METODOLOGÍA DE CALCULO DE INDICES PREFACTIBILIDAD TERMOECONÓMICA Y AMBIENTAL. ESTUDIO DE CASOS

METHODOLOGY FOR CALCULATION OF THERMO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL PRE-FEASIBILITY INDICES. STUDY OF CASES

Dr. C. Roberto Vizcón Toledo ((0000-0002-5406-5390), Universidad de Matanzas,
roberto.vizcon@umcc.cu

Resumen

Desde el año 2021 la Universidad de Matanzas se estudian nuevos indicadores para complementar cálculos de prefactibilidad económica-energética-ambiental que a su vez caracterizan el estado real del proceso de transición energética de una entidad. Se desarrolló una nueva metodología basada en la experiencia en el campo teórico y experimental de los investigadores y en estudios iniciados desde el año 2018 con estudiantes de pregrado y postgrado universitario, los indicadores nuevos desarrollados son Productividad (PTe) y Eficiencia (ETe) termoeconómicas. Se recopiló y procesó información internacional y la registrada de la oficina nacional de estadística de Cuba (ONE) y de entidades correspondientes a las ramas de la economía de Turismo, Energía, Industria y Educación superior y otras de subordinación territorial Matanzas del período comprendido entre 2017-2023. Los resultados obtenidos indican la necesidad de establecer valores de referencia sectorialmente que permitan hacer los análisis energéticos de mejoras y las líneas de bases correspondientes para estos nuevos indicadores de desempeño energético.

Palabras claves: *energía, medio ambiente, eficiencia energética, energía renovable*

Summary

Since 2021, the University of Matanzas has been studying new indicators to complement economic-energy-environmental prefeasibility calculations that characterize the real state of the energy transition process of an entity. A new methodology was developed based on the researchers' experience in the theoretical and experimental field and on studies initiated since 2018 with

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

undergraduate and graduate university students. The new indicators developed are thermoeconomic Productivity (PTe) and Efficiency (ETe). International information was collected and processed and that registered from the national statistics office of Cuba (ONE) and from entities corresponding to the branches of the economy of Tourism, Energy, Industry and Higher Education and others of territorial subordination Matanzas for the period between 2017 -2023. The results obtained indicate the need to establish sectorial reference values that allow energy analyzes of improvements and the corresponding baselines for these new energy performance indicators to be carried out.

Keywords: *energy, environment, energy efficiency, renewable energy*

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

La transición energética (Kochanek, 2021), (Lantz, 2021) (Korkeakoski-Filgueiras, 2022), comprendida como un proceso hacia el ahorro y el uso racional, eficiente de la energía y con acelerada utilización de las fuentes renovables de energía, requiere contar con índices de desempeño energético (Normas cubanas: ISO; 50001, 50002, 50003) y otros nuevos, que caractericen muy bien la situación actual y perspectiva para las tecnologías energéticas en funcionamiento, modernización y remplazo por renovación.

Los índices y metodologías que caracterizan las tecnologías energéticas parece que son suficientes, algunos como: costo termoeconómico (CTe); eficiencia termodinámica [energética (Ne) y exergética(Nex)]; renovabilidad de la energía consumida(RE); emisiones contaminantes; análisis de ciclo de vida(PHVA), prefactibilidad económica(VAN, TIR); e intensidad energética(IE), todos estos entre los principales, son los más difundidos (Vizcón Toledo, 2020) y (Nelson, 2021)

La prefactibilidad, conceptualmente suele emplearse en el ámbito empresarial y comercial. En un estudio de prefactibilidad, se toman en cuenta diversas variables y se reflexiona sobre los puntos centrales de la idea**.** Si se estima que su implantación es viable, la idea se transformará en un proyecto que será sometido, ahora sí, a un estudio de factibilidad. Este es el último paso antes de que el proyecto se materialice. Se suele recopilar toda la información posible para ponerla a consideración. *Lo que permite un estudio de prefactibilidad es minimizar el riesgo*: si se advierte que la idea no es factible, puede descartarse sin mayores daños, ya que aún no se habrá concretado el grueso de la inversión que supone la concreción del proyecto (Merino, 2015).

En la búsqueda de nuevos índices, más integradores y específicos de la generación y su uso eficiente y racional de la energía, es que se proponen nuevos índices, estos son: productividad termoeconómica (PTe), daño ambiental estimado económicamente (DAe) y eficiencia termoeconómica (ETe), (Vizcón Toledo & otros, 2021) , (Vizcón Toledo & otros, 2021) y (Vizcón.etal, 2021)

De los nuevos índices propuestos y desarrollados se han realizado cálculos que aparecen en las publicaciones antes mencionadas y se anexan como estudio de casos.

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

PASOS DE LA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LOS NUEVOS ÍNDICES DE PREFACTIBILIDAD TERMOECONÓMICA Y AMBIENTAL

La presente herramienta es útil en la determinación de mejoras a realizar para hacer más eficiente y racional o para modernizar un proceso de transformación y uso de la energía de una entidad productiva o de servicios en funcionamiento. Pero también será muy conveniente cuando se trate de proponer nuevas tecnologías energéticas tanto convencionales como de máximo potencial.

GLOSARIO DE TÉRMINOS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA AMBIENTAL

Intensidad energética (**IE**)

Expresa la cantidad de combustible equivalente consumido por un sistema con una o más tecnologías de transformación de la energía, para la producción mercantil asociada al proceso de producción o servicios objeto de estudio. sus unidades de medida son (kg/peso), este indicador se puede calcular a partir de los registros estadísticos (modelo 5073) de la Oficina nacional de Estadística. En Cuba se pueden esperar valores entre 0,1-10 (kg/peso) según sea el tipo de institución o entidad.

Productividad termoeconómica (**PTe**)

Expresa el valor de la producción mercantil (para una empresa de producción o servicios) o el valor del presupuesto ejecutado (para una entidad no empresarial) que se obtiene a partir del consumo de una cantidad de energía durante su funcionamiento durante un mes o un año. Sus unidades de medida son (cup/GJ.año). Cada sector o rama de la economía debe trazar este nuevo indicador a partir de los valores existentes de la intensidad energética (**IE**). En Cuba se pueden esperar valores entre 10-10000 (cup/GJ.año) según sea el tipo de institución o entidad.

Daño ambiental estimado por el consumo de combustibles fósiles (**DAe**)

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

Expresa el valor financiero estimado de los gastos monetarios en que debe incurrir una entidad cualquiera que utilice energía en su desempeño. Ya desde 1991 el Instituto del Hidrógeno en la Florida, EEUU (Barbir, 1990), (Veziroglu, 1998) expresaron que las cantidades de dinero a gastar para atenuar 33 tipos de daños ambientales al combustionar los combustibles de origen fósil. Actualmente muchos países y regiones geográficas tienen estimados los daños provocados y su monto financiero estimado que con el paso del tiempo por el cambio climático se han ido incrementando.

Eficiencia termoeconómica (**ETe**)

Caracteriza el grado de utilización racional y eficiente de los recursos financieros y de la energía consumida en un proceso de producción o servicios que utiliza la energía para su funcionamiento, valores elevados indican que 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 costo termoeconómico y del daño ambiental.

La huella ecológica (**He**)

Caracterizada por el impacto ambiental del uso de combustible fósil en una instalación de transformación de energía dada por el consumo de fuentes de energía no renovable, se considera, según estudio referenciado, por cada 2,5 toe se debe tener sembrado una hectárea de bosques que puedan absorber en un año las emisiones de los contaminantes atmosféricos como el CO2.

La renovabilidad de la energía consumida (**RE**)

Toda instalación de transformación de energía puede gastar en su funcionamiento energía de origen fósil o de fuentes renovables, mientras mayor sea este indicador entonces mejor será el posicionamiento en su estado de transición energética hacia el uso racional y eficiente de la energía.

1. DATOS DE PARTIDA NECESARIOS
    a) En caso de una entidad en funcionamiento, se requiere conocer los índices de intensidad energética planificados y reales de la institución objeto de estudio por un período de un mes

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

y un año al menos. Se debe partir de la información estadística registrada en el modelo 5073 que incluye todos los tipos de portadores energéticos utilizados durante el trabajo, así como el valor de la producción mercantil obtenida. También se debe contar con los informes de balance económico de la institución para iguales períodos que los datos de partida. Se debe contar al menos con el valor económico actual y su amortización anual de las instalaciones de uso y transformación de la energía, así como los costos de los portadores energéticos consumidos y los costos de operación y mantenimiento correspondientes a la tecnología energética. En caso necesario se debe también contar con la información de balance energético y exergético realizados.

b) En caso de una entidad nueva proyectada, se requiere conocer los índices de intensidad energética planificados por el sector de la economía correspondiente. También se debe conocer todos los tipos de equipos de uso y transformación de la energía con los cuales se contará para el funcionamiento, los portadores energéticos a ser utilizados, así como el valor de la producción mercantil esperada. Se debe conocer el monto de la inversión a ejecutar y los cálculos del ciclo de vida útil (PHAV), especialmente el VAN y el TIR.

2. ECUACIONES DE CÁLCULO

a) Determinación del consumo total de combustible equivalente (Beq; toe)) a partir de las cantidades de cada portador energético y mediante su conversión a partir de la siguiente equivalencia:

• 1 toe significa un calor específico de combustión (valor calórico, potencia calorífica) de 43,26GJ

• 1 tonelada de petróleo crudo es la misma cantidad en combustible equivalente de 1 toe

• 1 tonelada de Diésel equivale a 1,0534 toe

• 1 tonelada de gasolina equivale a 1,0971 toe

• 1 tonelada de gas licuado de petróleo (GLP) equivale a 1,163 toe

• 1 MWh de energía eléctrica en Cuba (2022) equivale a 0,275 toe

• 43,26 GJ de una fuente energía renovable equivale a 1 toe

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

b) Determinación del costo termoeconómico de la energía consumida en el proceso de transformación de la energía **CTe** (cup/GJ.año) a partir de conocer Los costos de la energía consumida **Ce** (cup/GJ.año), el costo anual de amortización de la tecnología de transformación y uso de la energía **Ca** (cup/GJ.año), así como los costos anuales de operación y mantenimiento **Com** (cup/GJ.año), según la expresión siguiente:

$$CTe = Cex + Ca + Ccom \quad (1)$$

Si además se quiere conocer el costo exergoeconómico de la exergía útil producida (CTex), asignándole todos los costos exergéticos de entrada a costo exergético de salida útil, en el proceso de transformación de la energía, se plantea que:

$$CTex = \frac{CTe}{\eta_{ex}} = \frac{Cex + Ca + Ccom}{\eta_{ex}} \quad (2)$$

Donde

η_{ex} es el rendimiento exergético calculado a partir del balance energético y exergético de la instalación.

Se considera que la cantidad de exergía contenida en la energía consumida coincide con energía consumida (para el caso de energía eléctrica y combustibles orgánicos), por lo cual Ce=Cex.

c) Determinación de la productividad termoeconómica de la entidad **PTe** (cup/GJ.año), a partir de conocer la intensidad energética **IE** (kg/cup.año) calculada según el modelo estadístico 5073, según la expresión siguiente:

$$PTe = \frac{1}{(IE \mid 0,042)} \quad \text{(cup/GJ.año)} \quad (3)$$

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

d) Determinación del daño ambiental estimado. En caso que se considere el daño ambiental estimado **DAe** (cup/GJ.año) financieramente por quemar combustibles fósiles.

Ya desde 1991 el Instituto del Hidrógeno en la Florida, EEUU (Barbir, 1990), (Veziroglu, 1998) expresaron que las cantidades de dinero a gastar para atenuar 33 tipos de daños ambientales al combustionar los combustibles de origen fósil, algunos de sus valores eran para entonces:

- 11% del PIB de la actividad económico social
- 12,5 USD/(GJ.año) para cualquier tipo de combustible fósil tipo petróleo.
- En el caso de Cuba en el período 2013-2018 donde se ha estimado con la información de anuarios estadísticos de la ONEI que entre el (0,6-0,7) % del PIB se emplea en inversiones que reducen el daño ambiental, lo cual también representa gastos entre (1,1-1,6)USD/GJ.año dados por los consumos de combustible de origen fósil (Vizcón.etal, 2021)

la expresión anterior (3) de calcular la PTe, se podría modificar según:

$$PTe = \frac{1}{(IE \mid 0,042)} - DAe \text{ ;} \qquad \text{(cup/GJ.año)} \qquad (4)$$

e) Determinación de la Eficiencia termoeconómica (ETe)

$$ETe = \frac{PTe}{PTe + CTe + DAe} \qquad \text{; adimensional} \qquad (5)$$

Cuando se presenta la disminución de la eficiencia termodinámica energética (Ne) y exergética (Nex) se produce un incremento de los gastos de energía consumida y por tanto de sus costos económicos. 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.

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

f) Determinación de la Huella Ecológica (He). Según (Vizcón Toledo, Diagnóstico Termodinámico de Sistemas energéticos, 2020)

$$He = \frac{toe}{2{,}5}; \text{ ha} \qquad (6)$$

g) Determinación de la Renovabilidad del consumo o gasto de energía (**RE**). Según (Vizcón Toledo, Diagnóstico Termodinámico de Sistemas energéticos, 2020)

$$RE = \frac{toeFRE}{toe}; \text{ adimensional} \qquad (7)$$

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

Anexos. Entidades consideradas como casos de estudio. Datos, su procesamiento y discusión de resultados

Tabla 1. Indicadores energéticos y económicos a escala mundial. Año 2018

Países	**Consumo de petróleo equivalente (Beq)**	**Producto interno bruto (PIB)**	**Intensidad Energética (IE)**	**Productividad termoeconómica (PTe; PIB/Energía) (no incluye DAe)**
Nombre/unidad de medida	[10^{6}·t]	[10^{6}·usd]	[kg.usd^{-1}]	[usd.GJ^{-1}]
China	3273,5	11530456	0,2839	83,8658
EEUU	2300,6	19139884	0,1202	198,0838
India	809,2	2354689	0,3437	69,2833
Rusia	720,7	1402938	0,5137	46,3484
Japón	454,1	4195748	0,1082	219,9929
Canadá	344,4	1550895	0,2221	107,2186
Alemania	323,9	3435990	0,0943	252,5758
Corea del Sur	301	1457579	0,2065	115,2966
Brasil	297,6	1584004	0,1879	126,7284
México	286,9	1034622	0,2773	85,8622
Irán	285,7	377735	0,7564	31,4795
Arabia Saudita	259,2	665980	0,3892	61,1754
Francia	242,6	2418997	0,1003	237,4079
Cuba	10,2	84693	0,1204	197,6961
España	74,8	1244757	0,0601	396,2175
Total	9984,4	52478967	0,1903	125,1451
Valores promedios	**-**	**-**	**0,2484**	**147,15**

En la tabla 1, para el caso de Cuba, los valores históricamente registrados de la intensidad energética según (Oficina nacional de estadísticas (ONEI). CUBA, 2018) están alrededor de IE=(0,10-0,30)kg.$\$^{-1}$.

El comportamiento anterior, visto a escala nacional para instituciones cubanas en diferentes casos de entidades con organización de tipo empresarial, de servicios y presupuestadas se aprecia en las tablas 2, 3 y 4 siguientes.

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

Tabla 2. Información sobre la actividad económica y energética de entidades cubanas. Años 2017-2019

							Nuevos índices de desempeño energético ambiental	
Entidad / (año)	**Ingresos (mmcuc)**	**Gastos energía (mmcuc)**	**Consumo energía equivalente**		**Intensidad energética (teq/mcuc)**	**Costo termoeconómico (cuc/GJ)**	**Productividad termoeconómica (cuc/GJ)**	**Eficiencia termoeconómica (%)**
			teq	**GJ**				
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

En la tabla 2 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).

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

Tabla 3. Información sobre la actividad económica y energética de entidades cubanas. Años 2019-2020

Institución	**Consumo de petróleo equivalente (Bce)**	**Producto interno bruto (PIB)**	**Intensidad Energética (IE)**	**Productividad termoeconómica (PTe; PIB/Energía) (no incluye DAe)**
Nombre/unidad de medida	(toe)	(10^3.cup)	(kg.·cup^{-1})	(cup.GJ^{-1})
Central Termoeléctrica "Antonio Guiteras Holmes" Año 2019	600000	257500	2,33	10,22
Universidad de Matanzas (sep-dic)/2019	133,196	10667 (presupuesto)	0,0125	1906,78
UEB CUBIZA de Matanzas (ene-dic)/2019	173,76	1803,1	0,096	247,1
EMPET División Occidente (ene-may)/2020	94,214	5396,4	0,0175	1363,77

En la tabla 3, para las centrales termoeléctricas la intensidad energética (IE) se encuentra en el rango de 2 hasta 3. En las fábricas productoras de cemento la intensidad energética oscila entre IE= (0,4-1,2)kg.$^{-1}$ ya que el 50% del costo de producción se debe a los gastos de energía del proceso. En Universidades con organización presupuestada el valor de la productividad termoeconómica es elevada dado el carácter de su proceso con peso significativo del intangible capital humano y por el reducido gasto de energía.

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

Tabla 4: Consumo de portadores energéticos expresados en toneladas de combustible equivalente (toe) año 2018, Universidad de Matanzas.

Tipo de energía (portador)	toe /portador	% del total toe
Energía eléctrica	353.85	66,27
Diésel	68.37	12,8
Gasolina	36.72	6,9
Fueloil	57.59	10,8
GLP	17.43	3,23
FRE (8 calentadores solares de agua – tipo LPC 47-1510-30 ACF)	0,89	0,17
Total (toe)	533.96	100

A partir de la información anterior y otras provenientes todas del informe de cierre económico de la Universidad de Matanzas en el año 2018, Tales como:

- el presupuesto anual del año 2018 fue de 30MMcup y que se gastó en energía 106,8Mcup, que representó un monto de 0,36% del total ejecutado

- el costo de la energía según los consumos en toe alcanza el valor de 4,65cup/(GJ.año) y el costo termoeconómico (CTe), considerando la amortización de las tecnologías de transformación energética en su conjunto, su mantenimiento, su eficiencia exergética y el daño ambiental estimado, este asciende a unos 22cup/(GJ.año).

Se realiza entonces el cálculo de los indicadores antes mencionados y se representan sus resultados en la figura 1.

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

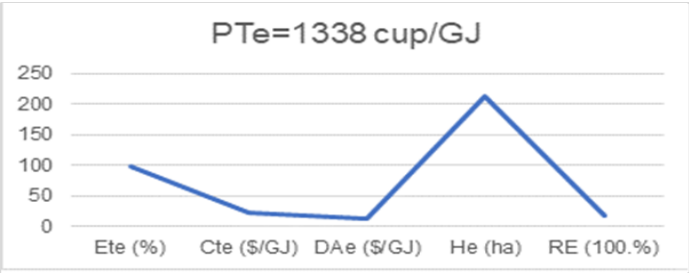


Figura 1: Relación de algunos indicadores que caracterizan la transición energética para el sistema de gestión de la energía, año 2018, según (Vizcón & Valdés, 2022)

Los resultados para el año 2018 indican el insuficiente peso del consumo de energía en los indicadores, pero al repetir estos cálculos con los valores del año 2022, de energía menos subsidiada y la reforma económica de salarios, el valor del costo de la energía consumida se incrementa en 4,9 veces y así el resto de los indicadores tendrían valores diferentes y más consecuentes con la necesidad de incrementar la sostenibilidad energética y ambiental

La productividad (PTe) y eficiencia (ETe) termoeconómicas calculadas, son valores que antes de los cambios económicos expresados aparentan ser muy adecuados, pero no es así. La huella ecológica (He) respecto a la superficie total abarcada por la universidad no la cubre más que al 30,5% es decir hay déficit, y menos aún dado el grado de áreas boscosas existente. La renovabilidad de la energía (RE) consumida es muy baja, pero indica que se debe incrementar las instalaciones energéticas que usen fuentes renovables de energía.

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

Tabla 5. Hotel Royaltón Hicacos de Varadero. Año 2021.

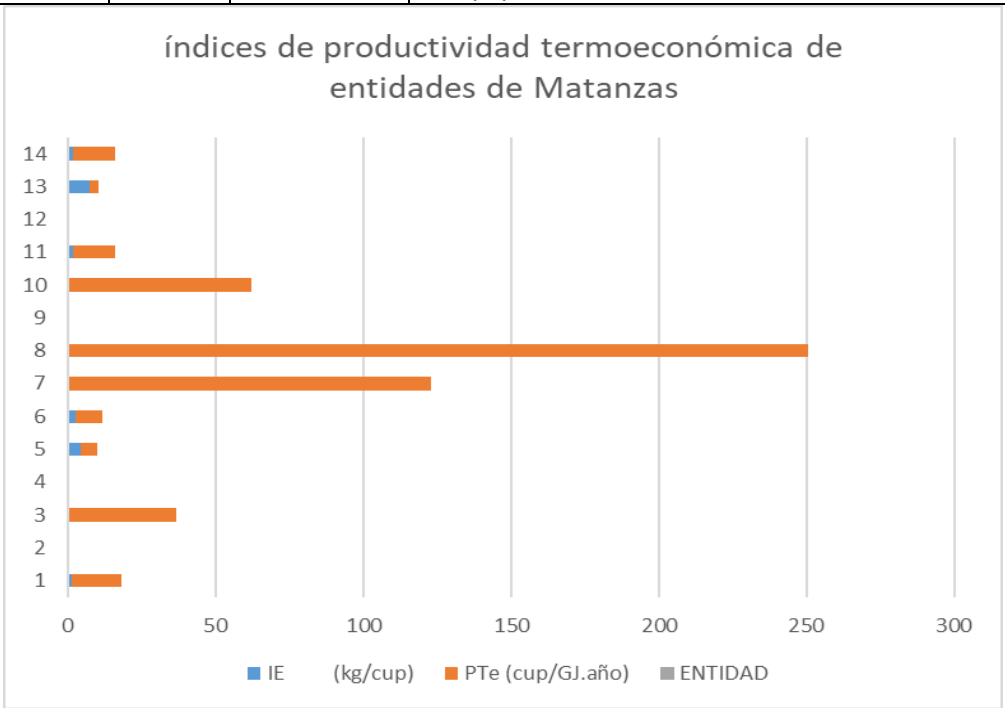
ingresos (usd/año)	Consumo toe electricidad (kg/año)	Consumo toe GLP (kg/año)	Consumo toe motor (kg/año)	consumo toe (kg/año)	Costo de la exergía consumida Cex ($/GJ.año)	Intensidad energética IE (kg/$)	Daño ambiental DAe (usd/GJ.año)	Productividad termoecnómica PTe (usd/GJ.año)	Eficiencia termoeconómica ETe (%)	% de gastos en energía respecto a ingresos
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
204161367,07	*1242905,68*	*418963,00*	*8549,91*	*1670418,59*	*179,85*	*0,01*	*1,60*	*2908,44*	*94,13*	*6,18*
			ECUACIONES DE CALCULOS DE CONVERSIÓN E INDICADORES							
Matriz energética:										
			Beq=0,275*A+1,05*B*0,8+1,09*C*0,75+1,16*D							
% energ.elect	*74,41*									
%GLP	*25,08*		; PARA ENERGÍA ELÉCTRICA ,FACTOR=0,275							
% comb. Motor	*0,51*		; PARA DIÉSEL, FACTOR=1,05*0,8							
			; PARA GASOLINA, FACTOR=1,09*0,75							
			; PARA GLP, FACTOR=1,16							
			; PARA FUEL OIL=1							

En la tabla 5, este hotel no reporta uso de fuentes renovables de energía y en realidad los gastos de GLP (25,05% del total de la energía consumida) en proceso de producción de agua caliente sanitaria podrían ser sustituidos casi totalmente, esto permitiría aumentar la PTe, ETe, reducir el valor del DAe y comenzar a utilizar las FRE en cumplimiento del DL-345 de Cuba.

ISBN: 978-959-16-5074-0

Tabla 6. Datos captados por estudiantes en su trabajo de curso de introducción a la ingeniería mecánica de la Universidad de Matanzas. Años 2021 y 2022

PM (mmcup/(año))	IE (kg/cup)	PTe (cup/GJ.año)	ENTIDAD	periodo evaluado
0,41	1,4233	16,72771	1-Materia Prima Matanzas/2021	2021
3,5	0,6582	36,16898	3-Mipyme Taller Prod. Plástico/2022	2022
14	4,3715	5,446454	5-Empresa Ferroviaria J.V. Reyes/2021	2021
14,4	2,7062	8,797976	6-UEB EMTA "Transformado de acero "Jovellanos/2021	2021
20	0,1941	122,6662	7-ARCOS_Varadero_Micons/2022	2022
22,89	0,0949	250,6352	8-EMIAT #2/2022	2022
66,13	0,3868	61,54360	10-Empresa de Servicios Automotores S.A/2021	2021
118,4	1,6589	14,35247	11-Conformat/2022	2022
61506	7,1588	3,325881	13-Termoeléctrica Antonio Guiteras/2022	2022
3000	1,6729	14,23234	14-Epepc/2022	2022



En la tabla 6 la relación de entidades seleccionadas en ningún caso hace uso de las fuentes renovables de energía, y los valores calculados de la intensidad energética y de la productividad termoeconómica están afectados por el período de Pandemia Covid 19 y por el bloqueo de EU hacia Cuba.

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

Tabla 7. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey” de Matanzas. Año 2023

Energía electrica consumida, EE (MWh)	Diesel consumido, DI(mil litros)	Gasolina consumida, GA(mil litros)	Gas licuado de petróleo consumido, GLP(mil kg)	fueloil consumido, FU(mil litros)	Combustible equivalente total consumido, EQ(toneladas)	Portador energético de mayor uso en matriz energética, % USE	(Presup+Ingreso) (mmcup/(año))	Intensidad energética (IE; kg/mcup)	productividad termoeconómica (PTE; mcup/GJ)	Costo termo-económico de la energía consumida (mcup/GJ)	Daño ambiental estimado por combustión, (mcup/GJ)	Eficiencia termo-económica (%)	Huella ecológica (He; ha)	mes/año
16,79	14,02	7,16	0,00	0,00	22,25	52,94	3,82	5,82	4,09	0,52	2,34	58,91	8,90	ene-23
14,64	20,57	3,09	0,00	0,00	23,83	72,51	4,68	5,09	4,68	0,52	2,50	60,75	9,53	feb-23
14,51	12,09	4,44	0,32	0,00	18,14	55,98	4,76	3,81	6,25	0,50	1,90	72,21	7,26	mar-23
13,52	6,08	2,12	0,05	0,00	10,61	48,13	4,64	2,29	10,41	0,43	1,11	87,08	4,24	abr-23
16,77	9,27	1,75	0,36	0,00	14,25	54,66	4,61	3,09	7,71	0,43	1,50	79,98	5,70	may-23
20,51	11,31	1,87	1,80	0,00	18,76	50,65	5,99	3,13	7,60	0,43	1,97	75,98	7,50	jun-23
96,74	73,34	20,43	2,52	0,00	107,83	57,13	28,51	3,78	6,30	0,48	1,89	72,66	43,13	(ene-jun)/2023

CALCULOS DEL COMBUSTBLE EQUIVALENTE
EQi=Fi*0,275*Ai+1,05*Bi*0,8+1,09*Ci*0,75+1,16*Di+0,97*Ei

%USEi=100*(FACTOR*Bi/Fi) ; PARA ENERGÍA ELÉCTRICA ,FACTOR=0,275
; PARA DIÉSEL, FACTOR=1,05*0,8
"%USEi, calculado para diésel ; PARA GASOLINA, FACTOR=1,09*0,75
el portador de mas consumo" ; PARA GLP, FACTOR=1,16
; PARA FU, FACTOR=0,97

IEi=Fi/Hi 1 GJ de energía se considera 23,8 kg
PTEi=1/(Ii*0,042) de combustible equivalente

Costos de portadores energéticos

Electricidad	3cup/kWh
Diésel	25cup/L
Gasolina	30cup/L
GLP	20cup/L
Fueloil	10cup/L

Daño ambiental estimado por combustión

*El 11% del PIB o de PM
*300 cup/(GJ.año)
*2,5 veces precio energía fósil consumida

La EEPF INDIO HATUEY UTILIZA LAS FREs, aunque no se contabilizó el índice (RE) en informe. Usan instalaciones de: bombeo solar, biodigestores motogenerador de electridad con gasificador de biomasas y los PFV

En tabla 7 se aprecia que en los meses de enero y febrero son insuficientes los valores de los indicadores calculados siendo el desempeño termoeconómico y ambiental por debajo del comportamiento de los 4 meses restantes del semestre. La estación Indio Hatuey utiliza las FREs aunque no se contabilizó en el informe el índice (**RE**). Usan instalaciones de: bombeo solar, biodigestores, motogenerador de electridad con gasificador de biomasas y paneles fotovoltaicos.

Se concluye que el estudio de prefactibilidad termoeconómica y ambiental permite caracterizar la transición energética mediante su dimensión tecnológica, según la productividad termoeconómica PTe y eficiencia termoeconómica ETe enlazadas con el daño ambiental DAe de tecnologías energéticas. Esto indica por primera vez la necesidad de: calcular estos nuevos indicadores de desempeño energético y proponer sus valores por sectores de la economía y territorios así como según sea el tipo de institución o entidad; integrar estos 3 conceptos que bien caracterizan

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0

técnicamente la transición energética de una entidad, institución o países; cada tipo de actividad productiva o de servicios (P+S) tiene valores a calcularse y ser comparados con patrones que están por definirse; identificar que cuando la renovabilidad de la energía consumida aumenta, también aumenta la PTe y la ETe, así como disminuye el DAe; y que a calcular la ETe, se caracteriza la racionalidad termoeconómica y ambiental de la actividad de P+S que se desarrolle

Referencias bibliográficas

Barbir, F. (1990). Enviromental Damage Due to Fossil Fuel Use. Vol. 15(# 10, pág. 739-749).

Kochanek, E. (2021). The Energy Transition in the Visegrad Group Countries. Energies (14, 2212. https://doi.org/10.3390/en14082212).

Korkeakoski-Filgueiras. (2022). Una mirada a la transición de la matriz energética cubana. Ingeniería energética, ISSN 1815-5901; septiembre-diciembre,.

Lantz, T. L. (2021). Understanding the correlation between energy transition and urbanization. Elsevier, https://doi.org/10.1016/j.eist.2021.06.002.

Merino, J. P. (2015). Definicion del concepto de prefactibilidad. Obtenido de https://definicion.de/prefactibilidad/

Nelson, L. R. (2021). PÉRDIDAS ENERGÉTICAS Y EXEGÉTICAS DEL GENERADOR DE VAPOR DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA ANTONIO GUITERAS. evento científico internacional Cium 2021, ISBN: 978-959-16-4547-0.

Oficina nacional de estadísticas (ONEI). CUBA. (2018). Series estadísticas 1998-2018. Medio Ambiente, Cuentas, consumo de energía. Recuperado el 10 de febrero de 2020, de http://www.onei.cu.

Veziroglu, T. (1998). Environmental damage for energy use. Coral Gables, FL, 1998.: Proceedings of the 12th WHEC, International Association for Hydrogen Energy.

Vizcón Toledo, R. (2020). Diagnóstico Termodinámico de Sistemas energéticos. Monografias 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

Universidad de Matanzas © 2023

ISBN: 978-959-16-5074-0

de Matanzas, CIUM'2021. Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas. ISBN:978-959-16-4547-0.

Vizcón, T., & Valdés, R. (2022). Transición energética desde las fuentes de energía fósiles hacia las renovables, sus dimensiones e indicadores. Matanzas: Monografías de la Universidad de Matanzas. ISBN 978-959-16-0295-4.

Vizcón.etal. (2021). ESTIMACIÓN ECONÓMICA DEL DAÑO AMBIENTAL QUE PROVOCA EL USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES. evento científico internacional CIUM 2021.

Universidad de Matanzas © 2023
ISBN: 978-959-16-5074-0