

59

Fecha de presentación: julio, 2022
Fecha de aceptación: octubre, 2022
Fecha de publicación: diciembre, 2022

IMPACTO SOCIAL

DE UNA NUEVA PERSPECTIVA PARA LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD CON BIOMASA EN CUBA

SOCIAL IMPACT OF A NEW PERSPECTIVE FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICITY WITH BIOMASS IN CUBA

Yanan Camaraza-Medina¹
E-mail: yanan.camaraza@umcc.cu
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2287-7519>
¹Universidad de Matanzas, Matanzas. Cuba

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Camaraza-Medina, Y., (2022). Impacto social de una nueva perspectiva para la producción de electricidad con biomasa en Cuba. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S6), 570-579.

RESUMEN

En Cuba se aplican políticas de seguridad energética e hidrológica para disminuir el efecto de la actual crisis mundial de energía y acceso al agua potable. Las fuentes renovables de energía y las alternativas para mitigar el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua son aplicadas, entre ellas, el uso de la biomasa. El déficit probado de agua y la posibilidad del uso de la biomasa como fuente propia de energía, son elementos que respaldan el uso de aerocondensadores (ACC) en las centrales eléctricas de biomasa (CEB) previstas. El proyecto de CEB cuenta con 25 instalaciones, que cubrirán con fuentes propias de energía los requerimientos de 1,1 millones de personas, mientras que son protegidos el acceso al agua y los servicios básicos relacionados con esta, requeridos por 485840 personas. El costo de la inversión inicial es igual a 1012 millones de USD, lográndose un ahorro anual de 119,2 millones por reducción de importaciones de combustibles y mitigación de emisiones al medio ambiente. Se logra reducir el costo nivelado de la energía en un 32% y son creados además un total de 1500 nuevos puestos de trabajo en zonas rurales deprimidas. El objetivo del presente trabajo, es definir el impacto social asociado al efecto técnico-económico del uso de la tecnología de condensación ACC en las CEB previstas.

Palabras clave: Seguridad energética, mitigación, impacto social, costo nivelado

ABSTRACT

In Cuba, policies of safety energetic and hydrological are applied, to decrease the effect of the current worldwide crisis of energy and the drinking water insufficiency. The renewable sources of energy and the alternatives to mitigate the impact of the climatic change on the availability of water are applied, between them, the use of the biomass. The insufficiency of water and the possibility of the use of the biomass as own source of energy, are elements that support the use of air cooled condenser (ACC) in the planned Biomass Power Plant. This project has 25 facilities, that will supply 1.1 million people's requests with own sources of energy, while they are protected the access to water and the essential services related with this required for 485840 persons. The cost of initial investment is equal to 1012 million USD, turning out well a yearly saving of 119.2 million for reduction of imports of fuels and mitigation from emissions to the environment. It is gotten to reduce the cost leveled of the energy in a 32% and they are created besides a total of 1 500 new jobs in back depressed country. The objective of this work is to define the social impact associated with the technical-economic effect of the use of ACC technology in the planned CEBs.

Keywords: energetic certainty, mitigation, social impact, level cost

INTRODUCCIÓN

Toda acción realizada en el campo de la ciencia y la tecnología genera una influencia directa sobre la sociedad. Como elemento político y en segundo lugar como problema conceptual y metodológico, el análisis de las implicaciones de este fenómeno, su efecto y consecuencias generadas, es una labor que aborda y afronta grandes desafíos. La sociedad actual se enmarca ante dos situaciones emergentes, la sostenibilidad energética y la crisis global del agua. Al cierre del 2019, según lo publicado por la Agencia Internacional de Energía (2020), aproximadamente el 87% de los recursos energéticos empleados a nivel global son de origen fósil, a la par que la disponibilidad de agua potable ha decrecido aproximadamente un 25%. A este aspecto se incorpora la elevada tasa de emisiones de gases de efecto invernadero asociados al uso de los combustibles fósiles, (Gama, 2019).

Cuba, al igual que el resto de los países en vías de desarrollo, recibe el efecto de la globalización sobre los recursos energéticos y los daños ambientales generados a su uso. Un elemento que incide directamente sobre este efecto es la sobre explotación de las fuentes agotables de aguay combustible. En el mundo contemporáneo existe una desigual distribución de las riquezas y bienes. la literatura especializada sobre el tema plantea que *"El 20% de los habitantes disponen del 80% de la matriz energética mundial, mientras que cerca de 1 500 millones de seres humanos carecen del acceso al agua potable"*. (Castro, 2014, p.10).

La matriz energética nacional está compuesta de aproximadamente un 95% de combustible fósil y el 5% restante de fuentes renovables de energía, existiendo una alta dependencia de la importación de crudo (cerca del 85%), pues la producción nacional de hidrocarburos es insuficiente para satisfacer las necesidades energéticas del país, por lo que se requiere la importación de aproximadamente 7,2 millones de toneladas anuales de crudo con un costo aproximado de 1 500 millones de dólares (en este trabajo se toma un costo medio de 29,8 USD/barril).

De acuerdo a las regulaciones establecidas en el protocolo de Kioto, una alternativa es la introducción progresiva de fuentes renovables de energía en la generación de electricidad, la cual carece de emisiones de gases efecto invernadero. A pesar de la emergencia de la implementación del protocolo, dos importantes estados no han acogido dicho protocolo, ellos son Estados Unidos de Norteamérica e Israel. Ambos generan el 29% de las emisiones actuales y consumen el 18,5% de la energía generada y disponible en la actualidad (Francia. Agencia

Internacional de Energía, 2020). En la literatura especializada se plantea que *"Otros países que reconocen y firman el protocolo de Kioto, son China, Rusia, Reino Unido, con un 37,6; 8,1 y 6,3 por ciento del total mundial de emisiones y un 25,2; 11,1 y 12,4% del consumo de portadores energéticos"*. (Castro, 2014, p.11).

El estado cubano ha implementado normativas para el uso racional de la energía y el agua. Recientemente ha sido presentado un proyecto inversionista para el uso de fuentes renovables de energía en la generación de electricidad (1 650 MW), que incluye la energía solar (fotovoltaica), energía de los vientos (aerogeneradores) y el empleo de la biomasa. En el proyecto, un total de 875 MW corresponden a 25 instalaciones de Central Eléctrica de Biomasa (CEB), las cuales requieren de altos volúmenes de agua para su sistema de condensación. Esta inversión reducirá en un 24% la dependencia de combustibles fósiles en la matriz energética nacional, lo cual permitirá reducir cerca de 5,5 millones de toneladas de CO₂ por concepto de emisiones. Esto se traduce en un ahorro por concepto de protección al medio ambiente de cercano a los 163,2 millones de USD.

Aunque el volumen de CO₂ que será dejado de emitir como resultado de la inversión representa solo el 0,00021% de las emisiones mundiales, el efecto generado concuerda con el principio marxista que establece que *"Cualquier modesto aporte que repercuta a favor de la sociedad, sustentado en el empleo racional de la ciencia, constituye un pilar para grandes acciones"*. (Castro, 1999, p.12).

Recientemente fue confirmado que en el último quinquenio el déficit estimado de agua ha crecido en un 12 por ciento. En el boletín hidrológico 03-2020, (Cuba. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, 2020), fueron declaradas un total de 37 cuencas en estado crítico de sus cotas. De las CEB previstas, un total de 17 se sitúan en zonas de este tipo. Esta situación refuerza el cumplimiento de la ley 124/2017 sobre las aguas terrestres, la que establece en su artículo 72 la negativa del uso de cuencas con cotas críticas.

El uso de la biomasa como fuente de energía ha sido conocida desde la prehistoria, al ser la empleada por el hombre primitivo. Sin dar un tratamiento riguroso a su conceptualización, se plantea en la literatura que *"Se considera biomasa a todos los desechos y elementos provenientes de la flora, ejemplos de biomasa son la leña, el bagazo, los desechos de cosechas agrícolas"* (Vizcón, 2019, p.16).

La propia infraestructura agrícola de nuestro país lo hace un productor idóneo de biomasa, cuyo potencial puede ser empleado en la generación de portadores energéticos. Esta razón genera el proyecto de un total de 25

proyectos de CEB, las cuales serán las responsables de asumir mediante fuentes de energía propias (biomasa) la generación de 850 MW de potencia activa, lo cual equivale a 0,98 millones de toneladas de petróleo anuales, con un costo aproximado de 205 millones de USD. Este proyecto genera además un total de 1 500 puestos de trabajo claves en zonas rurales.

Sin embargo, las facilidades brindadas por el proyecto de CEB afrontan un elemento agravante, el consumo de agua asociado al empleo a estas, el cual toma valores promedios cercanos a 160 m³/h de agua por hora de servicio. La Ley 124/2017 establece que el consumo humano promedio, requiere un mínimo de 0,15 m³/día. Esto muestra que, el agua requerida por las 25 CEB para una hora de operación es suficiente para abastecer las necesidades diarias de una población de 24 800 habitantes.

Cuba no se encuentra exenta de la crisis global del agua. Recientemente fueron identificadas 37 zonas consideradas como críticas (con una población asociada de aproximadamente 850 000 habitantes), a la par que se realizan acciones sociales de concientización a través de los medios nacionales de difusión, así como profilácticas para la conservación de las fuentes existentes que no presentan deficiencias marcadas.

De las 37 zonas críticas detectadas, han sido resueltas al cierre de febrero de 2020 un total de 19, mediante una costosa inversión de sistemas de osmosis inversa, al ser instaladas plantas potabilizadoras de agua de mar. Esta solución emergente precisó un financiamiento ascendente a 72,2 millones de USD, trayendo aparejado un consumo diario cercano a 310 MWh (aproximadamente el consumo diario del municipio Colón, provincia Matanzas).

Según Deng, et al. (2019) En la actualidad, para las zonas donde el acceso al agua es una limitante, el uso de condensación seca (ACC) es una alternativa que gana adeptos. Esta tecnología es prácticamente desconocida en Latinoamérica, paralelamente, su uso genera reducciones de potencia útil y rendimiento, provocando incrementos en la inversión inicial, emisiones al medio y del costo nivelado de la energía. Acorde al criterio de Jin, et al. (2018). ante la disyuntiva del déficit de agua y la potencialidad del uso de la biomasa como fuente energética, el empleo de ACC puede ser una solución tentativa, ya probada con éxito en experiencias similares.

Vistos los pormenores que conllevan al empleo de los ACC, entonces es posible plantear que el objetivo del presente trabajo, es definir el impacto social asociado al efecto técnico-económico del uso de la tecnología de condensación ACC en las CEB previstas.

DESARROLLO

Pormenores del empleo de la biomasa como fuente energética en Cuba y repercusión de su uso sobre la sociedad.

De las zonas identificadas como críticas, dos de ellas se encuentran situadas en la provincia de Matanzas, estando situadas en los municipios de Los Arabos y Calimete, con un total de 65 000 habitantes afectados. Coincidentemente, dos de las CEB previstas se sitúan en estas zonas. Lo cual deriva en un problema que debe afrontar la ciencia, la disyuntiva de la necesidad de la independencia energética y la mitigación del efecto de los combustibles fósiles sobre las emisiones ambientales, pero no se dispone del agua requerida para dicho proceso. De acuerdo a prácticas internacionales en países con situaciones similares con el agua (entre ellos Arabia Saudí, Turquía, Sudáfrica, Rusia, etc.). De acuerdo a Mortensen (2020), esta problemática queda parcialmente resuelta con el uso de una tecnología ACC.

Las CEB que utilizan ACC como sistema de condensación prescinden del consumo de agua para tales fines, pues se emplea aire como agente refrigerante. Sin embargo, su baja capacidad térmica se convierte en un serio inconveniente, razón por la cual el ACC ha logrado una penetración limitada en las plantas de potencia, debido a las considerables compensaciones en términos de costo y desempeño. Según Kong, et al. (2018), los ACC requieren una inversión de capital mayor que los condensadores húmedos porque incorporan intercambiadores de calor más grandes, con enormes áreas de aletas y requieren estructuras de soporte adicionales.

El Departamento de Energía de los Estados Unidos plantea que los costos de instalación y operación de los sistemas ACC son actualmente de 2,5 a 5 veces superiores a su equivalente húmedo. Según Li, et al. (2018), los costos típicos de producción de energía nivelada (costo promedio de producción de la energía) para plantas con ACC oscilan entre los 40 a 80 USD/MWh, siendo aproximadamente un 15% superior a los costos obtenidos con el empleo de una tecnología de enfriamiento húmedo.

Una temperatura ambiental alta provoca un aumento en la presión de salida de la instalación de turbina acoplada al ACC, por lo tanto, se ve penalizada la potencia útil de la planta. En detrimento de esto, la época de temperaturas más elevadas es coincidente con la mayor demanda de electricidad.

Otro inconveniente del proyecto previsto es la ubicación fija de las CEB, pues estas por razones económicas deben estar lo más cercanamente posible al Complejo

Agroindustrial Azucarero (CAI) asociado, pues el proceso fabril de este último será el proveedor de la biomasa requerida para el funcionamiento de la CEB, siendo coincidente en muchos casos con zonas con estado crítico o desfavorable de disponibilidad de agua (por ejemplo los CAI Jesús Rabí y Mario Muñoz, en la provincia Matanzas).

Ante la disyuntiva del déficit de agua y la imposibilidad de la entrada en servicio de las CEB previstas, la alta directiva del país le asigna a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV) la misión investigativa de discernir cual sería la solución más adecuada desde el punto de vista técnico-económico y social sin que se vea afectado ninguno de los actores implicados.

Un estudio del proyecto inicial desarrollado por Camaraza-Medina (2019), fue presentado a diferentes niveles de administración central del estado, entre ellos el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), el grupo AZCUBA y la Entidad Contratista de Inversiones Azucareras (ECIAZ), todos bajo la observancia y la guía del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), permitió llegar al consenso que un total de siete CEB no poseen problemas para el empleo del agua, por lo que el estudio requerido se concentra sobre las 18 restantes. La caracterización de estas últimas indica que, la potencia efectiva disponible asciende a 600 MW. Un reporte reciente del Ministerio de Energía y Minas (2019), plantea que la capacidad de suministro de estas 18 CEB asciende a 11460 MWh/día, lo cual es aproximadamente las necesidades energéticas diarias de las provincias Matanzas, Cienfuegos y Villa Clara.

Camaraza-Medina (2019), establece el criterio que la entrada en operación de estas 18 CEB que presentan dificultades de acceso al agua, es posible cubrir mediante fuentes de energía limpia las necesidades energéticas (considerando un consumo promedio de 250 kWh por cliente, según recomendaciones de la Oficina Nacional para el Uso Racional de la Energía) de una población de aproximadamente 1,8 millones de personas (15,1 % del total del país), suprimiéndose el uso de 0,55 millones de toneladas de petróleo (7,6% del consumo actual) y siendo dejados de emitir 1,6 millones de toneladas de CO₂ al medio ambiente (1,2% del total actual).

Lo anteriormente planteado muestra que la aplicación de esta tecnología sería una adecuada decisión técnica que tributaría notablemente en favor de la sociedad, pero este proyecto se enfrenta a un elemento negativo muy importante. El consumo de agua de estas CEB pondría en riesgo el acceso mínimo al vital líquido a 483840 personas, no solo en los servicios básicos, sino los complementarios requeridos en la propia región, entendiéndose el agua destinada a la agricultura, a la industria y otros.

Según Liang, et al. (2019), en zonas deprimidas hidrológicamente, al ser prácticamente imposible el uso del agua en los sistemas de condensación, cuando se realiza una valoración técnico-económica de la variante más factible, este elemento se convierte en un elemento muy importante, y por tanto, en estos casos la condensación húmeda es desechada y se utiliza el ACC en su lugar.

En la tabla 1 son enumeradas las 18 CEB que presentan deficiencias de abasto de agua de enfriamiento y sus respectivas ubicaciones.

Tabla 1. CEB previstas en el proyecto que adolecen de agua para enfriamiento.

CEB	Municipio	Provincia	Potencia Instalada(MW)	Personas beneficiadas
Jesús Rabí	Calimete	Matanzas	20	23400
Mario Muñoz	Los Arabos	Matanzas	50	41600
Quintín Banderas	Corralillo	Villa Clara	20	24200
George Washington	Santo Domingo	Villa Clara	20	24400
Héctor Rodríguez	Sagua la Grande	Villa Clara	20	24700
Ciro Redondo	Ciro Redondo	Ciego de Ávila	50	44200
Ecuador	Baraguá	Ciego de Ávila	50	44700
Brasil	Esmeralda	Camagüey	20	25200
Panamá	Vertientes	Camagüey	20	25400
Batalla de Guásimas	Vertientes	Camagüey	50	45800

Colombia	Colombia	Tunas	20	16500
Antonio Guiteras	Puerto Padre	Tunas	50	46400
Cristino Naranjo	Cacocum	Holguín	20	25900
Urbano Noris	Urbano Noris	Holguín	20	26000
Julio A Mella	Julio A Mella	Santiago	50	47300
Enidio Días	Campechuela	Granma	50	47500
Antonio Sánchez	Aguada	Cienfuegos	20	17100
5 de Septiembre	Rodas	Cienfuegos	50	43000

Fuente: Elaboración propia

[Materiales y métodos para la introducción de sistemas ACC en las CEB de biomasa. Impacto social generado.](#)

Como fue visto anteriormente, Un ACC es un condensador que prescinde del consumo de agua para su operación. Sin embargo, Camaraza (2017), demostró que esta ventaja sobre su equivalente húmedo tiene un inconveniente mayor, el aire posee una capacidad térmica inferior a la del agua (casi 1 500 veces menor) por lo que se requiere más aire que agua para lograr iguales tasas de intercambio térmico, lo que inevitablemente viene acompañado de necesidades parásitas de energía en los sistemas auxiliares.

Según Ataei-Dadavi, et al. (2019), un ACC es un equipo sobre el cual ejercen una influencia marcada la temperatura ambiente y la velocidad del viento incidente, esto aparejado a la reducción de la capacidad térmica, hace que la presión de salida en una turbina acoplada a un ACC sea mayor que la de su equivalente húmedo, lo que trae como consecuencia una reducción en la potencia útil.

Una revisión a trabajos especializados sobre la temática, permite comprobar que esta reducción de potencia oscila entre el 2 al 8% del total entregado, por tal motivo en un día de operación se pierden aproximadamente unos 650 MWh/día en las 18 CEB que deben usar ACC. Esta cantidad de energía sería suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de la ciudad cabecera de la provincia Cienfuegos.

Aunque en la actualidad la geometría del ACC ha sido optimizada para minimizar el efecto de los agentes externos sobre el rendimiento, según los reportes de Qu, et al. (2018), al efectuar una comparación con condensadores húmedos se puede comprobar que el ACC sigue mostrando una efectividad menor.

En la actualidad, la tecnología ACC mayoritariamente es comercializada, controlada y producida por dos grandes monopolios a nivel internacional, *SPX Cooler* y la *Gea Power*, ambos de procedencia norteamericana. En los

últimos años la firma china *HOLTEC INTERNATIONAL* se ha especializado en este tipo de equipamiento y ha logrado desplazar en las producciones destinadas a las CEB de mediana potencia ($P < 100$ MW) a sus competidores Norteamericanos.

Las potencias de entrega de la totalidad de las CEB previstas son básicamente agrupadas en dos potencias bases, 20 y 50 MW. La transnacional China *HOLTEC INTERNATIONAL* es actualmente líder mundial en la producción y comercialización de plantas de potencias inferiores a los 100 MW, por lo que la totalidad de gestiones comerciales y equipamientos son referidos a este consorcio chino, esto se debe principalmente a las excelentes relaciones político comerciales existentes entre la República Popular China y Cuba.

Una vez establecidos los pormenores de la ingeniería básica, se disponen de los elementos mínimos para solicitar al proveedor información sobre el equipamiento requerido y sus costos de adquisición (CIF). En la actualidad debido a los estrechos vínculos comerciales de Cuba con China, las importaciones del gigante asiático tienen tasas de interés y actualización del costo del 5,5% y 10% respectivamente. Las importaciones desde otros países europeos (Francia y Holanda) reciben tasas de interés y actualización del costo del 7,5% y 12% respectivamente.

Un alto inconveniente en el empleo de la tecnología ACC es que no se disponen de normas de diseño y selección al efecto, y la información especializada generalmente no es publicada por los fabricantes, por lo que se hace necesario acudir directamente a los proveedores para que estos efectúen el análisis inicial (estudio que debe ser contratado y es un cargo adicional). En algunas ocasiones es posible acudir a experiencias similares en instalaciones que operan en condiciones climáticas semejantes y esto posibilita solicitar aproximadamente el equipamiento requerido.

La colaboración entre el autor y especialistas extranjeros del ramo, facilitó la creación de una metodología de análisis, la cual fue enviada mediante la ayuda de uno de

los colaboradores a *HOLTEC INTERNATIONAL* para su revisión, siendo recibida de esta corporación una crítica positiva sobre el método desarrollado en cuestión, siendo resumidos los mismos por Camaraza-Medina, et al. (2019); y Medina, et al. (2018).

La anterior colaboración permitió establecer lazos de comunicación personal entre el autor y el departamento comercial de *HOLTEC INTERNATIONAL*, obteniéndose a través de esta vía los costos de adquisición y similares para el ACC requerido, donde el costo CIF (producto depositado en el puerto comercial destino, La Habana) asciende a 4,85 millones de USD por unidad (un 32% más caro que su equivalente húmedo) mientras, el equipamiento completo de la CEB computa los 55,7 millones. Por lo tanto el equipamiento ACC requerido para las 18 CEB posee un costo total de 87,3 millones de USD (la tecnología húmeda hubiese costado 59,4 millones de USD), mientras que la inversión total de las CEB ascienden a 1 002,6 millones de dólares. La adquisición del equipamiento ACC en la SPX a partir de un tercero (debido a las restricciones del bloqueo económico) asciende a 5,6 millones de USD (un 15% más caro que el costo real de venta), de acuerdo a una consulta efectuada a ENERGOIMPORT, entidad cubana encargada de la contratación y adquisición de equipamiento para la generación de potencia.

Un estudio técnico-económico de la tecnología húmeda y seca fue ejecutado por Camaraza-Medina (2019), en el cual estableció los intervalos del análisis de oportunidad entre ambas tecnologías. Sin brindar el tecnicismo requerido por estos estudios, en el presente se proporcionan los principales resultados y su impacto sobre el entorno tanto económico como social para una CEB, los resultados obtenidos son válidos para las restantes 17 instalaciones.

Una CEB promedio de 20 y 50 MW de potencia labora en el año unas 3 810 horas equivalentes, valor este que es determinado a partir de la duración aproximada de la zafra azucarera, pues es esta quien genera la biomasa para el funcionamiento de la CEB. De acuerdo con los reportes del Ministerio de Energía y Minas (2019), el valor real del factor de carga para estas instalaciones fue establecido y fijado en un valor promedio de 0,72.

La tecnología húmeda para las 18 CEB de biomasa posee un costo inicial de 59,4 millones de USD. Con su uso es posible generar en el periodo de operaciones un volumen de energía igual a 2 217,4GWh, con lo que se satisface los requerimientos energéticos de aproximadamente 1,2 millones de personas y los elementos vinculados a estas, entiéndase industria, agricultura, deportes y recreación, salud pública y educación, entre otros. Este

volumen de energía generada al ser obtenida mediante biomasa (fuente de energía autóctona) permite un ahorro de combustibles fósiles cercano a 0,53 millones de toneladas de petróleo, dejando de ser emitidos al medio 1 560 miles de toneladas de gases efecto invernadero. Esto se traduce en un ahorro de 119,7 millones de USD anuales para el país por concepto de supresión de importaciones e inversiones no acometidas en función de protección de la atmósfera.

Un condensador húmedo posee una vida útil estimada de 25 años, por lo tanto, el estudio de caso efectuado posee su basamento en un horizonte de 20 años, quedando cinco años restantes en los cuales la instalación aún no ha sido depreciada totalmente. El análisis efectuado en el horizonte prefijado indica una tasa de interés de retorno del 42,6%, un valor actual neto con una tasa de actualización del 15% ascendente a 5 480 millones de USD, mientras que el período de recuperación de la inversión abarca un total de 7,2 años y el costo nivelado de la energía, (criterio que tiene en cuenta el costo medio de la generación de cada kWh) es igual a 0,0685 USD/kWh, un 45 % menor al costo nivelado obtenido con el empleo de combustibles fósiles. Sin embargo, el uso de condensación húmeda pone en riesgo el acceso al agua potable de un total de 483 840 habitantes, así como todos los servicios básicos que involucran estos, violando además lo estipulado en el decreto ley 124/2017.

La tecnología seca ACC para las 18 CEB de biomasa posee un costo inicial de 87,3 millones de USD. Con su uso es posible entregar un volumen de energía igual a 2 148,8GWh, o sea, 68,4 GWh menos que la obtenida con sistemas húmedos. Con este volumen de energía obtenida se satisfacen los requerimientos energéticos de aproximadamente 1,16 millones de personas y los elementos vinculados a estas, entiéndase industria, agricultura, deportes y recreación, salud pública y educación, entre otros. La energía generada con el uso de la biomasa en este caso es equivalente a un ahorro de combustibles fósiles ascendente a 0,5 millones de toneladas de petróleo dejando de ser emitidos al medio 1 460 miles de toneladas de gases efecto invernadero. Esto se traduce en un ahorro de 112,8 millones de USD anuales para el país por concepto de supresión de importaciones e inversiones no acometidas en función de protección de la atmósfera.

Un ACC promedio posee una vida útil de 30 años. En la variante anterior el horizonte de análisis fue fijado en 20 años, por tanto, con el objetivo de establecer comparaciones, este será el horizonte utilizado para la evaluación del ACC. El análisis efectuado en el horizonte prefijado indica una tasa de interés de retorno del 31,6%, un valor actual neto con una tasa de actualización del 15% ascendente a

3 120 millones de USD, mientras que el período de recuperación de la inversión abarca un total de 8,7 años, y el costo nivelado de la energía es igual a 0,079 USD/kWh, lo cual es aproximadamente un 36 % menor al costo nivelado obtenido con el empleo de combustibles fósiles. Esta tecnología no hace uso de agua por lo que no afecta de ninguna forma posible las fuentes de abasto, por lo tanto, no constituye un peligro para la población autóctona en la zona de operación.

Por lo tanto, aunque el uso del ACC como condensador en las CEB reduce los índices de eficiencia y los indicadores técnico-económicos, resultan un elemento paliativo de solución ante la amenaza hidrológica que constituye el empleo de su similar húmedo. Estos elementos fueron presentados por el autor del presente trabajo ante las autoridades competentes al máximo nivel en el país, recibiendo el beneplácito y aceptación de las partes implicadas a tal efecto, siendo ampliamente discutidos y difundidos.

Impacto medio-ambiental local por el empleo de ACC en las CEB de biomasa. Consecuencias sociales del mismo.

El ACC utiliza aire como agente refrigerante, el cual es entregado por ventiladores de flujo axial. Las grandes tasas de flujo de aire requerido hacen que las dimensiones de los ventiladores tome proporciones considerables (aproximadamente 10 metros de diámetro). Según Camaraza, et al. (2019), este tipo de máquinas de flujo crean asociado al movimiento del aire un fenómeno conocido en la técnica ingenieril como ablación del aire, el cual consiste en un incremento de los niveles de emisiones sonoras por la circulación forzada de flujo de aire en las paletas del ventilador

En un ACC, el nivel de ruido es un elemento importante, siendo considerado en la literatura especializada como elemento de contaminación sonora local, y por tanto, ejerce una influencia apreciable sobre el medio circundante. Existen reportes de instituciones de corte ecologista que plantean que en las zonas en las cuales se emplean ACC se aprecia la reducción de poblaciones de aves estacionales y migratorias, así como otros elementos de la fauna con hábitad acostumbrado en la zona. Siguiendo lo establecido por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, sería lógico que el nivel de ruido emitido sea también perjudicial y en algunos casos intolerantes para los humanos que residan de forma permanente en las inmediaciones de la instalación, así como los que laboran en ella o hagan estadía parcial en la misma.

La Norma Cubana NC 199-1998 “*Emisiones de ruido y niveles permisibles de perturbaciones sonoras*” establece los intervalos de ruido que pueden resultar perjudiciales

para la salud humana o que puede ser desencadenantes en enfermedades profesionales del oído (reducción de la capacidad auditiva por exposición continuada a medios emisores sonoros de alta intensidad), sin embargo no incluye el efecto de esta tecnología desconocida hasta la fecha actual en Cuba, por lo cual esta norma es desechada para ejecutar el presente estudio.

Un análisis de esferometría auditiva es reportado por O'Neill, et al. (2019), el cual fue desarrollado en el *Stokes Fluid Mechanics*, perteneciente a la *Oxford University*. En este estudio se establece que el nivel de ruido generado por el trabajo de los ventiladores axiales es únicamente dependiente de la frecuencia nominal de rotación (F_R) de estos. Cuando esta velocidad es inferior a $0,5F_R$ no se genera daño ecológico o auditivo, cuando esta velocidad se encuentra en el intervalo de 0,5 a 0,8 del total de la F_R nominal del ventilador, el nivel de ruido es perceptible y puede generar daños al ecosistema circundante y al oído humano. Ya cuando supera la fracción 0,8 de la F_R total entonces es nefasto para el medio circundante y por lo tanto, para la salud humana. Sobre este estudio fue diseñada la resolución china 10218/2019, en la cual se prohíbe el empleo de ACC en proyectos que sea necesario la regulación de velocidades del ventilador superiores al 80% de la velocidad nominal del equipo.

Es lógico que si se prefijan la velocidad del ventilador, se limite el caudal de aire a entregar y por lo tanto, sea reducido el proceso de transferencia de calor y la potencia útil de planta. El análisis efectuado a los casos de estudio presentado en la tesis doctoral elaborada por el autor del presente se dispone que la velocidad periférica del ventilador requerido por los ACC que serán instalados en las futuras CEB de biomasa nunca supera el 48% (0,48) por lo que de acuerdo a las normas internacionales vigentes clasifica en el rango de valores permisibles, por lo que no ocasiona daños al ecosistema circundante o a la salud humana.

La resolución china 10218/2019 establece las cuotas impositivas por amortización de impacto ambiental, las cuales serán entre el 1,5 al 3% del valor de uso del sistema, lo cual en el caso de estudio asciende a 1,9 millones de USD por concepto de impacto y mitigación sonora de los sistemas ACC, siendo beneficiados un total de 105 280 personas residentes en las zonas de enclave de las CEB, así como la flora y fauna autóctona de la zona, o la que de forma transitoria haga estadía en esta.

Consideraciones sobre el empleo de los sistemas ACC y su influencia sobre la sociedad

El desconocimiento de lo nuevo en ocasiones causa reacción al cambio, tal como plantean tratados de psicología

y sociología. En vísperas de esto, el autor efectuó una entrevista a 376 residentes de las zonas de enclave de ocho CEB de biomasa (las ubicadas en Matanzas, Villa Clara y Cienfuegos). Además a un total de 12 profesores en las Universidades de estas tres provincias, a tres altos directivos de AZCUBA y un total de 20 estudiantes del cuarto año curso regular diurno, de la carrera de ingeniería mecánica en la UMCC y UCLV. La muestra poblacional estudiada en las zonas del enclave de las CEB son personas vinculadas directamente al proceso fabril de azúcar en los CAI, la totalidad de los profesores son especialistas de perfil energético, poseen la categoría docente de titular y el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.

La encuesta aplicada consta de siete preguntas, las cuales son mostradas a continuación:

1. Ha escuchado UD sobre la futura instalación de bioeléctricas.
Si ___ No ___ Sin opinión ___
2. Le interesaría conocer el principio de funcionamiento de una bioeléctrica con un ACC, que beneficios reportaría para UD, su familia y el país en general.
Si ___ No ___ Sin opinión ___
3. Considera UD necesaria esa inversión para el beneficio común de todos los cubanos.
Si ___ No ___ Sin opinión ___
4. Le gustaría trabajar en la futura bioeléctrica.
Si ___ No ___ Sin opinión ___
5. Estaría dispuesto a brindar su cooperación en el desarrollo e instalación de las bioeléctricas.
Si ___ No ___ Sin opinión ___
6. Considera Ud. una decisión adecuada el cambio de tecnología de condensación por una más cara e ineficiente para proteger el acceso al agua de cerca de medio millón de personas.
Si ___ No ___ Sin opinión ___
7. Se siente Ud. orgulloso y favorecido con la selección de su zona de residencia para la instalación de una bioeléctrica.
Si ___ No ___ Sin opinión ___

Los resultados porcentuales de coincidencia de las muestras poblacionales en la encuesta aplicada son mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Computo porcentual de las respuestas recibidas de los entrevistados.

Pregunta	Residentes CAI			Profesores			Directivos			Estudiantes		
	Si	No	(SO)	Si	No	(SO)	Si	No	(SO)	Si	No	(SO)
1	56,4	31,9	11,7	91,7	8,3	0,0	100,0	0,0	0,0	10,0	75,0	15,0
2	98,4	1,6	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
3	97,1	0,5	2,4	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	95,0	0,0	5,0
4	73,9	11,7	14,4	33,3	41,7	25,0	0,0	33,3	66,7	30,0	45,0	25,0
5	87,0	2,9	10,1	83,3	0,0	16,7	100,0	0,0	0,0	80,0	5,0	15,0
6	79,3	19,7	1,0	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	80,0	5,0	15,0
7	94,1	4,0	1,9	16,7	8,3	75,0	0,0	0,0	100,0	10,0	0,0	90,0

Fuente: Elaboración propia

Nota: (SO) sin opinión

Tal como puede ser comprobado en la tabla 2 un grupo importante de estudiantes y residentes desconoce sobre la futura instalación y puesta en marcha de las CEB, por lo que se considera insuficiente la labor divulgativa al efecto, así como la comunicación social y concientización de la necesidad de su introducción. Sin embargo, resulta interesante

que la aplastante mayoría coincide en el criterio que le gustaría conocer el principio de funcionamiento de una bioeléctrica con un ACC y que beneficios reportaría para la sociedad en general, reconociendo la necesidad de la independencia energética del país.

Una parte importante de los residentes afirman que les gustaría laborar en la futura CEB, no siendo así en los tres restantes grupos, esto se interpreta como sentido de pertenencia regional en el caso los residentes, en los restantes grupos la causa mayúscula radica en que esta línea de trabajo no resulta coincidente con sus intereses investigativos-laborales y personales, sin embargo existe uniformidad de criterios en los cuatro grupos sobre la voluntad de cooperar si fuese necesario en la construcción y puesta en marcha de las CEB.

Un elemento importante de la encuesta radica en el hecho que la mayoría absoluta concuerda con el criterio del cambio de tecnología de condensación por otra que resulta más cara e ineficiente, pero que protege el acceso al agua de cerca de medio millón de personas.

Finalmente, el sentido de pertenencia de los residentes en la zona sale a relucir cuando la mayor parte de estos concuerdan con sentirse orgullosos y favorecidos con la instalación de una CEB en su zona de habitad, lo cual indica un elevado índice de aceptación e impacto social de la tecnología, cumpliéndose de esta forma a cabalidad el objetivo de la presente investigación.

CONCLUSIONES

La investigación llevada a cabo para definir el impacto social asociado al efecto técnico-económico del empleo de la tecnología de condensación ACC en las CEB de biomasa prevista permite afirmar que:

Para la sociedad cubana es imprescindible la autonomía energética para lo cual las fuentes foráneas de energía, entre ellas la biomasa, constituyen importantes referentes.

Con la entrada en servicio de las 25 CEB de biomasa, estas asumen mediante fuentes de energía propias (biomasa) la generación de 850 MW de potencia útil, lo cual equivale a un ahorro anual de 0,98 millones de toneladas de petróleo, con un costo aproximado de 205 millones de USD.

Este proyecto genera además un total de 1 500 puestos de trabajo claves en zonas rurales deprimidas y garantiza además la sostenibilidad energética requerida por 1,2 millones de ciudadanos.

La sustitución de sistemas húmedos por ACC garantiza la sostenibilidad hidrogeológica de aproximadamente

medio millón de personas, así como los servicios básicos asociados a ellos.

El proyecto es viable desde el punto de vista económico, pues para un periodo de operaciones de 20 años la inversión inicial es recuperada en 8,7 años, mientras que se acumula una tasa de interés de retorno del 31,6%, el valor actual neto con una tasa de actualización del 15% asciende a 3 120 millones de USD, al igual que el costo nivelado de la energía resulta un 36% más barato que la generada con combustibles fósiles.

Los efectos de contaminación acústica de acuerdo a los protocolos internacionales vigentes no son apreciables sobre los grupos poblacionales asentados en las inmediaciones de las CEB, así como tampoco sobre la flora y fauna autóctona o de pasantía en la región.

La inserción del proyecto, su desarrollo y perspectivas goza de la aceptación y apoyo de los residentes en la zona de enclave tal como fue demostrado en una encuesta realizada al efecto.

Más del 94 % de los residentes en la zona de enclave de 8 CEB afirman que les gustaría poseer información técnica mínima sobre el proyecto, y sienten "orgullo" de tener una CEB de biomasa en las inmediaciones del CAI en el cual laboran.

El punto anterior es un elemento indicador que corrobora el cumplimiento del objetivo del presente trabajo, dados el impacto social positivo ante la muestra de los residentes en las zonas de un elevado grado de sentido de pertenencia sobre la nueva propuesta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ataei-Dadavi, I., Chakkingal, M., Kenjeres, S., Kleijn, Ch.R., & Tummers, M.J. (2019). Flow and heat transfer measurements in natural convection in coarse-grained porous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *130*, 575-584.
- Camaraza-Medina, Y. (2019). *Métodos para la determinación de los coeficientes de transferencia de calor en aerocondensadores que operan en centrales eléctricas de biomasa*. (Tesis Doctoral). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Camaraza-Medina, Y., Hernández-Guerrero, A., Luviano-Ortiz, J.L., Cruz-Fonticiella, O.M., & García-Morales, O.F. (2019). Mathematical deduction of a new model for calculation of heat transfer by condensation inside pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *141*, 180-190.

- Camaraza, Y. (2017). *Introducción a la termotransferencia*. Editorial Universitaria.
- Castro-Ruz, Fidel. (2014). *Globalización de la energía y sus consecuencias*. Editorial Política.
- Castro-Ruz, Fidel. (1999). *Inminencia del problema energético mundial como problema social*. Editorial Política.
- Cuba. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (2020). Boletín de hidrología Noviembre/2019. <http://www.hidro.gob.cu/sites/default/files/INRH/publicaciones/boletin%2520hidrologico%25202019%252003.pdf>
- Cuba. Ministerio de Energía y Minas. (2019). Boletín de energía noviembre/2019. <http://www.dnc.une.cu/files/boletin112019.pdf>
- Deng, H., Liu, W., Zheng, W., & Zheng, W. (2019). Analysis and comparison on condensation performance of core tubes in air-cooling condenser. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 135, 717-731.
- Francia. Agencia Internacional de Energía. (2020). *Council World Energy Data Handbook*. United Nations library.
- Gama, R.M.S. (2019). Non-linear problem arising from the description of the wave propagation in linear elastic rods. *Latin American Applied Research*, 49(1), 61-63.
- Jin, R., Yang, X., Yang, L., Du, X., & Yang, Y. (2018). Square array of air-cooled condensers to improve thermo-flow performances under windy conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 719-729.
- Kong, Y., Huang, X., Chen, L., Yang, L., Du, X. (2018). Effects of geometric structures of air deflectors on thermo-flow performances of air-cooled condenser. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 1022-1039.
- Li, X., Wan, N., Wang, L., Yang, Y., & Marechal, F., (2018). Identification of optimal operating strategy of direct air-cooling condenser for Rankine cycle based power plants. *Applied Energy*, 209, 153-166.
- Liang, G., Zhang, T., Chen, L., Chen, Y., & Shen, S. (2019). Single-phase heat transfer of multi-droplet impact on liquid film. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 132, 288-292.
- Medina, Y.C., Khandy, N.H., Carlson, K.M., Fonticiella, O.M.C., & Morales, O.F.C. (2018). Mathematical modeling of two-phase media heat transfer coefficient in air-cooled condenser systems. *International Journal of Heat and Technology*, 36(1), 319-324.
- Mortensen, K. (2020). *Improved performance of an air cooled condenser using enhancement heat transfer techniques*. Willey and Sons.
- O'Neill, L., Balasubramaniam, R., Nahra, H.K., Hasan, M.M., & Mudawar, I. (2019). Flow condensation heat transfer in a smooth tube at different orientations: Experimental results and predictive models. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 140, 533-563.
- Qu, M., Yang, D., Liang, Z., Wan, L., & Liu, D. (2018). Experimental and numerical investigation on heat transfer of ultra-supercritical water in vertical upward tube under uniform and non-uniform heating single-phase heat transfer of multi-droplet impact on liquid film. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 769-783.
- Vizcón-Toledo, R. (2019). *Termotecnia II y generación del vapor*. Ediciones Universidad de Matanzas.