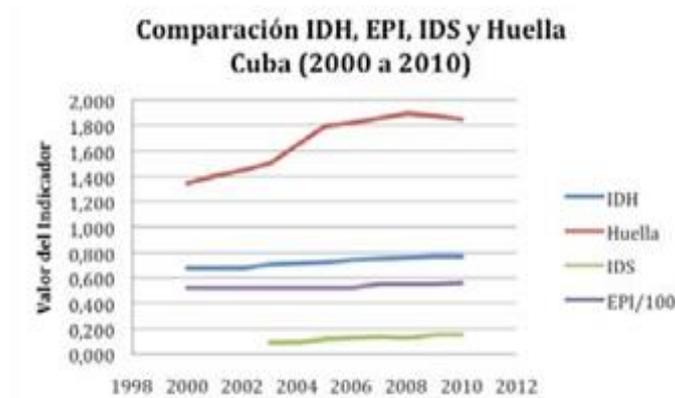


Figura 3. Comparación IDH, EPI, IDS y Huella. Cuba (2000 a 2010). Fuente: Díaz (2013).

A continuación, se resumen las principales experiencias aplicadas en Cuba en la determinación de este indicador.

En el trabajo realizado por Mas et al. (2012) se adapta una metodología para el cálculo de la huella ecológica en universidades cubanas, cuantificándose los consumos básicos de recursos de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas: agua, energía eléctrica y otros portadores energéticos, alimentos, papel y los residuos generados. Se estimaron, además, en función de las características del país, las áreas requerida para la absorción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). La huella ecológica para los años 2008 y 2009 arrojó valores de 0.2069 ha/persona y 0.2147 ha/persona respectivamente, lo que está acorde con reporte de otras universidades.

Los autores Cuza et al., (2015) calcularon la huella ecológica en una empresa constructora asociada a los portadores energéticos que consume. Se obtuvo la carga contaminante por concepto de consumo de portadores, así como un plan de medidas para la disminución de los mismos.

Por otra parte, Pérez et al. (2015) aplicaron el indicador al sector agrario en la provincia de Villa Clara empleándose como casos de estudios 23 empresas agropecuarias. El consumo de agua y energía, la presencia de plantas invasoras, los usos del suelo, recursos forestales y agrotóxicos, emisión de gases con efecto invernadero, la generación de desechos sólidos constituyeron los aspectos ambientales que con mayor frecuencia relativa (superior a 0,60) fueron evaluados de significativos, debido a que causan impactos negativos sobre el medioambiente y, por tanto, determinaron un incremento de la huella ecológica de este sector en el territorio.

A partir de la revisión realizada se denota que las principales investigaciones con respecto a la estimación de la huella ecológica están asociadas con la industria azucarera. En sentido general,

ha sido más frecuente la determinación de la huella de carbono como uno de los componentes de este indicador.

Cabrera y Zuaznábar (2010) evaluaron el impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada mediante un balance del carbón. Se registra menor emisión de carbono hacia la atmósfera, por efecto de la quema de una parte de la biomasa aérea de la caña de azúcar, por debajo de la captura o secuestro de carbono que realiza esa biomasa, por lo que el balance tiende a ser positivo.

Luego, Gavilán y Reinoso (2017) evaluaron la huella de carbono en el cultivo de la caña de azúcar en Villa Clara, demostrándose que el consumo de portadores energéticos, materiales no orgánicos, gases industriales consumidos en las actividades de soldaduras autógenas oxiacetilenadas, así como el uso del suelo, se comportaron como los aspectos ambientales con mayor peso en la magnitud de este indicador.

Por otra parte, Reinoso et al. (2017) estimaron la huella de carbono el central azucarero "Argeo Martínez", ubicado en la provincia de Guantánamo alcanzándose resultados similares con los calculados por otros países y regiones referidos a la industria azucarera.

Otros sectores como el turismo, han empleado este indicador, tal es el caso de Rodríguez (2014) quien presenta una guía metodológica para estimar y analizar la huella de carbono en el hotel Tryp Cayo Coco proponiendo a partir de las deficiencias detectadas, objetivos de reducción, impulsados por medidas asociadas a la disminución del consumo de energía.

Canciano et al., (2020) aplica el cálculo de la huella de carbono al escenario industrial, específicamente, a la producción de vidrio. Los autores obtuvieron las emisiones de CO₂ equivalentes asociadas a esta producción; las mayores contribuciones se reportaron dentro del alcance 1, relacionado por el consumo de combustible fuel oil en el horno de fusión. Se determina la huella de carbono para este proceso con un valor de 0,12 tCO₂ equivalente por tonelada de vidrio fundido.

Consideraciones generales desde el contexto de Cuba

Construir una sociedad socialista, próspera y sostenible en las condiciones actuales, internas y externas, en un país como Cuba, pequeño, subdesarrollado, bloqueado y con limitados recursos naturales, constituye un verdadero desafío (Díaz, 2016).

A partir de 1959, Cuba ha demostrado avances en aspectos básicos del desarrollo humano como la salud y educación. Sin embargo, es necesario continuar potenciando la aplicación de los diferentes indicadores como medidores de sostenibilidad y dentro de esto la huella ecológica.

Las experiencias reportadas en el cálculo de la huella ecológica demuestran que es posible la extensión del indicador a otros sectores económicos.

No obstante, Cuba como país en desarrollo no está exenta de las limitaciones que suelen presentarse cuando se trabaja en la estimación de estos indicadores.

Una de estas dificultades está relacionada con la disponibilidad y calidad de los datos. En las empresas esta situación puede resultar un obstáculo, pues aun cuando se cuenten con registros de cada uno de los insumos y procesos, se requiere que los mismos sean confiables y verificables. Además, que puede requerirse de informaciones que no estén recogidas por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI).

Otra de las limitaciones, están asociadas con las metodologías y los factores de emisión que se utilizan y que fueron desarrolladas por países del primer mundo. Urge en este sentido, lograr adecuar estos elementos a las condiciones reales de Cuba.

A pesar de las ventajas que se conoce que reporta para las empresas, organizaciones, no se incentiva a las mismas a trabajar en esta dirección. Al mismo tiempo, no se visualiza el reconocimiento de aquellas que han logrado disponer de estos índices dígame huella ecológica o huella de carbono. La comunicación de los resultados ocurre al interior de las empresas, la divulgación pudiera ser un instrumento clave en lograr motivar que otras se sumen a estas iniciativas.

Por otra parte, en el documento que rige las Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social del país hasta el 2030, PNDES (2016) se hace énfasis en que resulta imprescindible una inserción de Cuba en la economía internacional ventajosa y dinámica, basada en la sustitución efectiva de importaciones y el alcance de altos niveles de exportación, en especial de alto contenido tecnológico, capaces de competir en calidad, precios e integrarse a cadenas globales de valor.

Orientar la aplicación de estos indicadores en aquellos productos, bienes y servicios identificados como rubros exportables puede constituir una fortaleza en aras de lograr cumplir no solo con estándares de calidad sino de demostrar el compromiso de las empresas cubanas en el cuidado del medio ambiente y en la lucha contra el cambio climático.

Según plantea un informe emitido por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la Organización Mundial del Comercio (OMC) ha procurado desde su creación en 1995 estrechar los vínculos existentes entre comercio, medio ambiente y desarrollo sustentable. En particular, en su Comité de Comercio y Medio Ambiente los miembros de la OMC pueden debatir sobre las medidas o iniciativas nacionales de carácter ambiental, con el propósito de minimizar sus eventuales impactos negativos sobre los flujos de comercio. En este y otros foros, varios países en desarrollo han expresado su preocupación por los efectos que pudieran tener sobre sus exportaciones los crecientes requisitos ambientales aplicados por los países industrializados, incluidos los relativos a la medición de las huellas ambientales (CEPAL, 2018).

Las investigaciones contenidas en el informe de la CEPAL muestran que, abordar esta temática mejora la sustentabilidad del negocio, aminorando o retardando los efectos del cambio climático; se detectan y se corrigen ineficiencias en los procesos productivos, mejora la eficiencia energética, el manejo de residuos, la gestión del agua, la trazabilidad y se agrega un plus de diferenciación competitiva en los mercados más exigentes, elevando el precio unitario del bien exportado. Todo ello incrementa las posibilidades de participar en cadenas de valor más exigentes o de ascender en la jerarquía de los eslabones de tales cadenas, mejorando la competitividad.

Incorporar estas variables requiere de un esfuerzo importante, pero las oportunidades de ganancias que se abren pueden compensarlo.

CONCLUSIONES

La huella ecológica se presenta como uno de los instrumentos de planificación ampliamente utilizada por investigadores, organizaciones, gobiernos e individuos para medir la sostenibilidad.

Se enuncian las principales definiciones realizadas por varios autores en torno a la huella ecológica. Además, de las fortalezas y debilidades que se presentan en el cálculo de este indicador.

La huella ecológica de Cuba se mantuvo entre 1.5 y 2 hag, muy inferior a la de los países estudiados, a pesar de que se evidenció un ligero crecimiento económico a partir de 1996.

Se reporta para el escenario cubano, la comparación entre el IDH, EPI, IDS y la huella ecológica, manifestándose un comportamiento consistente entre los indicadores, lo que revela que para el período correspondiente al 2000-2010 un desarrollo económico y social que puede considerarse como sostenible.

Las experiencias en Cuba relacionadas con la estimación de la huella ecológica y la huella de carbono están asociadas con la industria azucarera, aunque se incluyen otros trabajos del sector industrial y el turismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barret, J y Scott, A. (2001). The ecological footprint: a metric for corporate sustainability. *Corporate Environmental Strategy*. 8(4), 316-325.
- Cabrera, J.A.; Zuaznábar, R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. Balance del carbono. *Revista Cultivos Tropicales*, 31(1), 5-13.
- Carballo, P.; Villasante, A.; Rodríguez, S.; Quesada, L. D.; García, J. y González, M. (2008). La huella ecológica corporativa: concepto y aplicación a dos empresas pesqueras de Galicia. *Revista Gallega de Economía*, 17. ISSN 1132-2799
- Canciano, J.; Reinoso, M.; Hernández, A.; Núñez, M y Ramírez, L. (2020). Estimación de la huella de carbono en la producción de vidrio en Cuba. *Minería y Geología*, 36(4), 428-440. ISSN 1993 8012.
- CEPAL, N. (2018). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2013). Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático. Documento de proyecto.LC/W.559/Rev.1. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Chambers, N. y Lewis, K. (2001): Ecological Footprint Analysis: Towards a Sustainability Indicator for Business. (ACCA Research Report, 65). Disponible en http://www.accaglobal.com/pubs/publicinterest/activities/research/research_arch_ive/2390_6.pdf.
- Cuza, R. M. C. y Garrido, E. V. (2015). Cálculo de la huella ecológica en la Ecoing 5 para portadores energéticos. *Ecosolar*, 52, 49-62. ISSN: 1028-6004

- Díaz, J. A. (2016). La sostenibilidad en la conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista. IX Simposio Universitario Iberoamericano de Medio Ambiente. La Habana, Cuba. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/311206969>
- Díaz, J. A.; Pérez, J.; Arreche, L. M.; Delgado, J. (2013). Modelos para la evaluación del desarrollo sostenible. En Carlos Gómez Gutiérrez, Antonio Gómez Sal. Universidad de Alcalá, España. ISBN: 978-84-15595-86-1. pp. 59-67.
- Díaz, J. A.; Pérez, J.; Arreche, L. M.; Delgado, J. (2013). Experiencias en la evaluación del desarrollo sostenible: Una evaluación de Cuba. En Antonio Gómez Sal, Carlos Gómez Gutiérrez. Reflexiones sobre el desarrollo sostenible en cuba: una mirada desde el mundo académico. Universidad de Alcalá, España. ISBN: 978-84-15834-13-7. pp. 139-146.
- Díaz, J. A., y Gómez, A. (2013). El problema de las dimensiones del desarrollo sostenible. En Gómez Gutiérrez, C. y Gómez Sal, A. (Coords.), Referencias para un Análisis del Desarrollo Sostenible (pp. 25-32). Universidad de Alcalá, 200 pp. ISBN: 978-84-15595-86-1.
- Doménech, J. L. (2004a). Huella ecológica portuaria y desarrollo sustentable. *Puertos*, 114, 26-31.
- Doménech, J.L. (2004b). La huella ecológica empresarial: el caso del puerto de Gijón, Actas del VII Congreso Nacional de Medio Ambiente. Madrid.
- Doménech, J. (2007). Huella ecológica y desarrollo sustentable. AENOR, Madrid. ISBN: 978-84-8143-517-7. Disponible en: http://file.Users/gemaparra/Downloads/PUB_DOC_Tabla_AEN_7139_1.pdf.
- Eras J. J. C.; Lorenzo D. G.; Gutiérrez A. S.; Hens L.; Vandecasteele C. (2011). Caso Cuba. Un Camino al Desarrollo Sostenible. *3rd International Workshop. Advances in Cleaner Production Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world*. São Paulo – Brazil – May 18th-20th.
- Gavilán, E.; Reinoso, M. (2017). Estimación cuantitativa de la huella del carbono en el cultivo de la caña de azúcar en villa clara. *Centro Agrícola*, 44(1), 71-79. ISSN: 0253-5785

- Haberl, H.; Wackernagel, M.; Monfreda, CH.; Erb, K.H.; Schulz, N.B. (2004a): Ecological Footprint Time Series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961-1999: Comparing the Conventional Approach to an Actual Land Area Approach. *Land Use Policy*, 21, 261-269.
- Holland, E. (2003). Can the principle of the Ecological Footprint be applied to measure the environmental sustainability of business?. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 10, 224-232.
- Informe del Planeta Vivo. (2008). World Wildlife Fund. 2004. *Living Planet Report 2008*. Disponible en <http://assets.panda.org/downloads/lpr2004.pdf>
- Loh, J. (ed). Living Planet Report 2002. Gland Suiza, WWF, UNEP *World Conservation Monitoring Centre, Redefining Progress, Center for Sustainability Studies*, pp. 36.
- López, E; Pino, J; René, J. (2006). Indicadores de economía ecológica para alcanzar la sustentabilidad. Ejemplo de caso: américa latina. ISBN-978-959-16-3000-1, 2-6.
- Luck, M. A.; Jenerette, G. D.; Wu, J.; Grimm, N. B. (2001). The urban funnel model and the spatially heterogeneous ecological footprint. *Ecosystems*, 4(8), 782-796.
- Mas, J. L.; Rico, I. L. R.; Nodal, P. M. (2012). Cálculo de la huella ecológica en universidades cubanas. Caso de estudio: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. *Afinidad*, 69(557). 30-34, ISSN: 2339-9686.
- Monfreda, CH.; Wackernagel, M.; Deumling, D. (2004). Establishing national natural capital accounts based on detailed ecological footprint and biological capacity assessments. *Land use policy*, 21(3), 231-246.
- Olalla, M.A. (2003). Indicadores de sostenibilidad y huella ecológica. Aplicación a la UAM. Resumen del Proyecto de Fin de Carrera de la Licenciatura de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México.
- Patterson, T.; Niccolucci, V.; Marchettini, N. (2007): Adaptive environmental management of tourism in the Province of Siena, Italy using the ecological footprint. *Journal of environmental management*, 86(2), 407-418.
- Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030. (2016). Conceptualización del Modelo Económico y Social cubano de Desarrollo Socialista. 7^{mo} Congreso del PCC.

- Pérez, M. R.; Pérez, Y. M.; & Luis, Y. R. (2015). La huella ecológica del sector agrario en Villa Clara. Una aproximación cualitativa. *Centro Agrícola*, 42(1), 53-61.
- Rees W. E y Wackernagel, M. (1994). Ecological Footprint and appropriated carrying capacity: measuring the natural capital requirements of the human economy. In Janson A.M Hammer, M. Folke, C., Costanza, R (eds) *Investing in natural capital: The Ecological Economics approach to sustainability*. Washington, Island Press, 362-390.
- Reinoso, M.; Canciano, J.; Hernández, A.; Ordoñez, Y. C.; Figueroa, I. (2017). Huella de carbono en la industria azucarera. Caso de estudio. *Tecnología Química*, 38(2).
- Rodríguez, K. (2014). Estimación y análisis de la huella de carbono del Hotel Tryp Cayo Coco. Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniería Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Santamouris, M.; Paraponiaris, K.; Mihalakakou, G. (2007). Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. *Climatic Change*, 80(3), 265-276.
- Sibylle, D.F.; David, J.H.; Eric, H.B. (2006). Ecological Footprint Analysis Applied to Mobile Phones. *Journal of Industrial Ecology*, 10, 199-216.
- Wackernagel, M.; Rees W. E., (1996). Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Published, Philadelphia. pp. 326-348.
- Wackernagel, M.; Onisto, L.; Bello, P.; Callejas Linares, A.; López Falfán, I.S.; Méndez García, J.; Suárez Guerrero, A.I.; Suárez Guerrero, M.G. (1999): National Natural Capital Accounting with the Ecological Footprint Concept. *Ecological Economics*, 29, 375-390.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.