



Fecha de presentación: 12/1/2023 Fecha de aceptación: 15/5/2023 Fecha de publicación: 25/9/2023

¿Cómo citar este artículo?

Pomares Fiallo, E. J., Domínguez Gómez, S., Alba Reyes, Y., Hermida García, F. O. y Barrera Cardoso, E. L. (2023). Impacto ambiental de alternativas energéticas sobre el proceso de secado de arroz utilizando biomasa. *Revista Márgenes*, 11(3), 5-22. <https://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes/article/view/1540>

TÍTULO: IMPACTO AMBIENTAL DE ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS SOBRE EL PROCESO DE SECADO DE ARROZ UTILIZANDO BIOMASA

TILTE: ENVIRONMENTAL IMPACT OF ENERGY ALTERNATIVES ON THE RICE DRYINGPROCESS USING BIOMASS

Autores:

Ing. Ernesto Jesús Pomares Fiallo¹

Email: esp.energia@jibaro.ssp.minag.cu

 <https://orcid.org/0000-0001-6100-3043>

Ing. Sively Domínguez Gómez¹

Email: energetica@jibaro.ssp.minag.cu

 <https://orcid.org/0000-0001-5176-2919>

M. Sc. Yasmani Alba Reyes²

Email: yreyes@uniss.edu.cu

 <https://orcid.org/0000-0002-9816-3101>



M. Sc. Félix Orestes Hermida García²

Email: fhermida@uniss.edu.cu

 <https://orcid.org/0000-0002-7645-5947>

Dr. C Ernesto Luis Barrera Cardoso²

Email: ernestol@uniss.edu.cu

 <https://orcid.org/0000-0003-0207-4188>

¹Empresa Agroindustrial de Granos Sur del Jíbaro. La Sierpe, Sancti Spiritus, Cuba.

²Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”. Centro de Estudio de Energía y Procesos Industriales (Ceepi). Sancti Spíritus, Cuba.

RESUMEN

Introducción: La producción de arroz en Cuba es altamente dependiente del consumo de diesel y energía eléctrica. Es además alta generadora de residuos con potencial energético.

Objetivo: El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el impacto ambiental de varias alternativas energéticas sobre el proceso de secado del arroz en la UEB “Tamarindo” perteneciente a la Empresa Agroindustrial de Granos Sur del Jíbaro del municipio La Sierpe, Sancti Spíritus, utilizando residuos de las producciones arroceras y porcinas disponibles en la unidad.

Métodos: Se utilizó la metodología Análisis de Ciclo de Vida mediante el método de evaluación de impacto ambiental ReCiPe con categorías de daños en punto final y en punto medio, donde se realizó un análisis más detallado sobre 18 categorías de impacto en estudios de caracterización y normalización. Se llevó a cabo un análisis de sensibilidad valorando variaciones en la variable de más incertidumbre.

Resultados: Los resultados mostraron una disminución significativa del impacto ambiental con la sustitución completa del diésel de secado y la energía eléctrica de la red nacional por la energía generada a partir de la cascarilla de arroz. Los impactos perjudiciales más notables se encontraron en ecotoxicidad marina, ecotoxicidad del agua dulce, consumo de agua y toxicidad humana carcinogénica.

Conclusiones: Para todos los casos el flujo de mayor impacto fue el del arroz en su etapa agrícola, se evidenció además que las alternativas propuestas tienen significativo impacto



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu

beneficioso sobre el consumo de recursos, calentamiento global, ecotoxicidad terrestre y consumo de agua.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida; evaluación de impactos ambientales; producción de arroz.

ABSTRACT

Introduction: Rice production in Cuba is highly dependent on diesel and electric energy consumption. It also generates high amounts of waste with energy potential.

Objective: The objective of this paper is to assess the environmental impact of several energy alternatives on the rice drying process in the UEB "Tamarindo" belonging to the Agroindustrial Grain Enterprise Sur del Jíbaro in La Sierpe, Sancti Spíritus, using available waste from rice and swine production.

Methods: The Life Cycle Assessment methodology was used through the ReCiPe environmental impact assessment method with endpoint and midpoint damage categories, where a more detailed analysis was carried out on 18 impact categories in characterization and normalization studies. A sensitivity analysis was carried out assessing variations in the most uncertain variable.

Results: The results showed a significant decrease in environmental impact with the complete substitution of drying diesel and electrical energy from the national grid by energy generated from rice husk. The major detrimental impacts were found in marine ecotoxicity, freshwater ecotoxicity, water consumption and carcinogenic human toxicity.

Conclusions: For all cases the flow with the highest impact was that of rice in its agricultural stage. It was also evidenced that the proposed alternatives have significant beneficial impact on resource consumption, global warming, terrestrial ecotoxicity and water consumption.

Keywords: environmental impact assessment; life cycle assessment; rice production.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la especie humana ha venido aparejado con un deterioro progresivo del medio ambiente. La necesidad de explotar los recursos de la naturaleza, y el vertimiento a esta de todos los desechos generados han provocado una destrucción paulatina del hábitat natural. Los debates recientes sobre medio ambiente y desarrollo coinciden con el agravamiento de la situación socioeconómica mundial, debido al impacto de la crisis económica global con



particular crudeza en las dimensiones financiera, comercial, energética, social, alimentaria y ambiental (Suki et al., 2022).

Entre las prioridades humanas para su existencia está su alimentación, y en ella juega un papel primordial la agricultura. Se conoce que las producciones agrícolas generan grandes impactos negativos sobre el medio ambiente y los recursos naturales, al ser responsables del 14 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Pereda & Díaz, 2015). Inciden en la degradación y erosiones de los suelos, pérdidas de áreas boscosas y contaminación de las aguas con agroquímicos y pesticidas. Una de las actividades más importantes en el sector agrícola es el cultivo de arroz, que aporta de igual forma a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial (Gadde et al., 2009).

Diversas son las fuentes energéticas con que cuenta la humanidad, pero su control y las formas de utilizarlas, representa el elemento que nos ha conducido al esquema energético global actual. El cual se basa en el empleo de los combustibles fósiles; que no son renovables, que son contaminantes en alto grado, concentrados en pocas regiones de la tierra, en manos de grandes consorcios transnacionales y utilizados de forma ineficiente e irracional (Popović & Radivojević, 2022).

La matriz energética cubana está basada fundamentalmente en combustibles fósiles, donde la energía generada a partir de FRE alcanza solo un 5%. Dentro de los procesos productivos altamente consumidores de combustibles fósiles está la producción y beneficio de arroz, en el que igualmente se genera una gran cantidad de residuos sólidos. El manejo o la disposición de los residuos de cosecha, y de beneficio industrial, es una problemática aún por resolver en países grandes productores de arroz. En Cuba el cultivo del arroz se ha extendido a casi todas las regiones del país y constituye la principal fuente de carbohidratos en la alimentación de la población, con un consumo aproximado de 670 000 toneladas al año y un per cápita nacional anual que supera los 70 kilogramos, superando el promedio mundial se encuentra por los 57 kilogramos (Samal et al., 2022).

Para estas condiciones el uso de tecnologías ambientales como la producción de biogás cumple una doble función pues a través de ella, además de facilitarse la depuración o el tratamiento de residuales orgánicos biodegradables mediante un proceso biológico, se obtiene un gas con valor combustible, que adquiere altos niveles de utilización como recurso energético (Gahlot et al., 2022). El biogás se considera una fuente renovable de energía versátil ya que



puede reemplazar combustibles fósiles en la producción de energía, calor y combustible alternativo para vehículos (Dahlgren, 2022). En el caso de la cascarilla de arroz, como biomasa al fin, puede ser utilizada como combustible bien utilizando el método de combustión o gasificación. Según Méndez (2010), las dos variantes aportan poder calórico para sustituir combustibles fósiles y resuelve el problema de la disposición final de este residuo, convirtiéndolo en una nueva materia prima.

En la región central de Cuba, específicamente en la provincia Sancti Spíritus se encuentra una de las entidades mayores productoras de arroz del país: la Empresa Agroindustrial de Granos “Sur del Jíbaro”. El beneficio industrial del arroz se realiza en cinco unidades. Una de estas unidades es el objeto de estudio de este trabajo y lo constituye la UEB “Tamarindo”. En el año 2018 esta UEB procesó 27 521 ton de arroz cascara húmedo con un consumo diésel de 529 268 litros y 1 431 899 kWh de electricidad generando grandes volúmenes de residuos sólidos, y que hoy no tienen una adecuada disposición final.

En la actualidad la UEB “Tamarindo” se cuenta con una evaluación de los impactos ambientales de alternativas energéticas en el proceso de secado del arroz. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo la evaluación ambiental mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del proceso de secado de arroz utilizando biomasa. Se realizó una comparación de cuatro alternativas de aprovechamiento de los residuos a comparar con la tecnología de secado actual para obtener la alternativa de mejor comportamiento ambiental.

DESARROLLO

En años recientes, el debate acerca de la sostenibilidad ambiental se ha ampliado a incluir impactos tanto a procesos agrícolas como industriales. Los investigadores, teniendo en cuenta estos problemas, han desarrollado diferentes herramientas de investigación para el análisis del ciclo de vida (ACV) de los productos con el objetivo de medir los impactos causados por sus respectivos procesos de producción, y proponer mejoras en todas las etapas de producción para mejorar su desempeño ambiental como un todo. El ACV incluye el análisis de la extracción y procesamiento de material primas, la manufactura del producto, el transporte, distribución, uso, reúso, mantenimiento, reciclaje y disposición final. Además, permite una visión completa de varios impactos sobre el medio ambiente, permitiendo la identificación de medidas adecuadas desde una perspectiva de desarrollo sostenible



MATERIALES Y MÉTODOS

Definición del objetivo, alcance y límites del sistema

El ACV se aplica en la industria arrocera UEB “Tamarindo” en su proceso tecnológico de secado de arroz con el objetivo de determinar la alternativa con menor efecto negativo sobre el medio ambiente mediante un ACV. Se tomaron los datos referidos a noviembre de 2019 recogidos en los documentos primarios de la UEB. Para determinar el alcance del estudio se tomó como unidad funcional (UF) el secado de 300 toneladas de arroz cáscara húmedo, en el secadero “Tamarindo”, durante cinco días.

Los límites del sistema son aquellos criterios que determinan qué procesos y etapas del sistema se incluyen dentro del ACV y cuáles no (Unión de Nacionalización Española [UNE], 2006). En el presente trabajo se consideró el proceso del secadero de arroz *Stein* de la UEB “Tamarindo”, que incluye las etapas de pesaje, recibo, limpieza, y secado (Figura 1.). Además, se considera dentro de las fronteras el horno a base de cascarilla para el secado y un sistema de horno, caldera, turbina y generador eléctrico.

Figura 1. Límites del sistema



El arroz cáscara húmedo procedente de campo llega a la industria en remolques que son pesados, constituyendo la primera actividad. Esta materia prima, que inicialmente tiene altos valores de impurezas y humedad pasa al área de recibo. Donde se toman muestras del

producto y se determina experimentalmente sus grados de humedad e impurezas pasando al área de limpieza. Este proceso consta de un tamizado doble con el objetivo de separar las impurezas de mayor y menor tamaño que el grano de arroz cáscara húmedo, acompañado a un proceso de venteado donde se extraen las impurezas menos pesadas que el grano. Se considera impurezas todo lo que entre al proceso que no sea el grano de arroz cáscara húmedo (restos de tallos y hojas, granos pelados partidos y enteros, granos vanos, semivanos y verdes lechosos, semillas extrañas, tierra entre otras). Por lo general, el arroz húmedo sucio procedente del campo entra al proceso con un nivel de impurezas que oscila entre 12-17 % de su peso y termina con valores de entre 8-10%.

Descripción del proceso secado

Las impurezas separadas de proceso se denominan residuos sólidos o residuos del secado y son aproximadamente entre el 5-7% en peso del arroz húmedo sucio procedente del campo. Actualmente estos residuos se acumulan en un silo de donde se extraen, una parte para su utilización como complemento de alimento animal por los campesinos de la zona, y la otra se vierte en el campo donde se incinera a cielo abierto provocando emisiones a la atmósfera, generando cenizas que contaminan los suelos y el agua del medio cercano.

Este arroz en proceso pasa a la etapa de secado, el secadero *Stein* trabaja en forma discontinua (por pases) a la entrada de cada pase al secador se realiza un proceso de limpieza en el cual se logra extraer aproximadamente un 1% en peso de residuos por cada pase. En la torre de secado se elimina alrededor de 2% en peso de agua por cada pase realizado. Al concluir esta etapa que oscila entre dos y cinco pases, a razón de un pase por día, se obtiene el arroz cáscara seco que tiene una humedad de entre 11-13% masa. Y una impureza de entre 8-10% masa. Este producto terminado se almacena hasta que pase, después de un periodo no fijo, a la etapa de molinado.

En el año 2018 la UEB “Tamarindo” procesó 27 521 toneladas de arroz cáscara húmedo generando alrededor de 1 700 toneladas de residuos del secado y 4 400 toneladas de cascarilla del proceso de descascarado. Estos procesos, además, son altos consumidores de portadores energéticos, fundamentalmente electricidad y diésel.

Principales limitaciones y suposiciones

- ✓ Se asume que el secadero trabaja con 3 lotes diarios.
- ✓ Se considera que los tres lotes trabajan en igualdad de condiciones.



- ✓ La densidad del diésel es 0,841 kg/L y un factor de conversión 1 188,78 L/t con fórmula química: $C_{12}H_{26}$ variable (según la empresa).
- ✓ El residuo del secado es igual en todas las alternativas, por lo que es descartable.
- ✓ Considerar, según estudio de potencial de biogás de la Universidad de “Sancti Spíritus José Martí Pérez”, que en el porcino “Tamarindo” se generan 466 m³/día. Esta cantidad cubre la demanda del secadero, las pérdidas del proceso y su consumo de electricidad.
- ✓ Asumir el 4% de pérdidas del biogás producido.
- ✓ Los flujos para la caldera se toman de bibliografía (López, 2019) con relación de 0,36 kWh/kg cascarilla, para las condiciones de operación necesarias.

Definición de las alternativas energéticas a evaluar

Alternativa 1 (A-1): Condiciones actuales (consumo de diésel y electricidad para el secado de los tres lotes).

Alternativa 2 (A-2): Sustitución de 1/3 del diésel del secado por el biogás que puede generar el centro porcino.

Alternativa 3 (A-3): Sustitución del 100% del diésel de secado por el calor que se pudiera obtener con la combustión, en un horno, de cascarilla de arroz.

Alternativa 4 (A-4): Sustitución del 100% del consumo de electricidad de la red nacional por la que se pudiera generar con una caldera de vapor a base de cascarilla.

Alternativa 5 (A-5): Simultanear las alternativas A-3 y A-4 para sustituir el 100% del diésel y el 100% de la electricidad en el secado, por la energía que se pudiera obtener a partir de la quema de cascarilla.

Inventario de ciclo de vida (ICV)

El ICV consiste en la recopilación detallada de todos los insumos ambientales (materiales y energía) y salidas (aire, agua y emisiones sólidas) asociados a cada etapa incluida dentro de los límites del sistema y expresados en base a la UF (Tabla 1). Para confeccionar el inventario se recopilaron los datos necesarios, se cuantificaron las entradas y salidas al proceso, así como todas las corrientes internas, teniendo en cuenta las limitaciones y suposiciones previstas, y considerando además los siguientes conceptos:

- ✓ Vigencia de los datos: En este caso se tomaron datos técnicos de la campaña arrocerá 2019 de la propia UEB. Se trabajó con índices de consumo históricos de la empresa arrocerá sur del jíbaro y la unidad. Y se recopiló en la literatura datos y términos actuales, necesarios



para el trabajo. Otros datos de interés se obtuvieron experimentalmente y se realizaron balances de masa y energía para determinar flujos y corrientes desconocidas del proceso.

- ✓ Cobertura geográfica: Los datos obtenidos de la literatura y los calculados están en relación con los datos de la UEB Los Tamarindos.
- ✓ Precisión: Cuando los datos responden a un rango de valores, se trabaja con el valor extremo que contribuya al mayor impacto ambiental.
- ✓ Representatividad: Se usan datos reales específicos del proceso base, de bases de datos de la literatura referenciada y de los cálculos y balances realizados.

Tabla 1. Inventario del ACV para todas las alternativas analizadas

Entradas /Salidas	U/M	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
<i>Entradas de la tecnosfera</i>						
Arroz húmedo sucio (24% humedad)	t	300,00	300,00	300,0	300,00	300,00
Agua desmineralizada	t	-	-	-	0,2	0,2
<i>Entradas de la ecosfera</i>						
Aire ambiente	t	50,78	50,24	51,71	202,37	203,29
Oxígeno del Aire	t	10,65	10,52	10,83	42,50	42,68
<i>Entradas de energía</i>						
Electricidad	MWh	5,21	5,21	5,21	-	-
Biogás	m ³	-	2.204,12	-	-	-
Biomasa	t	-	-	9,97	29,28	39,25
Diesel	t	3,06	2,04	-	3,06	-
<i>Salidas a la tecnosfera</i>						
Arroz limpio seco (12,5% Humedad)	t	244,52	244,52	244,52	244,52	244,52
Energía eléctrica	MWh	-	-	-	63,20	63,20
Cenizas de cascarilla	t	-	-	1,99	5,86	7,85
Calor excedente	kJ	-	-	-	468 486,2	468 486,2
<i>Salidas a la ecosfera</i>						
Residuos de secadero (impurezas)	t	19,23	19,23	19,23	19,23	19,23
Vapor de agua del secado	t	35,98	35,98	35,98	35,98	35,98
Vapor de agua de la combustión fósil	t	4,22	2,81	-	4,22	-
Emissiones de CO ₂ fósil	t	9,48	6,32	-	9,48	-
Vapor de agua biogénico	t	0,05	1,98	4,15	12,18	16,32

Emisiones de CO ₂ biogénico	t	1,57	3,87	13,76	40,41	54,17
Emisiones de CH ₄	t	0,90	0,04	0,90	0,90	0,90

Evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV)

Para el análisis del ACV se utilizó como soporte informático el software libre OpenLCA versión 1.10 y la base de datos Ecoinvent 3.6. Se utilizó la metodología ReCiPe con categorías de impactos (CI) en punto medio y final en una perspectiva jerárquica (Goedkopp et al., 2008). Tres categorías de daños (CD) fueron evaluadas además de 18 CI respectivamente. Los impactos ambientales fueron cuantificados en “puntos” para las CD y para el “Impacto Total”.

Estudio de sensibilidad

Teniendo en cuenta los resultados de perfil de normalización se realiza un estudio de sensibilidad para determinar posibles afectaciones al proceso debido a cambios en una de las variables, para ello se tomó la alternativa de menor efecto perjudicial, y dentro de ella la CI más impactadas, se suponen cuatro nuevos escenarios de la variable de incertidumbre, y se compara su impacto dentro de cada CI para cada nuevo escenario contra en el actual. Para lo cual se re calcula el inventario de ciclo de vida para los nuevos escenarios.

Escenarios de sensibilidad.

Escenario 1 (S1): Humedad de entrada del arroz de 26%.

Escenario 2 (S2): Humedad de entrada del arroz de 22%.

Escenario 3 (S3): Humedad de entrada del arroz de 20%.

Escenario 4 (S4): Humedad de entrada del arroz de 18%.

Caso base: Humedad de entrada del arroz de 24%.

Una vez realizada la evaluación del impacto de ciclo de vida a las alternativas propuestas se proponen ejecutar las de menor impacto ambiental, en este caso las alternativas reducen los consumos de combustible fósil, utilizando, alternativamente residuos de la producción lo que supone un impacto ambiental positivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

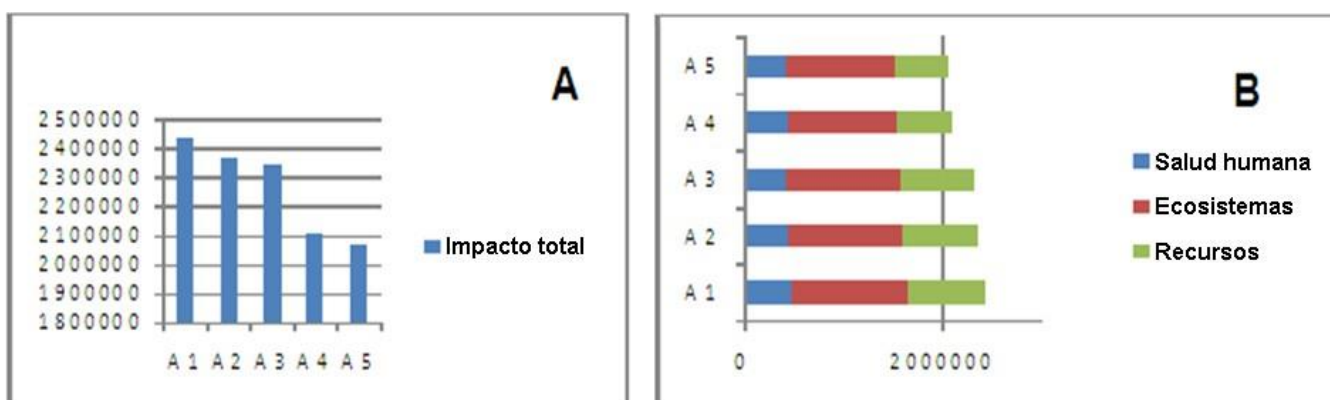
A partir del inventario recogido en el presente estudio (Tabla 1), se realizó la evaluación de impacto ambiental del secado de arroz, para las diferentes alternativas energéticas propuestas, teniendo en cuenta el ciclo de vida de todo el proceso con las consideraciones realizadas.



Impacto ambiental por alternativas energéticas (según punto final)

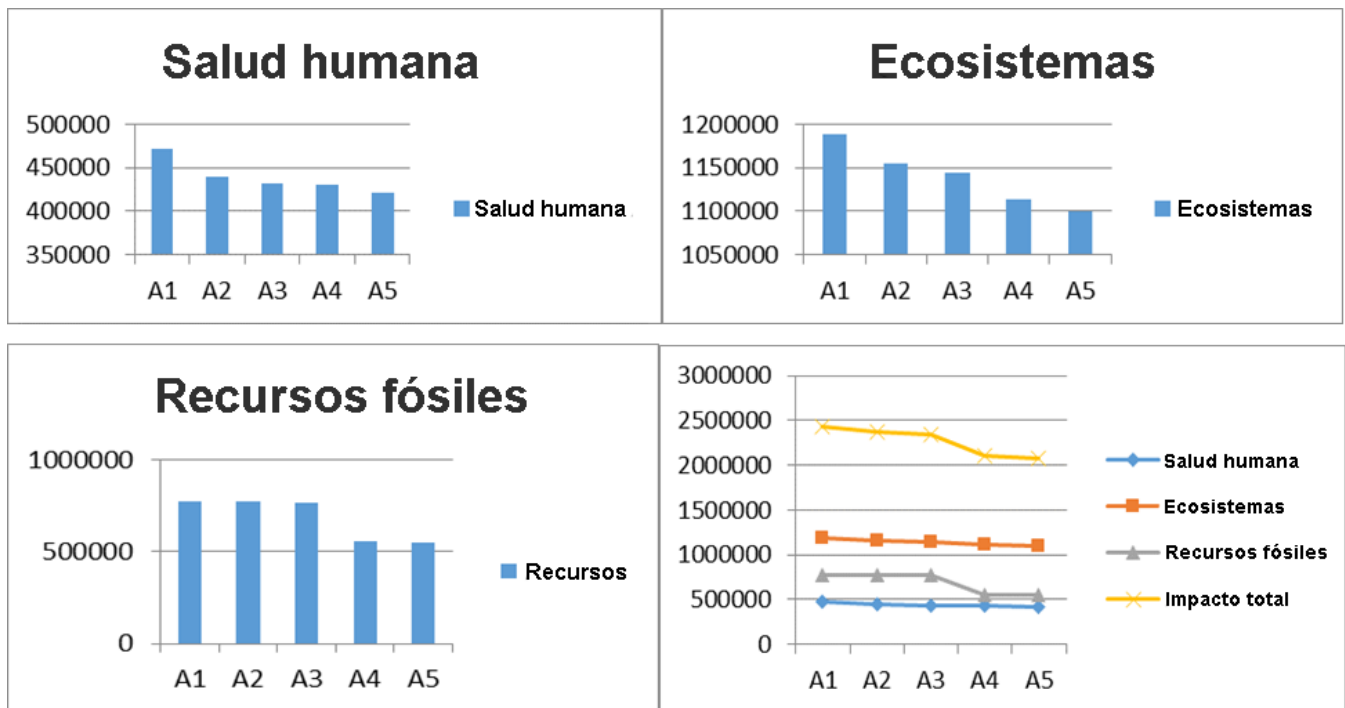
El punto final del ACV valora el impacto total de cada alternativa fundamentándose en tres CD: Salud humana, Calidad de los Ecosistemas y Recursos. El impacto perjudicial total disminuye gradualmente desde la alternativa A1 hasta la A5 a medida que se van sustituyendo las fuentes convencionales de energía por las fuentes renovables de energía. Como muestra la Figura 2, Obteniéndose una mejora de un 15% entre la A5 y A1 (sustitución del 100% del diésel de secado y el 100% de la electricidad de red por el uso de la cascarilla, contra las condiciones actuales).

Figura 2. Impacto total. A: Impacto total, B Impacto total desglosado en CD



Cuando se analiza el impacto de cada alternativa sobre las tres CD se obtienen resultados similares al impacto total, con una mejora paulatina en los impactos desde la A1 hasta la A5, como muestra la Figura 3, debido también a la sustitución de los combustibles fósiles por los renovables. Hay que señalar que los valores elevados en estos análisis se deben principalmente al flujo “arroz” en su etapa agrícola, el cual trae consigo una alta carga ambiental al ser un cultivo que necesita de grandes volúmenes de fertilizantes y pesticidas, combustibles y agua.

Figura 3. Impacto de las alternativas energéticas por CI



Impacto ambiental por alternativas energéticas (según punto medio del ACV)

El punto medio del ACV valora el impacto de las diferentes alternativas sobre 18 CI por los que brinda una medida más detallada de las afectaciones sobre el medio. Para todas las alternativas y en cada CI, el flujo “arroz” proveniente del campo es el flujo con mayor impacto perjudicial, debido a la gran carga ambiental que infiere el proceso agrícola del arroz por considerarse un cultivo intensivo de altos consumos de fertilizantes, plaguicidas, fungicidas y agua, además de combustible fósil en las labores tanto agrícolas como fitosanitarias. Analizando por CI, se obtienen impactos beneficiosos en la CI toxicidad humana no-carcinogénica. Este comportamiento es debido al flujo “arroz”, flujo con mucho mayor valor modular que los restantes flujos que inciden sobre esta CI. La sustitución, en cada alternativa, de los consumos de los combustibles convencionales por las fuentes renovables de energía, incorpora variaciones beneficiosas progresivas desde la alternativa A-1 hasta la A-5 como muestra la Figura 4.

Se obtienen impactos perjudiciales en las restantes CI, donde la mayor influencia está dada por el flujo “arroz”, en su etapa agrícola. En todas las CI la alternativa A-5 presenta el mejor comportamiento por la consideración de la generación de electricidad a partir de una fuente renovable en sustitución de una fuente fósil, exportando a la red nacional la demasía generada

(producto evitado), así como la sustitución del 100% del diésel del secado por la cascarilla de arroz, considerada hoy residuo del proceso. Además, es considerado como producto evitado la utilización de calor de escape, de la caldera, en la cocción de alimento, evitando el consumo de combustible fósil (diésel). Además, el calor contenido en el vapor de baja presión pudiera ser utilizado en otras producciones como las mini industrias de alimentos en conserva, que forman parte del proceso de diversificación de las producciones que lleva a cabo nuestra empresa.

Teniendo en cuenta que la alternativa A-5 presenta los mayores impactos beneficiosos sobre el medioambiente para todas las CI (Figura 4), se le realiza el análisis de normalización donde se determina que la CI de mayor influencia perjudicial es la ecotoxicidad marina debido a las emisiones a los cuerpos acuáticos de metales como cobre, zinc, níquel y vanadio en el cultivo del arroz. En esta CI la sustitución de la electricidad generada a partir de fuentes renovables de energía impacta de forma beneficiosa. Otra CI impactada perjudicialmente es la ecotoxicidad del agua dulce, asociado fundamentalmente al cultivo del arroz. Le siguen las CI toxicidad humana carcinogénica y consumo de agua con similar comportamiento, debido a las emisiones de metales pesados, y al consumo de agua en las labores agrícolas del cultivo de arroz. Las demás CI presentan, en menor grado, un comportamiento similar. La CI que presenta impactos beneficiosos es toxicidad humana no-carcinogénica, aspecto profundizado anteriormente. Todo esto se aprecia en la Figura 5.

Figura 4. Perfiles ambientales por CI/caracterización



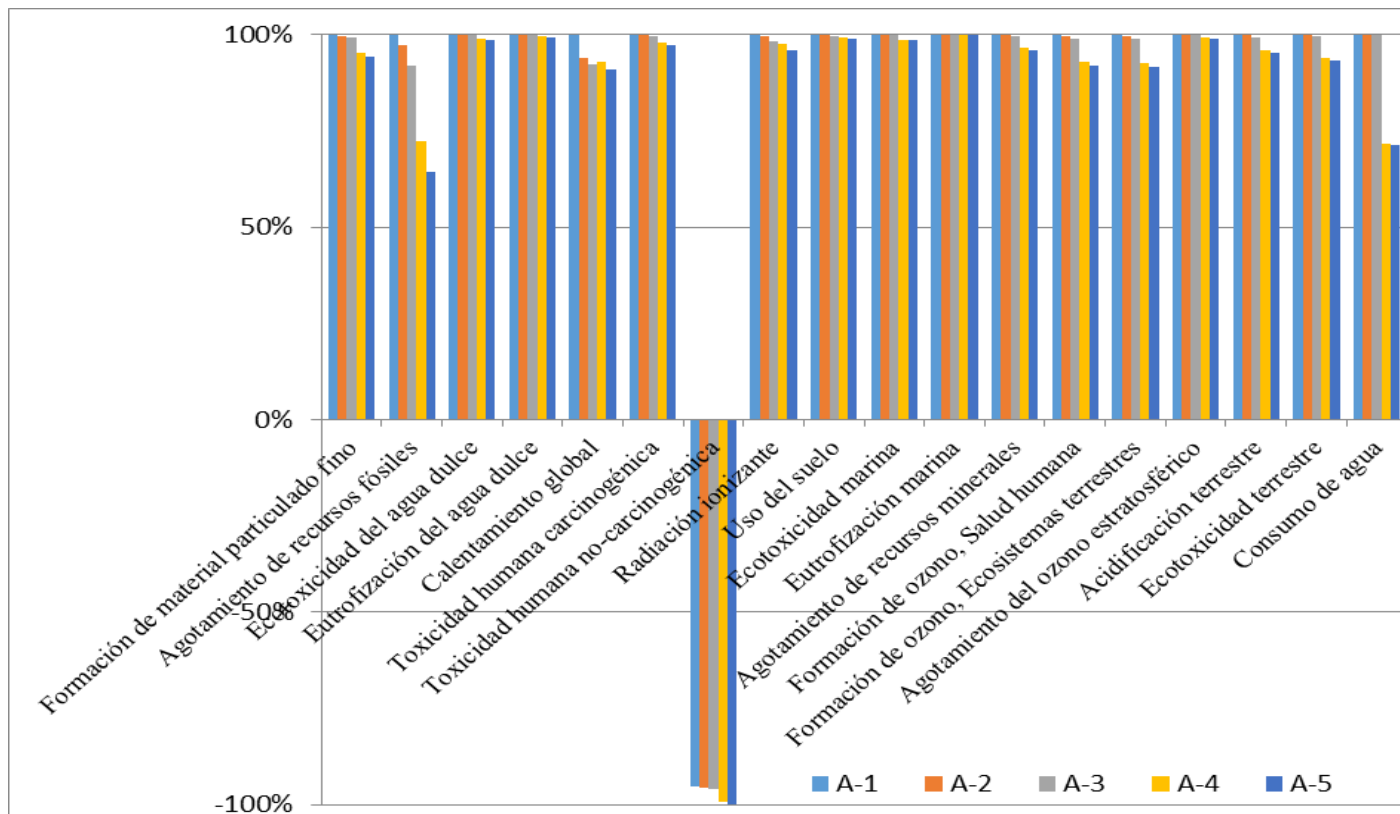
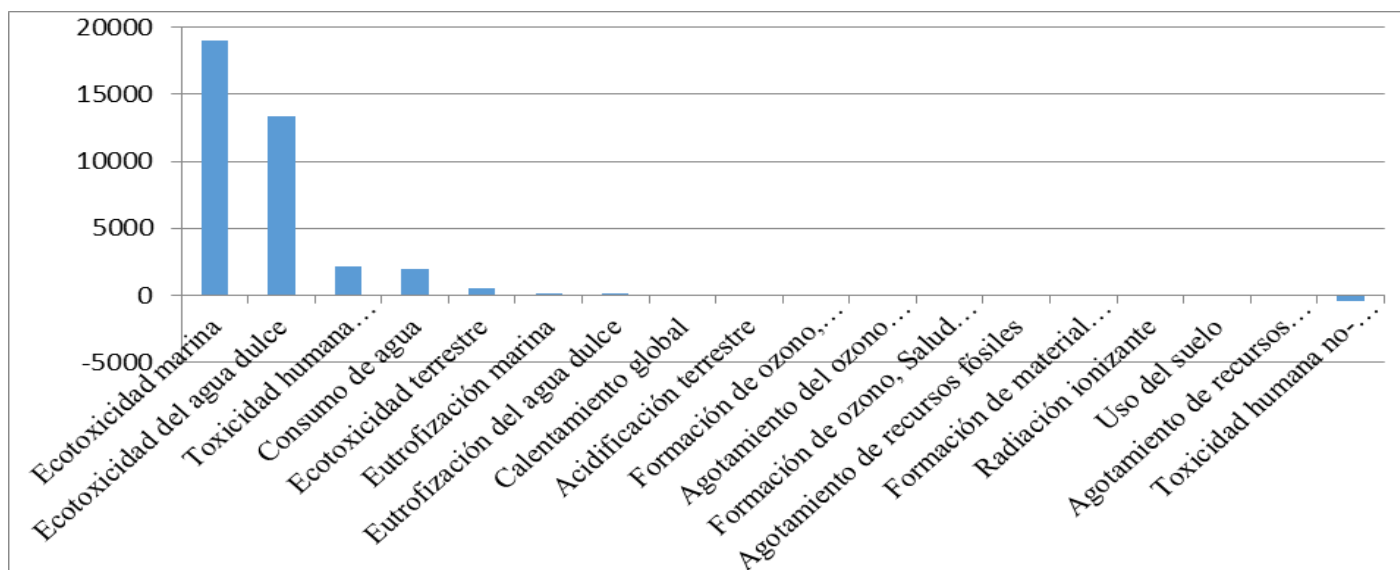


Figura 5. Perfil ambiental correspondiente a A-5/normalización



Análisis de sensibilidad

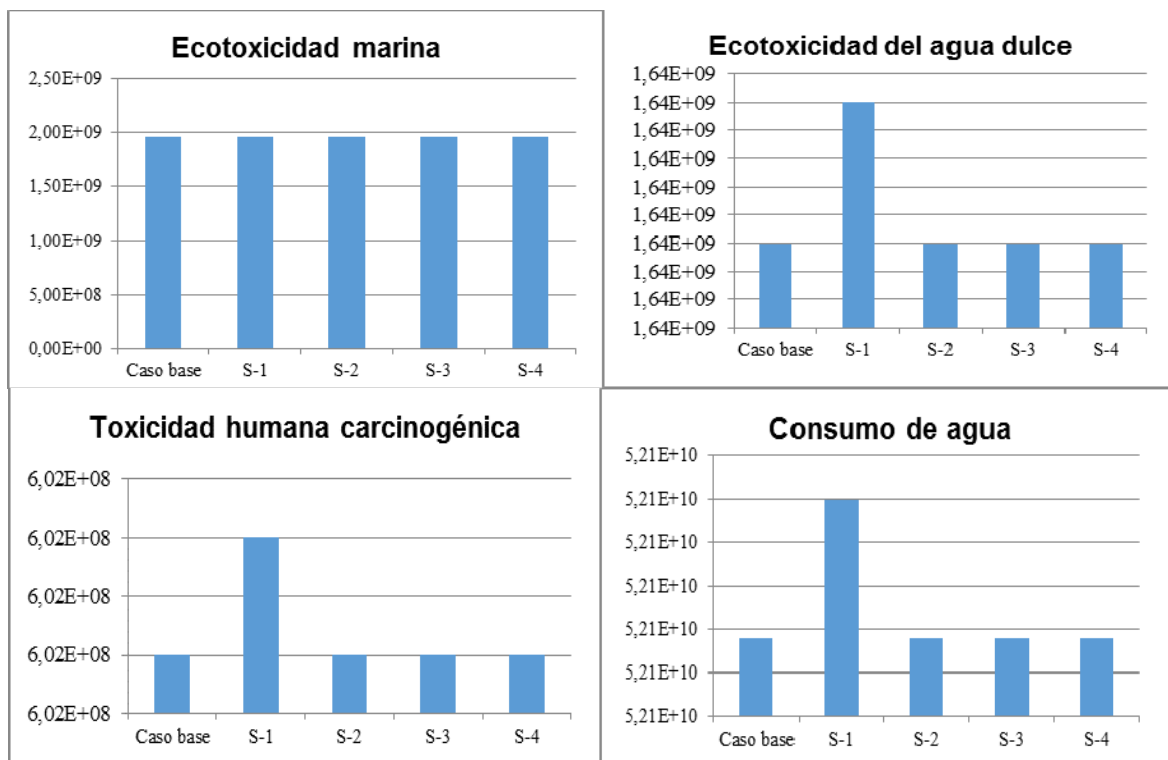
Con el objetivo de profundizar dentro de la alternativa A-5 y reducir impactos dentro de la variable de mayor incertidumbre se realiza un análisis de sensibilidad. Para este se tomaron como punto de partida las cuatro CI con mayores impactos perjudiciales al perfil ambiental



(normalización). Estas son: ecotoxicidad marina, ecotoxicidad del agua dulce, toxicidad humana carcinogénica y consumo de agua. Para esto se realizaron cuatro escenarios de humedad de entrada del arroz del campo comparándolas con el caso base.

Se observa que todas las CI presentan impactos perjudiciales (Fig. 6). En todas las CI estudiadas, el escenario que corresponde a un 26% de humedad en el arroz (S-1), presenta los mayores impactos perjudiciales debidos fundamentalmente a la mayor necesidad de portadores energéticos por UF, para extraerle al arroz mayor cantidad de humedad, y obtener menor masa de arroz seco a la salida, es necesario destacar que el aumento en el impacto, en todos los casos, es del orden las unidades, en valores de entre 10^9 y 10^{10} , lo que representa porcentos del orden de 10^{-7} , casi imperceptibles, todo debido a la gran diferencia modular entre los valores que trae implícito el flujo “arroz” de su etapa agrícola con los demás flujos involucrados en el proceso de secado. Aun así, podemos decir que al aumentar el contenido de humedad en el arroz de recibo por encima de 24%, mayores serán los impactos ambientales esperados. En la CI ecotoxicidad marina, los resultados no presentan sensibilidad a los cambios de humedad, por lo que se asume que el proceso de secado no influye significativamente en esta CI y solo depende la etapa agrícola del cultivo.

Figura 6. Análisis de sensibilidad para variación de humedad en arroz de entrada



En cada análisis realizado el flujo “arroz” en su etapa agrícola presenta valores elevados (modularmente) respecto a los demás flujos que hace que estos últimos prácticamente no incidan sobre las diferentes CI al pasar de una alternativa energética a otra (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de los valores del flujo “arroz” con otros flujos en varias CI (según punto medio del ACV)

Categoría de impacto	Gen. Elect. con gas N.	Gen. Elect. con diesel	Gen. Elect. fotovoltaica	Gen. Elect. bagazo	Diesel	Arroz
Formación de material particulado	0,072	3,233	0,0077	0,39	4,005	487,464
Calentamiento global	291,689	3616,812	3,421	7,466	1544,479	484573,75
Agotamiento de los recursos minerales	1,155	15,845	1,220	1,412	38,041	19874,88
Toxicidad humana no carcinogénica	7,745	175,699	8,337	104,908	452.899	-68606,05

CONCLUSIONES

De la realización de este trabajo podemos concluir que el proceso de secado del arroz en nuestro país es un alto consumidor de los portadores energéticos diésel y electricidad. Además, el proceso de secado del arroz es un gran generador de residuos, los cuales tienen un potencial energético capaz de sustituir los combustibles convencionales. Al evaluar el impacto ambiental de las alternativas energéticas propuestas, se constató que todas, en alguna medida, mejoran el impacto ambiental del proceso de secado. En todas las variantes analizadas la alternativa A5 (sustitución del 100% del diésel y el 100% de la electricidad en el secado por la energía que se pudiera obtener a partir de la quema de cascarilla) presenta los mejores resultados ambientales. En todas las variantes analizadas la alternativa A5, donde se sustituyen el diésel, y la electricidad de la red nacional por la energía obtenida de la cascarilla presenta los mejores resultados ambientales. El flujo de producción de energía eléctrica a partir de la biomasa para el proceso y para exportar a la red nacional tiene los mayores efectos ambientales beneficiosos de los analizados. El flujo de arroz es el que determina los impactos sobre cada CI y para cada alternativa. Mientras que las mejoras que incorporan las alternativas energéticas son pequeñas comparadas con los valores de este flujo. El recibo del arroz con la menor humedad posible, sin afectar la calidad del producto, influye positivamente en el impacto ambiental del proceso de secado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dahlgren, S. (2022). Biogas-based fuels as renewable energy in the transport sector: an overview of the potential of using CBG, LBG and other vehicle fuels produced from



<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/17597269.2020.1821571?needAccess=true&role=button>

- Gadde, B., Christoph, M. & Reiner, W. (2009). Rice straw as a renewable energy source in India, Thailand, and the Philippines: Overall potential and limitations for energy contribution and greenhouse gas mitigation. *Biomass and bioenergy*, 33(11), 1532-1546. <https://www.sciencedirect.com/getaccess/pii/S0961953409001585/purchase>
- Gahlot, P., Balasundaram, G., Tyagi, V. K., Atabani, A. E., Suthar, S., Kazmi, A. A., Štěpanec, L., Juchelková, D. y Kumar, A. (2022). Principles and potential of thermal hydrolysis of sewage sludge to enhance anaerobic digestion. *Environmental Research*, 113856. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2022ER.214k3856G/PUB_HTML
- Goedkopp, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. D., Struijs, J. & Zelm, R. V. (2008). *ReCiPe. A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level*. [https://dvikan.no/ntnu-studentserver/reports/selected%20sections%20-%20Goedkoop%20etal%20ReCiPe main report final 27-02-2009 web.pdf](https://dvikan.no/ntnu-studentserver/reports/selected%20sections%20-%20Goedkoop%20etal%20ReCiPe%20main%20report%20final%2027-02-2009%20web.pdf)
- López Acosta, J. C. (2019). *Aprovechamiento de la cascarilla de arroz para la cogeneración eléctrica* [Trabajo de Especialidad, Asistencia de Investigación, Universidad de Ibagué] <https://repositorio.unibague.edu.co/server/api/core/bitstreams/2156f7b0-c8fe-4cb5-89c2-6e74461437b2/content>
- Méndez Vives, M. C. (2010). Características de la cascarilla de arroz para utilizar como energía renovable en gasificación. [Trabajo de grado, Universidad de los Andes] <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/24547/u419491.pdf?sequence=1>
- Pereda Reyes, I., Pagés Díaz, J. y Sárvári Horváth, LI. (2015). *Anaerobic Biodegradation of Solid Substrates from Agroindustrial Activities-Slaughterhouse Wastes and Agrowastes*. <https://www.intechopen.com/chapters/48997>
- Popović, A. & Radivojević, V. (2022). The circular economy - Principles, strategies and goals. *Economics of Sustainable Development*, 6(1), 45-56. <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2560-421X/2022/2560-421X2201045P.pdf>



Samal, P., Babu, S. C., Mondal, B. & Mishra, S. N. (2022). The global rice agriculture towards 2050: An inter-continental perspective. *Outlook on Agriculture*, 51. <https://krishi.icar.gov.in/jspui/handle/123456789/76861>

Suki, N. M., Suki, N. M., Sharif, A., Afshan, S. & Jermittiparsert, K. (2022). The role of technology innovation and renewable energy in reducing environmental degradation in Malaysia: A step towards sustainable environment. *Renewable Energy*, 182, 245-253. <https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v182y2022icp245-253.html>

Unión de Nacionalización Española [UNE] (2006). *ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de Referencia*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0038060>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

E. J. P F.: Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.

S. D. G.: Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.

Y A R. Realizó la corrida de los datos en el Software y análisis de los resultados, participó en la revisión del artículo.

F. O. H. G.: Participó en el análisis de los resultados del ACV y en la revisión del artículo.

E. L. B. C.: Participó en el análisis de los resultados del ACV y escritura y revisión del artículo.

Márgenes publica sus artículos bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



<http://revistas.uniss.edu.cu/index.php/margenes>
margenes@uniss.edu.cu