

EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD TERMOECONÓMICAS COMO NUEVOS
INDICES DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA Y AMBIENTAL
THERMOECONOMIC EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY AS NEW INDICES OF
ENERGY AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

Dr. C. Roberto Vizcón Toledo¹ (0000-0002-5406-5390), Departamento de Mecánica, Facultad de
ciencias Técnicas, Universidad de Matanzas

roberto.vizcon@umcc.cu

M.Sc. Nelson Santiago López Ripoll², Central Termoelectrónica de Matanzas, Zona Industrial, Matanzas,
Ministerio de Energía y Minas.

Resumen

La sostenibilidad del planeta se ha erigido como realidad insoslayable y alcanzable. Esto motiva la búsqueda incesante de nuevas conceptualizaciones a partir de las tres dimensiones que le son reconocidas, estas son la económica, social y ambiental. Para ello se continúan desarrollando nuevas herramientas de análisis tales como: eficiencia y racionalidad energética; protección ambiental; economía circular; y termoeconomía, entre muchas otras. Se proponen en este trabajo dos nuevos índices que deben lograr integrar armónicamente, para un proceso cualquiera, la producción mercantil, el costo termoeconómico y la estimación económica del daño ambiental por uso de fuentes de energía de origen fósil. Los índices propuestos son Productividad Termoeconómica y Eficiencia Termoeconómica. Ambos conceptos fueron determinados mediante índices que fueron calculados para dos hoteles y una empresa mecánica, todas de la provincia cubana de Matanzas. Estos índices permiten realizar desde la termoeconomía una valoración integral directamente relacionada con la sostenibilidad de los procesos a cualquier escala.

Palabras claves: *daño ambiental; eficiencia energética; termoeconomía*

Abstract

The sustainability of the planet has emerged as an unavoidable and achievable reality. This provokes the incessant search for new conceptualizations from the three recognized dimensions, these are the economic, social and environmental. For this, new analysis tools continue to be developed such as: energy efficiency and rationality; environmental protection; circular economy; and thermoeconomic, among many others. Two new index are proposed in this work that should be able to harmonically integrate, for any process, the mercantile production, the thermoeconomic cost and the economic estimate of the environmental damage due to the use of fossil energy sources. The proposed index are Thermoeconomic Productivity and Thermoeconomic Efficiency. Both concepts were determined through indices that were calculated for two hotels and a mechanical company, all from the Cuban province of Matanzas. These index allow a comprehensive assessment directly related to the sustainability of processes at any scale from thermoeconomic.

Keywords: *energy efficiency; environment damage; thermoeconomic*

La actividad humana genera cambios significativos en el ecosistema mundial, de ella, la relacionada con la producción y los servicios es vista a través del índice de producción mercantil y el producto interno bruto entre otras dimensiones, siendo necesario, cada vez más, la evaluación de como incide dicha actividad industrial y de servicios en la sostenibilidad ecosistémica. El uso de la energía está asociada a todos los procesos existentes y cuando los portadores energéticos utilizados tienen su origen en fuentes fósil, el daño ambiental se incrementa.

Cuba tiene indicado el cumplimiento estricto del uso racional y eficiente de todas las fuentes de energía y el impulso a la explotación de las fuentes renovables energéticas (Consejo de Estado de la República de Cuba, 2019), (Oficina Nacional de Normalización (ONC), 2011)

Constituyen una buena práctica del diagnóstico energético la realización de mediciones paramétricas que propician calcular los índices que caracterizan el consumo de energía y la eficiencia y racionalidad de estos gastos energéticos (Vizcón Toledo, 2020), (Kwak, 2020), (WEC. IEA, 2018).

Es una temática de actualidad la utilización de las cadenas de bloques energéticos en el establecimiento de sistemas óptimos de distribución en esquemas energéticos del tipo demanda-suministro para minimizar los consumos de energía y gastos financieros (Abdollah Kavousi-Farda, 2021), estando carentes estas herramientas de los nuevos índices que en este trabajo se proponen. Los índices más representativos que se escogen son: intensidad energética (IE), costo termoeconómico (CTe), consumo de energías según su origen (Bi), combustible equivalente de combustible calculado (Beq).

Algunos de los índices anteriores se registran periódicamente por la oficina nacional de estadística de Cuba a partir de información primaria que brindan todas las instituciones cubanas, según se informa en el modelo 5073 correspondiente.

Se sabe que la termoeconomía caracteriza todos los tipos de sistemas de transformación energética, pero la actividad industrial y de servicios puede emplear para su funcionamiento tecnologías energéticas de disímiles complejidades, se requiere entonces trascender desde la tecnología energética hasta llegar a la actividad global de la entidad, y aplicar para toda ella, criterios del tipo termoeconómicos y de sostenibilidad ecosistémica. Este trabajo propone incorporar como nuevos índices, además de la productividad termoeconómica, la eficiencia termoeconómica (E_{ficTe}).

La interrelación entre los índices anteriores permitirá ofrecer un enfoque más integrado de la racionalidad, eficiencia y costos de los procesos de producción o servicios partiendo de considerar el gasto de la energía para desarrollar sus actividades principales.

Según (Vizcón Toledo & otros, 2021), se propusieron algunas de estas relaciones funcionales que a continuación se aprecian:

Consumo total de combustible equivalente (Beq):

$$Beq = \sum_{i=1}^n keq_i \cdot B_i ; \text{ expresada en kg/año} \quad (1)$$

Donde:

B_i ; es el gasto o consumo de cada portador energético expresada cantidad anual expresada en litros, kg, kWh según sea el caso

keq_i ; es el factor de conversión en combustible equivalente de cada portador de energía respecto a la cantidad específica consumida del portador energético en cuestión

Intensidad energética (IE):

$$IE = \frac{Beq}{PM}; \text{ expresada en kg/cup} \quad (2)$$

Donde:

PM; es producción mercantil expresada en cup/año

Productividad termoeconómica (PTe):

$$PTe = \frac{1}{\left(\frac{Beq \cdot 0,042}{PM}\right)} - DAe; \text{ Expresada en cup/(G J.año)} \quad (3)$$

Donde:

DAe; es la estimación económica de los gastos financieros para atenuar los daños por uso de combustible de origen fósil expresada en cup/año

Y también:

$$PTe = \frac{1}{(IE \cdot 0,042)} - DAe \quad (4)$$

Si bien la recién definida productividad termoeconómica permite conocer la producción de valores de una institución relacionada con la cantidad de energía que debió utilizar para ello, siendo una necesaria característica o cualidad a conocer en la actualidad, aún no permite valorar cuánto más podría mejorarse el funcionamiento con orientación a ser un proceso que contribuya a la sostenibilidad ambiental. Es entonces que se define la eficiencia termoeconómica de los procesos de producción y servicios.

Se define entonces que la eficiencia termoeconómica de una entidad de producción o servicios es dada como la relación adimensional de la productividad termoeconómica respecto a ella misma sumada con el costo estimado por daño ambiental y el costo termoeconómico, estos dos últimos calculados para el proceso de transformación de la energía y a partir de las siguientes formulaciones que tienen un esquema de interrelación según la siguiente figura 1:

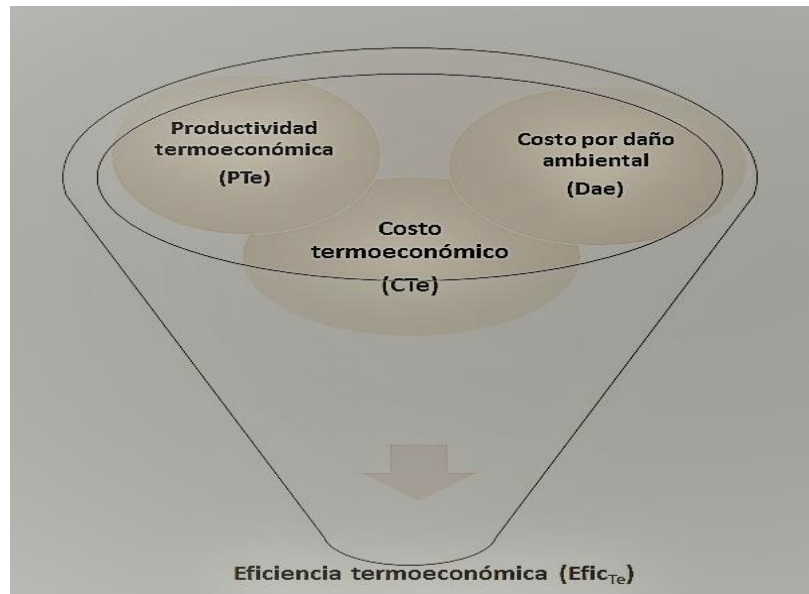


Figura 1. Interrelación conceptual entre índices de sostenibilidad energética y ambiental
Fuente elaboración propia

La productividad termoeconómica puede ser calculada según se vio en las ecuaciones (3) y (4) con parámetros globales o externos de comportamiento, pero también se puede obtener a partir de los factores internos que dependen en el proceso de producción mercantil, según las formulaciones siguientes:

$$PTe = CTe + \frac{(CT_{otros} + Ga)}{(Beq * 0,042)} - DAe \quad (5)$$

Donde:

CTe; es el costo termoeconómico del proceso, expresado en cup/(GJ.año)

CT_{otros}; es el costo anual sin considerar los relacionados con el combustible y sus instalaciones de transformación, expresada en cup/año

Ga; es la ganancia anual de la institución, expresada en cup/año

$$Efic_{TE} = \frac{PTe}{(PTe + CTe + DAe)} \quad (6)$$

Debe notarse que para elevados valores de la Efic_{TE} cercanos al 100% indican la existencia de un proceso de producción o servicios que utiliza racionalmente la energía para su funcionamiento, es decir la tecnología de transformación energética será de elevado grado de perfección termodinámica

y utilizará una parte considerable de energía renovable que contribuye a la reducción del daño ambiental.

Al aplicar rigurosamente los principios de comportamiento termodinámico y económico de los sistemas de transformación de la energía según se afirma en (Cengel & Boles, 2014), (Agüero J, 2018) se podrán realizar conclusiones y propuestas pertinentes basadas en el diagnóstico termodinámico y ambiental. Se aplicaron las ecuaciones de cálculo anteriormente descritas en tres ejemplos de entidades de producción y servicio de la provincia de Matanzas.

Para el desarrollo de este trabajo fue necesaria la participación de estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad de Matanzas durante sus trabajos de diploma, el vínculo profesional existente entre el programa de maestría de tecnología energética, la Onure y el sector empresarial antes mencionados.

Para las tres entidades se determinaron la productividad y eficiencia termoeconómicas así como el daño ambiental estimado financieramente. La información de partida se obtuvo de la oficina nacional de uso racional de la energía ONURE de Matanzas durante sus pruebas de evaluación del desempeño energético aplicando las normas cubanas al respecto (Oficina Nacional de Normalización (ONC), 2011), las entidades son los Hoteles Meliá las Antillas y el Ocean Azul, así como también la Empresa Conformadora de Metales de Matanzas (CONFORMAT). En todos los casos la moneda empleada fue el cuc que estaba vigente en el momento de los estudios realizados. Ver tabla 1.

Tabla 1. Indicadores de desempeño energético y ambiental

Entidad / (año)	Ingresos (mm cuc)	Gastos energía (mm cuc)	Consumo energía equivalente		Intensidad energética (teq/mm cuc)	Costo termoeconómico (cuc/GJ)	Nuevos índices de desempeño energético ambiental	
			teq	GJ			Productividad termoeconómica (cuc/GJ)	Eficiencia termoeconómica (%)
Hotel Meliá (2017)	15,58	0,872	1671	70166	0,107	33,65	219,6	85,89

Hotel Ocean (2018)	22,2	1,215	1800	75600	0,081	52,21	289,2	84,73
Conformat (2019)	12,5	0,327	540,3	22693	0,043	61,83	545,6	89,82

Fuente: elaboración propia

En la tabla 1 se tuvo en cuenta algunas aproximaciones para completar el estudio, con un enfoque hacia dentro de cada proceso productivo o de servicios. Tal es el caso de: el costo termoeconómico (CTe) se obtuvo a partir de los gastos financieros por uso de portadores energéticos y de un capital de amortización anual equivalente de 10%, así como que los gastos estimados por daño ambiental se consideraron ascendentes al 1,1% del valor de la producción mercantil y fueron obtenidos según (Vizcón Toledo, Diagnóstico Termodinámico de Sistemas energéticos, 2020).

Según cálculos realizados por las ecuaciones (4) y (6) cuyos resultados se aprecian en la tabla 1, la eficiencia termoeconómica aumenta con valores mayores de la productividad termoeconómica y también aumenta con valores menores de la intensidad energética.

Véase las figuras 2 y 3.



Figura 2. Influencia de la PTe en la Efic_{TE}.

Fuente elaboración propia

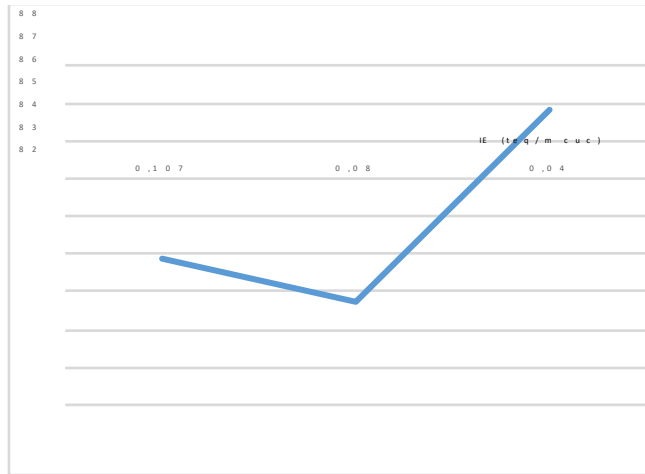


Figura 3 Influencia de la IE en la Eficiencia.
Fuente elaboración propia

Del análisis de las figuras 2 y 3 anteriores se aprecia la necesidad de que para cada rama de la producción y servicios debe tenerse valores de referencia o patrón para la productividad y eficiencia termoeconómicas que permitan evaluar el desempeño energético ambiental externamente a partir de la información estadística que se capta. Esto se evidencia en el análisis realizado al no poder comparar hoteles con la industria mecánica. También se puede considerar que a mayores gastos financieros relativos en energía son más bajos los valores de la eficiencia termoeconómica, aunque esta última depende también de la productividad termoeconómica y del costo por daño ambiental debido al uso de fuentes no renovables de energía.

Se concluye, considerando los propósitos de este trabajo y cómo fueron alcanzados, el que resulte necesario destacar la evaluación termoeconómica de los procesos de transformación de la energía, unida a la caracterización de la producción mercantil de una entidad productiva o de servicios, utilizando estos dos nuevos índices de sostenibilidad energética y ambiental, a saber la productividad y eficiencia termoeconómicas. Esto permite una valoración integral que tiene en consideración la cantidad de energía que se utiliza y se compara con los valores del patrón para estos nuevos indicadores que cada rama de la actividad humana considere como racional.

Referencias bibliográficas

- Abdollah Kavousi-Farda, A. A. (2021). An effective secured peer-to-peer energy market based on blockchain architecture for the interconnected microgrid and smart grid. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. ELSEVIER, <https://www.elsevier.com/locate/ijepes>.
- Agüero J, R. F. (2018). *Energy management based on productiveness concept*. Renewable and sustainable energy reviews.
- Cengel & Boles. (2014). *Termodinámica*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Consejo de Estado de la República de Cuba. (2019). *Decreto Ley 345 "Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía"*. Habana: Gaceta Oficial de la República de Cuba.
- Kwak, C. U.-Y. (22 de marzo de 2020). *Role of Waste Cost in Thermoeconomic Analysis*. Seoul, Korea: MDPI. Recuperado el 2 de junio de 2020, de *Entropy* 2020, 22, 289 : www.mdpi.com/journal/entropy
- Oficina Nacional de Normalización (ONC). (2011). *Sistemas de Gestión de la Energía. norma ISO 50001*. La Habana: Comité Técnico de Normalización NC/CTN 107. (ISO 50001:2011, IDT).
- Vizcón Toledo, R. (2020). Diagnóstico Termodinámico de Sistemas energéticos. *Monografías Universidad de Matanzas*, ISBN: 978 - 959 - 16 - 4472 - 5. Recuperado el 25 de enero de 2021, de <https://cict.umcc.cu>: https://www.researchgate.net/publication/342814397_DIAGNOSTICO_TERMODINAMICO_DE_SISTEMAS_ENERGETICOS
- Vizcón Toledo, R., & otros. (2021). La productividad termoeconómica como nexo entre la eficiencia y sustentabilidad de los ecosistemas. *X Convención Científica Internacional de la Universidad de Matanzas, CIUM '2021*. Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas.
- WEC. IEA. (2018). *World Energy Outlook*. Recuperado el noviembre de 2019, de <http://www.iea.org/weo>.