

**Artículo Original**

***EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DEL  
FRACCIONAMIENTO DE GASES DE REFINERÍA  
CIENFUEGOS S.A MEDIANTE EL ANÁLISIS EMERGÉTICO***

***EVALUATION OF GAS FRACTIONATION IN THE REFINERÍA  
CIENFUEGOS S.A SUSTAINABILITY THROUGH EMERGY ANALYSIS***

Roxana Cortés-Martínez <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2040-6548>  
Daylen Y. Font Prieur <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5656-9050>  
Gabriel O. Lobelles Sardiñas<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2128-6146>

<sup>1</sup> Departamento de Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cuatro Caminos, km 4 Carretera Rodas. Cienfuegos, Cuba.

<sup>2</sup> Refinería Cienfuegos S.A. Finca Carolina, km 3 ½. Código Postal- 55400. Cienfuegos, Cuba.

Recibido: Septiembre 10, 2019; Revisado: Octubre 19, 2019; Aceptado: Diciembre 2, 2019

**RESUMEN**

**Introducción:**

En la unidad de fraccionamiento de gases de la refinería de Cienfuegos se realiza la producción del Gas Licuado del Petróleo y de Nafta Virgen Ligera Estable con la mayor calidad posible. Sin embargo, el residual de este proceso aún no tiene el tratamiento adecuado por lo que no se cumplen las normas de vertimiento de residuales.

**Objetivo:**

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la sostenibilidad del proceso de la unidad de fraccionamiento de gases en Refinería Cienfuegos S.A mediante un análisis emergético.

**Materiales y métodos:**

Durante el desarrollo de la investigación se aplicó la metodología emergética desarrollada por (Odum, 1996) realizándole algunas adecuaciones.

**Resultados y Discusión:**

Como resultado se determinó que el 57,75 % del proceso de fraccionamiento depende de materiales de la economía y el 42,25 % se sustenta en los recursos naturales. Se cuantificó la transformidad del GLP (como 1,4984E+13 seJ/J) y la de NVLE (como a 9,0531E+12 seJ/J) demostrándose con estos resultados una correcta remoción de los productos de azufre; esta particularización para el sistema de fraccionamiento tiene



Copyright © 2020. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Roxana Cortés, Email: [rcortes@ucf.edu.cu](mailto:rcortes@ucf.edu.cu)



especial relevancia para la replicación de estudios emergéticos en procesos similares de este tipo en el país. El índice de sostenibilidad emergética (ESI) calculado fue 1,21 que indica que el proceso no es sostenible a largo plazo, pero sí contribuye al desarrollo local.

**Conclusiones:**

Por consiguiente, el sistema debe ser reestructurado para mejorar su eficiencia y permitir un aprovechamiento eficaz de los recursos, además de proponer posibles alternativas que pueden contribuir a un mejor desempeño del sistema.

**Palabras clave:** emergía; fraccionamiento de gases; sostenibilidad; transformidad.

**ABSTRACT**

**Introduction:**

In the gas fractionation unit of Cienfuegos refinery, the production of Liquefied Petroleum Gas and Stable Light Virgin Naphtha are produced with the highest possible quality. However, this process residual does not have the appropriate treatment yet, so waste disposal regulations are not met.

**Objective:**

To evaluate the sustainability of gas fractionation unit process at Refinería Cienfuegos S.A through an emergent analysis.

**Materials y Methods:**

During the research development, the emergy methodology developed by (Odum, 1996) was applied making it some adjustments

**Results y Discussion:**

It was determined that 57.75 % of fractionation process depends on economy materials and 42.25% is based on natural resources. The transformability of LPG (such as 1.4984 E+13 seJ/J) and that of NVLE (such as 9.0531 E+12 seJ/J) was quantified, demonstrating with these results a sulfur products correct removal; this fractionation system particularization has special relevance for emergy studies replication in similar processes in the country. The index of emergent sustainability (ESI) calculated was 1.21 which indicates that the process is not sustainable in the long term, but it contribute to local development.

**Conclusions:**

Therefore, the system must be restructured to improve its efficiency and allow efficient resources use, in addition to proposing possible alternatives that can contribute to better system performance.

**Keywords:** emergy; gas fractionation; sustainability; transformation.

**1. INTRODUCCIÓN**

Los conceptos sobre el desarrollo sostenible establecidos por (WCDE, 1987) y ratificados en la Conferencia de la ONU sobre Desarrollo Sostenible (ONU-Río + 20, 2012) y en la Conferencia de la ONU sobre Cambio Climático (ONU-París, 2015) establecen relaciones fundamentales entre la energía, el agua y el medio ambiente en un contexto de equidad y justicia social, lo que ha generado paradigmas en el manejo y aprovechamiento eficiente de los recursos naturales y energéticos, con el objetivo de

alcanzar un ritmo sostenido y equitativo del crecimiento económico.

Actualmente la Refinería Cienfuegos S.A, situada en el centro sur de la isla de Cuba, como entidad que se dedica a la refinación y obtención de diferentes combustibles con un alto valor agregado, genera un elevado nivel de emisiones líquidas y gaseosas dado por los diferentes procesos que se desarrollan, los cuales tienen un impacto medioambiental. Sin embargo, no existen en estos momentos las condiciones tecnológicas necesarias para la mitigación de dichos efectos. Es decir, en las condiciones actuales se está incumpliendo la norma cubana (NC-521: 2007) que establece los límites permisibles de residuales líquidos que se vierten a la zona costera y los cuerpos receptores marinos. Como agravante de esta situación, la Fase I del Proyecto Expansión propone la incorporación de nuevas unidades de procesos que generarán un caudal de efluentes cáusticos con elevada concentración de contaminante, empeorando el efluente existente hasta una condición en que la Planta de Tratamiento de Residuales (PTR) actual de la refinería no tiene la posibilidad de asumir.

La Unidad de fraccionamiento de gases tiene como materia prima la fracción Pie 70°C inestable que no es más que nafta virgen ligera inestable proveniente de la destilación atmosférica, esta posee un alto contenido de azufre, por lo que la alimentación requiere mayor inyección de sosa cáustica para su absorción lo que conlleva a una mayor cantidad y frecuencia de sosa gastada. Esta sosa gastada, de coloración negra, es una mezcla de mercaptidos de sodio, sulfuro de sodio, hidrógenos sulfuro de sodio, agua y sosa cáustica, siendo los tres primeros compuestos productos de la reacción de la sosa cáustica con los mercaptanos y el H<sub>2</sub>S.

La emergía puede ser considerada como la “memoria energética” que es la memoria de toda la energía solar necesitada para sostener un sistema, tomando en consideración el trabajo que ha sido realizado previamente por el medio ambiente para producir un bien (Saldini et al., 2016). Las unidades de valor emergético constituyen una medida de la eficiencia ya que relaciona las entradas a una salida. A menor transformidad o emergía específica, más eficiente la conversión. La Síntesis Emergética, también conocida como Análisis Emergético o Metodología Emergética, es un método contable ambiental usado para evaluar exhaustivamente las relaciones de un sistema con sus alrededores naturales y antrópicos. En Cuba existe, como precedente a esta investigación, los trabajos realizados por (Calvo et al., 2005), (Valdés, 2017) y (Abreu, 2017). Sin embargo, en la industria cubana del petróleo aún no se han realizado investigaciones de este tipo por lo que este trabajo tiene como objetivo evaluar la sostenibilidad del proceso de la unidad de fraccionamiento de gases en Refinería Cienfuegos S.A mediante un análisis emergético.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Odum (1996), tomó la energía solar como base común para evaluar otras formas de energía puesto que en principio esta es la principal fuente del planeta si se considera un sistema termodinámico; aunque pueden tomarse otras bases como el carbón, electricidad, entre otras. En este sentido, la emergía se mide en joule equivalentes solares o emjoule solar, simbolizados como seJ, por su nombre en inglés (solar emjoule). Entonces, a diferencia del joule que expresa la cantidad de energía disponible que puede ser usada en el presente, el emjoule expresa la energía usada directa e

indirectamente para producir un bien o servicio (Voora y Thrift, 2010).

La metodología para la evaluación emergética consta de cinco etapas: definición de los límites de espacio y tiempo; representación gráfica; balances del sistema; cálculo de índices emergéticos y análisis de resultados. En la primera etapa, definición de los límites espacio-temporales del sistema, se enmarca la zona y el tiempo de estudio con el objetivo de cuantificar, con la mayor exactitud posible, las corrientes de entrada y salida del proceso. Una vez enmarcado este, se procede a la representación gráfica del sistema. Cada proceso de transformación se representa por una figura geométrica, las cuales forman parte de la Simbología Emergética creada por (Odum, 1996). Con la representación de cada componente del sistema con un símbolo emergético se conforma un diagrama emergético, de modo que se pueda mostrar gráficamente las entradas que deberán ser evaluadas y sumadas para obtener la emergía total consumida por el sistema. Una vez conformados los diagramas emergéticos se procede a la construcción de la tabla de contabilidad emergética a partir de los flujos de emergía identificados en los pasos anteriores, obteniéndose la emergía solar de cada corriente contabilizada multiplicando su flujo con la transformidad correspondiente. Después de construida la tabla de contabilidad emergética se procede al cálculo de los índices emergéticos con el propósito de caracterizar de forma más precisa y valorable al sistema. Los índices emergéticos se determinan de la siguiente manera:

### **2.1. Transformidad y emergía específica**

La transformidad ( $Tr$ ) es la relación entre la emergía total que ingresa en el sistema ( $Y$ ) y la energía de los productos que salen ( $E_p$ ), su unidad es en seJ/J. En la ecuación 1 se muestra su cálculo.

$$Tr = \frac{Y}{E_p} \quad (1)$$

La emergía específica se define como la emergía total ( $Y$ ) por unidad de masa de los productos de salida ( $P$ ) por lo que su unidad es usualmente seJ/g. Esta es calculada a través de la ecuación 2.

$$Em = \frac{Y}{P} \quad (2)$$

### **2.2. Razón de renovabilidad (Renewability Ratio, % R)**

La razón de renovabilidad representa la fracción de los recursos renovables ( $R$ ) respecto a la emergía total consumida por el sistema ( $Y$ ). Su cálculo se lleva a cabo mediante la ecuación 3.

$$\%R = \left(\frac{R}{Y}\right) \cdot 100 \quad (3)$$

### **2.3. Razón de carga ambiental (Environmental Loading Ratio, ELR)**

La razón de carga ambiental (ELR) compara la cantidad de recursos emergéticos no renovables y adquiridos de la economía ( $N+F$ ) con la cantidad de recursos renovables ( $R$ ). Para su cálculo se utiliza la ecuación 4.

$$ELR = \frac{N + F}{R} \quad (4)$$

#### 2.4. Razón de eficiencia energética (Emergy Yield Ratio, EYR)

La razón de eficiencia energética (EYR) es una medida de la habilidad del proceso para explotar y hacer disponible los recursos naturales por la inversión externa. Provee una mirada al proceso desde una perspectiva diferente ya que analiza la apropiación de los recursos locales lo que se interpreta como una contribución adicional a la economía. La ecuación 5 muestra la manera de calcular este índice.

$$EYR = \frac{R + N + F}{F} \quad (5)$$

#### 2.5. Índice de sostenibilidad emergética (Environmental Sustainability Index, ESI)

Si el ELR y el EYR se combinan se crea un índice de sostenibilidad siendo una medida de la potencial contribución del sistema (EYR) por unidad de carga impuesta al sistema local (ELR). Este índice se determina usando la ecuación 6.

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} \quad (6)$$

Por último, se procede a la interpretación de los resultados obtenidos, este paso de la metodología es muy importante, pues se define finalmente las condiciones del sistema analizado. En la Tabla 1 se resumen los indicadores previamente explicados y su interpretación respecto a la sostenibilidad del proceso. Hay que destacar que, aunque existen rangos para cada indicador en aras de describir el sistema, es recomendable realizar el análisis conjunto de la información proporcionada por estos.

**Tabla 1.** Interpretación respecto a la sostenibilidad de los indicadores analizados

<i>Indicador</i>	<i>Interpretación respecto a la sostenibilidad</i>
Transformidad (Tr) y emergía específica (Em)	Mientras menor sea la transformidad o la emergía específica menos invierte el sistema para producir los productos y más sostenible
Razón de renovabilidad (%R)	A largo plazo solo sistemas con un alto valor son sostenibles
Razón de eficiencia energética (EYR)	Es deseable que posea un valor alto (EYR>2) pero de ser muy elevado puede significar una explotación excesiva de recursos naturales
Razón de carga ambiental (ELR)	Valores bajos indican que los procesos tienen un bajo impacto ambiental
Índice de sostenibilidad emergética (ESI)	Cuando 1<ESI<5 se contribuye moderadamente a la economía y un ESI>5 indica que el proceso puede ser considerado sostenible a largo plazo aunque cuando el ESI> 10 se considera el proceso como subdesarrollado

**Fuente:** (Valdés, 2017).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Definición de los límites espacio-temporales.

El sistema objeto de estudio fue la Unidad de fraccionamiento de gases de Refinería Cienfuegos S.A. Se evaluó esta unidad durante un año, dada la actualidad que le aporta a la investigación el empleo de datos recientes. Una vez limitados los términos de

espacio y tiempo, se identificaron las corrientes entrantes y salientes del sistema enmarcado. Por consiguiente, las corrientes principales de entrada al proceso fueron: fracción Pie 70°C inestable, fracción liviana inestable, agua, materiales y servicios adquiridos de la economía; obteniendo como salidas: Gas Licuado del Petróleo (GLP) y Nafta Virgen Ligera Estable (NVLE); considerándose así las corrientes de salida como co-productos pues ellos no se producen por independientes. Los residuales no están contemplados dentro los límites pues la metodología así no lo contempla, pues como se ha mencionado anteriormente lo que se quiere determinar es la calidad de la energía utilizada para producir un bien que en este caso es el GLP y la NVLE.

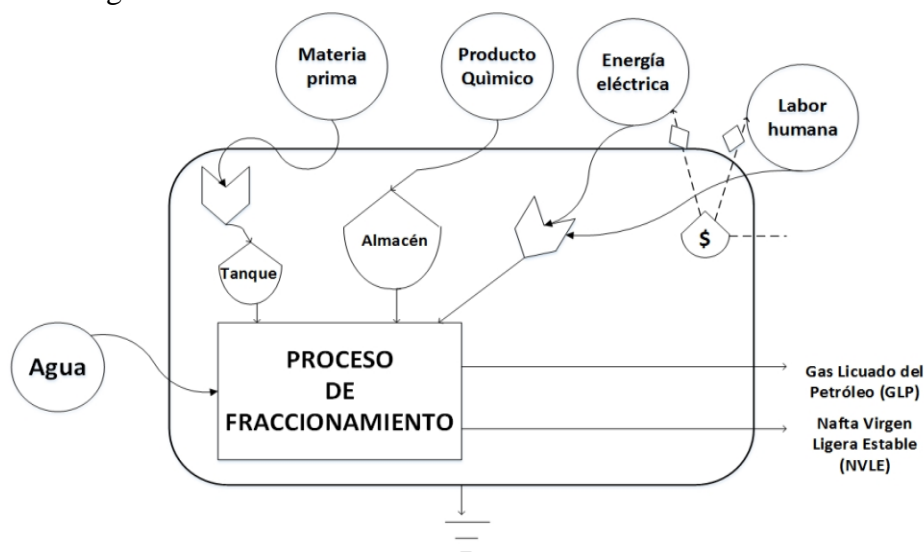
### 3.2. Representación gráfica del sistema.

Los resultados del paso anterior permitieron representar gráficamente el sistema. Para ello en la Tabla 2 se reflejan los flujos de entrada al sistema con su correspondiente clasificación en recursos renovables [R], recursos no renovables [N], materiales de la economía [M] y servicios [S].

**Tabla 2.** Clasificación de las entradas del sistema

<i>Nombre</i>	<i>Clasificación</i>
Agua	R
Fracción Pie 70°C inestable	N
Fracción liviana inestable	N
Sosa cáustica (NaOH)	M
Energía Eléctrica	S
Labor humana	S

Una vez identificados y clasificados los flujos de entrada al sistema se construyó el diagrama emergético del caso de estudio y teniendo en cuenta las normas establecidas para su confección en la metodología emergética, se representó el sistema como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Diagrama emergético de la Unidad de fraccionamiento de gases Refinería Cienfuegos S.A

Este diagrama permite simplificar las complejidades del sistema para visualizar, de manera sencilla, las interrelaciones de las corrientes de entradas, así como características internas.

### 3.3. Construcción de la tabla emergética.

Para la realización del balance de masa y energía de la Unidad fraccionamiento de gases se utilizó el paquete de simulación de procesos PRO II, versión 7.1 de SIMSCI.

Para la construcción de la tabla emergética del sistema objeto de estudio se calculó, en primer lugar, el valor energético o másico que aportó cada una de las corrientes entrantes al sistema en el período analizado; la conversión de los flujos a unidades emergéticas implicó la búsqueda en la literatura de sus transformidades. La Tabla 3 muestra los flujos emergéticos, resultados de la búsqueda bibliográfica y la fuente que la reportó.

**Tabla 3.** Datos de entrada y transformidades del sistema

<i>Ítem</i>	<i>Flujo</i>	<i>Transformidad</i>	<i>Corregido por 1,68</i>	<i>Fuente</i>
Agua	11, 011 kg/h	3,23E+05 seJ/g	5,43E+05 seJ/g	(Buenfil, 2001)
Alimentación al tambor (D-401)	18 902 kg/h	4,00E+04 seJ/J	----	(Bastianoni, et al., 2005)
Sosa cáustica (NaOH)	0, 896 m <sup>3</sup> /h	1,90E+09 seJ/g	3,19E+10 seJ/g	(Jarméus, 2013)
Energía Eléctrica	6 768, 99 MWh	3,40E+05 seJ/J	----	(Giannetti et al., 2016)
Labor humana	33 365 036 250 J/año	3,93E+06 seJ/J	----	(Giannetti et al., 2016)

Vale destacar que la alimentación al tambor (D-401), reflejada en la Tabla 3 es la unión de la fracción Pie 70°C inestable y fracción liviana inestable, pues la mezcla de ambas es la alimentación principal al proceso.

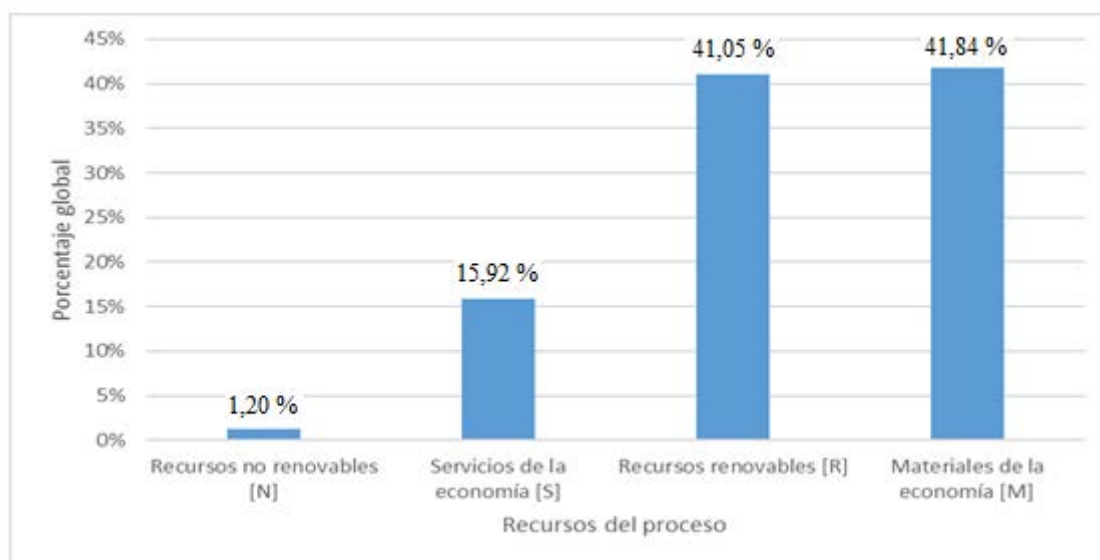
A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 3 se conformó la Tabla de Contabilidad Emergética (Tabla 4). Esta contabilización permitió conocer los flujos entrantes al sistema sobre una misma base, sin diferencias en cuanto a su origen.

**Tabla 4.** Tabla emergética para la Unidad de fraccionamiento de gases

<i>Nota</i>	<i>Ítem</i>	<i>Dato</i>	<i>Unidad</i>	<i>Transformidad (seJ/unidad)</i>	<i>Energía solar (seJ/año)</i>
<b>Recursos renovables de la naturaleza [R]</b>					<b>5,1618E+19</b>
1	Agua	9,5123E+13	g/año	5,43E+05	5,1618E+19
<b>Recursos no renovables de la naturaleza [N]</b>					<b>1,5116E+18</b>
2	Alimentación al D-401	3,7789E+13	J/año	4,00E+04	1,5116E+18
<b>Materiales de la economía [M]</b>					<b>5,2610E+19</b>

3	Sosa cáustica (NaOH)	1,6482E+10	g/año	3,19E+09	5,2610E+19
<b>Servicios de la economía [S]</b>					<b>2,00E+19</b>
4	Energía eléctrica	5,8484E+13	J/año	3,40E+05	1,99E+19
5	Labor humana	3,3365E+10	J/año	3,93E+06	1,3112E+17
<b>Emergía total [Y]</b>					<b>1,2576E+20</b>

El principal flujo energético al proceso proviene de la economía (7,2626E+19 seJ/año) representando un 57,75 % de la emergía total, mientras que el aporte de la naturaleza (5,3129E+19 seJ/año) representa el 42,25%. En la Figura 2 se puede ver la relación porcentual de las cuatro categorías analizadas, donde los materiales de la economía representan el mayor aporte energético en conjunto con los recursos renovables y los recursos no renovables y servicios de la economía el menor, es decir, hay mayor aprovechamiento de la economía en conjunto con los recursos naturales.



**Figura 2.** Razón de la emergía total por categoría

Cabe destacar, que los materiales de la economía presentan una mayor relación porcentual ya que la sosa cáustica posee mayor transformidad en comparación con los otros recursos, siendo esta la que elimina los compuestos de azufre de la materia prima, por consiguiente, una mayor transformidad implica que se necesitó mayor cantidad de este recurso (sosa cáustica) para el proceso, provocando que el sistema sea menos eficiente energéticamente. Se ha podido comprobar, por la consulta de trabajos anteriores y por la experticia propia de quienes laboran en la unidad que con una concentración de sosa al 10% se han obtenido resultados favorables que no difieren con los resultados actuales. Por consiguiente, no se justifica la mayor concentración de sosa en la solución empleada. Esto provoca mayor consumo de sosa y por ende menor eficiencia energética.

### **3.4. Cálculo de los Indicadores Emergéticos y análisis de los resultados.**

Los productos obtenidos y sus unidades de valor energético (UEV) se pueden observar en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Principales resultados a partir de la contabilidad emergética

<i>Producto</i>	<i>Transformidad (seJ/J)</i>	<i>Emergía específica (seJ/g)</i>
Gas Licuado del Petróleo (GLP)	1,4984E+13	2,319 9E+09
Nafta Virgen Ligera Estable (NVLE)	9,0531E+12	1,153 1E+09

La evaluación del sistema a partir de los resultados obtenidos involucra el análisis de las corrientes que entran al sistema en unidades emergéticas y la interpretación del resultado de los índices presentados en la Tabla 6. Seguidamente se analizan cada uno de ellos.

**Tabla 6.** Resultados del cálculo de los Índices Emergéticos

<i>Índice</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Valor</i>
Renovabilidad	% R	41,05
Razón de eficiencia emergética	EYR	1,73
Razón de carga ambiental	ELR	1,44
Índice de sostenibilidad	ESI	1,21

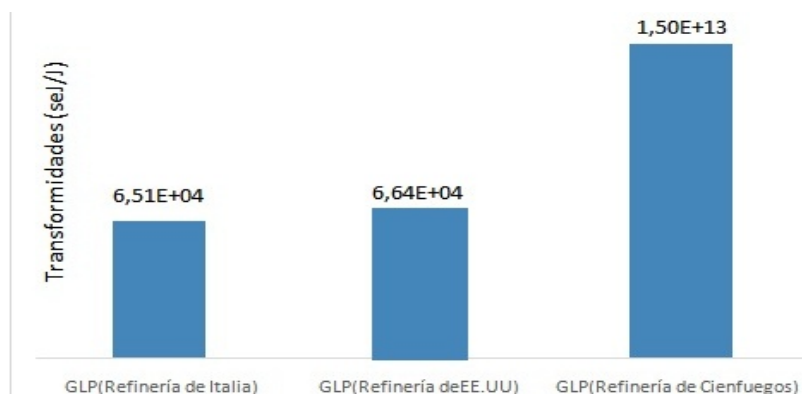
### 3.4.1. Transformidad (Tr).

Para el caso de estudio, se contabilizó la transformidad del GLP (1,49845E+13 seJ/J); recomendándose que el resultado de este objetivo sea comparado con estudios del mismo proceso realizado en escenarios similares, pues este es el único producto dentro del proceso que es utilizado directamente para el desarrollo local. En este sentido, el valor calculado puede compararse con los resultados presentados por (Bastianoni, et al., 2005), teniendo en cuenta que en Cuba no se reportan estudios previos a esta investigación. En primera instancia, (Bastianoni et al., 2005) reportan un valor de 6,51E+04 seJ/J para el GLP en el estudio realizado en una refinería de Estados Unidos y al mismo tiempo reportan 6,64E+04 seJ/J para el GLP en el mismo estudio realizado en una refinería de Italia. Así como reportan los valores que corresponden a los productos que siguiendo el proceso de destilación le siguen al GLP. En este caso 6,58E+07 seJ/J para el Diesel y 6,62E+07 seJ/J para el Keroseno.

De acuerdo con la ecuación para el cálculo de esta incógnita, la transformidad es inversamente proporcional al rendimiento energético del sistema, de forma que, a menor rendimiento, mayor es la transformidad del proceso pues será necesaria más energía para generar el producto deseado. Esta situación se ve reflejada en la Figura 3, donde se observa una gran diferencia entre el valor alcanzado en esta investigación y el obtenido por (Bastianoni et al., 2005).

Según la Figura 3 y lo explicado anteriormente, se puede comparar ambos estudios. El GLP de la refinería de Cienfuegos presenta una transformidad mucho mayor que el GLP de las refinerías de Estados Unidos e Italia, esto es debido a que para obtener GLP en el caso de estudio se utilizó una mayor cantidad de recursos, lo que trae como consecuencia que el rendimiento emergético de este proceso sea muy bajo. Sin embargo, para la refinación estudiada por los autores antes mencionados, entre el GLP, el Diesel y el Keroseno no se aprecian grandes diferencias, pues al tener una menor transformidad la eficiencia de estos procesos es más alta ya que se necesitan menos cantidad de recursos. Hay que considerar que para dicho estudio se mantienen las

mismas condiciones de proceso y recursos. De modo que se puede concluir que el sistema analizado en la refinería de Cienfuegos (obtención del GLP) se encuentra en desventaja con el investigado por (Bastianoni et al., 2005).



**Figura 3.** Comportamiento de la transformidad en las diferentes refinerías

La transformidad obtenida para la NVLE fue de  $9,0531E+12$  seJ/J, este valor no se puede interpretar directamente ya que este flujo va a ser sometido a otras transformaciones para obtener un producto aprovechable para la sociedad; sin embargo, esta transformidad es un aporte para posteriores estudios que se puedan realizar en la industria del petróleo con procesos similares.

#### **3.4.2. Renovabilidad (% R) y Razón de eficiencia energética (EYR).**

La razón de renovabilidad (%R = 41,05) y la razón de eficiencia energética (EYR = 1,73) indican que el proceso explota moderadamente los recursos naturales locales lo cual se considera bastante adecuado, aunque este proceso consiste en la transformación de un producto natural para obtener un producto útil para la sociedad. El valor próximo a dos (EYR=1,73) manifiesta que, aproximadamente, por cada unidad en energía invertida de la economía se obtiene una unidad de energía de la naturaleza. Para considerar el sistema como tal, la razón de eficiencia energética debía ser mayor a dos (EYR > 2), pero no debe ser tan exacto, pues con este valor obtenido se manifiesta una contribución al aprovechamiento de los recursos naturales; también se puntualizó que el análisis debería ser hecho en conjunto y la cercanía del indicador al valor recomendado hace que sea un tanto más difuso valorar esta situación.

#### **3.4.3. Razón de carga ambiental.**

Por otra parte, el bajo valor de la razón de carga ambiental (ELR < 2) indica que en la Unidad de fraccionamiento de gases el impacto ambiental no parece ser significativo, no obstante, esto no puede ser conclusivo, pues no se puede descartar el hecho de que esta es una unidad de una refinería de petróleo por lo que si tiene impacto ambiental. Sin embargo, pudiera ser que, al estar analizando la unidad por separado, la razón de carga ambiental se vea afectada en su resultado, por lo que se recomienda realizar el estudio completo de todos los procesos de la fábrica.

#### **3.4.4. Índice de sostenibilidad**

El índice de sostenibilidad energética (ESI = 1,21) indica que a largo plazo el sistema

no es sostenible por sí mismo ( $ESI < 5$ ) siendo altos los valores de flujo de entrada al proceso provenientes de la economía. No obstante, el valor obtenido, al estar entre  $1 < ESI < 5$ , da una medida que el sistema contribuye moderadamente a oportunidades para el desarrollo local.

Según estudios realizados por (Bastianoni et al., 2005) plantean que el ESI para procesos de refinación tanto para el Diesel como para el Keroseno es 5,11 y 5,9. Esto muestra cuán ineficiente es el proceso tecnológico objeto de estudio, pues al tener un menor índice de sostenibilidad ( $ESI = 1,21$ ) tiene mayor impacto al medio ambiente obteniéndose menos recursos útiles para la sociedad.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. El balance energético reportó que el 57,75 % de la emergía del proceso proviene de la economía y que el 42,25% del medio ambiente, por lo que existe una explotación discreta de los recursos naturales locales.
2. Las transformidades calculadas para los productos fueron:  $1,49845E+13$  seJ/J para el GLP y  $1,5589E+13$ seJ/J para la NVLE; demostrándose con estos resultados una correcta remoción de los productos de azufre.
3. El valor del índice de sostenibilidad emergética calculado ( $ESI= 1,21$ ) demostró la insostenibilidad a largo plazo de la Unidad de fraccionamiento de gases, aunque sí contribuye moderadamente a la economía local. El principal factor que aportó a este resultado fue el alto consumo de sosa cáustica durante el proceso de fraccionamiento.

#### **REFERENCIAS**

- Abreu, C., Evaluación energética del proceso agrícola para la obtención de caña de azúcar en la UEB "14 de Julio", Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2017.
- Bastianoni, S., Campbell, D., Susani, L., & Tiezzi, E., The solar transformity of oil and petroleum natural gas., *Ecological Modelling*, Vol. 186, No. 2, 2005, pp. 212-220.
- Buenfil, A., Energy evaluation of water., University of Florida, Gainesville, Retrieved from: <http://etd.fcla.edu/UF/anp3964/Andres-Buenfil-Dissertation.pdf>, 2001, pp. 1-248.
- Calvo, A.E., Medina, J.F., González, J.A., & Benítez, A., Análisis combinado de exergía / emergía de la agroindustria azucarera de la caña: caso de estudio., CETER, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", 2005, pp. 1-10.
- Giannetti, B.F., Prevez, L., Agostinho, F., & Almeida, C., Greening A Cuban Local Mango Supply Chain: Sustainability Options and Management Strategies., *Journal of Environmental Accounting and Management*, Vol. 4, No. 3, 2016, pp. 251-266.
- Jarméus, C., Energy Analysis of Biodiesel and Biogas Production from Baltic Sea Macro Algae., Royal Institute of Technology, Stockholm, 2013, pp. 1-30.
- NC-521:2007., Norma Cubana., Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas-Especificaciones., La Habana, Cuba. 2007. Oficina Nacional de Normalización), 2da Edición, ICS 13.060.30, 2007, pp. 1-15.
- Odum, H.T., *Environmental Accounting (Emergy and Environmental Decision*

- Making)., John Wiley and Sons Inc, New York, E.U., 1996, pp. 1-370.
- ONU-París., Conferencia de la ONU sobre Cambio Climático., París, Francia, Celebrado 30 de noviembre de 2015 a 11 de diciembre de 2015, Naciones Unidas, 2015.
- ONU-Río+20., Conferencia de la ONU sobre Desarrollo Sostenible., Tema 10: El futuro que queremos., Rio de Janeiro. Brasil. 20 a 22 de junio de 2012: Naciones Unidas, 2012. A/CONF.216/L.1\*, pp. 1 y 26 (puntos: 119 al 124).
- Saldini, F., Vuai, S., Langat, B., Gustavsson, M., Bayitse, R., Gidamis, A., Belmakki, M.; Owis, A., Rashamuse, K., Sila, D. & Bastianoni, S., Sustainability assessment of selected biowastes as feedstocks for biofuel and biomaterial production by emergy evaluation in five African countries., *Biomass and Bioenergy*, Vol. 85, No. 8, 2016, pp. 100-108.
- Valdés, A., Evaluación de la sostenibilidad de la producción de azúcar crudo mediante indicadores emergéticos. Caso de estudio UEB Fábrica de Azúcar “14 de Julio”., Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Químico, Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2017.
- Voora, V., & Thrift, C., Using Emergy to Value Ecosystem Goods and Services., International Institute for Sustainable Development, febrero, 2010, pp. 1-6.
- WCED (World Commission on Environment and Development). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University Press, 1987, pp. 1-383.

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- Ing. Roxana Cortés-Martínez. Consultó la bibliografía existente que trata sobre el tema abordado en la investigación. Recopiló la información necesaria en las instalaciones donde se realiza la investigación y realizó los cálculos pertinentes para conformar el artículo.
- Ing. Daylen Y. Font Prieur. Consultó la bibliografía existente que trata sobre el tema abordado en la investigación. Recopiló la información necesaria en las instalaciones donde se realiza la investigación y realizó los cálculos pertinentes para conformar el artículo.
- Dr.C. Gabriel O. Lobelles Sardiñas. Asesoró la realización de la investigación.