

Agua de mar profunda como alternativa renovable para climatización en Cuba

Deep sea water as a renewable alternative for air conditioning in Cuba

Julio Alberto-González González^I, Pablo Romelio-Roque Díaz^{II, *}

^IEmpresa Constructora Militar. Santa Clara, Villa Clara, Cuba

^{II}Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba

* Autor de correspondencia: proque@uclv.edu.cu

Recibido: 2 de mayo de 2023

Aprobado: 14 de agosto de 2023

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



RESUMEN/ABSTRACT

En el presente trabajo se hizo un estudio sobre la oportunidad que existe en Cuba de usar agua de mar profunda como alternativa renovable para climatización. En él se identificaron las principales zonas costeras donde se pudo acceder a la profundidad requerida a una distancia racional de la orilla y los posibles usuarios con mayor potencial para este tipo de tecnología. Cada lugar contó con sus propias características por lo que, en calidad de ilustración, se eligió una zona específica para un estudio de caso, con el objetivo de evaluarse el impacto energético, económico y ambiental que se pudo lograr al sustituir los sistemas convencionales actuales de climatización por compresión de vapor. Las variables de entrada y los mapas se obtuvieron de información pública disponible y los umbrales de racionalidad de un proyecto dado se identificaron mediante el análisis exergoeconómico.

Palabras clave: climatización; agua de mar profunda; costo exergoeconómico; energías renovables.

In this work, a study was carried out on the opportunity that exists in Cuba to use deep sea water as a renewable alternative for air conditioning. It identified the main coastal areas where the required depth could be accessed at a rational distance from the shore and the possible users with the greatest potential for this type of technology. Each place had its own characteristics so, as an illustration, a specific area was chosen for a case study, with the aim of evaluating the energy, economic and environmental impact that could be achieved by replacing the current conventional systems of vapor compression air conditioning. Input variables and maps were obtained from publicly available information and the rationality thresholds of a given project were identified through exergoeconomic analysis.

Key Words: air conditioning; deep sea water; exergoeconomic cost; renewable energy.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica consumida para climatización representa un elevado porcentaje de la demanda [1], sobre todo en el sector turístico. En los últimos años ha mostrado sus potencialidades como fuente de energía renovable el uso del agua marina profunda para la climatización. Esta fuente disponible todo el año implica un relativamente bajo costo energético para trasladarla a la superficie para su utilización. En 1975 el Departamento de Energía de Estados Unidos estuvo haciendo intentos del uso del agua de mar para climatización en Miami extrayendo agua a 1500 pie (460 m) de profundidad. En el laboratorio de energía natural de Hawaii se hicieron varios estudios batimétricos encaminados en buscar profundidades y distancias económicas en varios puntos de estas islas [2].

Cómo citar este artículo:

Julio Alberto González González y Pablo Romelio Roque Díaz. Agua de mar profunda como alternativa renovable para climatización en Cuba. Ingeniería Energética. 2023. 44 (3), septiembre/diciembre. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

Estos estudios demostraron que había ciertos factores a tener en cuenta para estimar la viabilidad. En 1980 el Comando Naval Material en Port Hueneme [2], concluyó que en comparación con el sistema de compresión de vapor se consume un 80% menos de energía eléctrica, aunque los costos de capital resultan ser un 60% mayores. También consideraron la posibilidad del uso del agua más cercana a la superficie con menores beneficios y apreciable disminución de los costos. Estas cifras hay que tomarlas con cautela porque el escenario económico es bastante diferente en la actualidad. Es necesario actualizar estos cálculos en cada uno de los proyectos concretos. En los inicios del siglo XXI se han realizado varios estudios detallados en condiciones concretas que han servido, en general, para demostrar la viabilidad de la tecnología y sus beneficios y costos en proyectos de diferente carácter. Makai [3], realizó un estudio detallado para 8 ciudades de Hawaii en 2002.

En 2015, se comenzó a usar en el "Museum of Tomorrow" de Rio de Janeiro (Brasil) el agua de la bahía de Guanabara para climatización [4]. Gaviria *et al* [5], estudiaron en el 2018 la aplicación del agua de mar profunda para climatización en varios lugares del Caribe, sin incluir a Cuba. Reportan disminuciones de los consumos de energía eléctrica del orden del 90 % y reducción de los costos nivelados totales. En 2018, se realizó el diseño y estudio de factibilidad de un sistema SWAC para la Universidad de Tuvalu, Pacífico Sur, trabajo en el que se fabricó una maqueta de la universidad a escala, donde se probó la efectividad de climatizar con agua de mar [6].

Hunt [7], en el 2022 realiza evaluaciones en que se considera la utilización de la SWAC con un sistema de distribución mediante amoniaco. No se dispone de referencias al uso de sistemas de análisis basados en la exergía. Aunque se tiene conocimiento de estudios realizados en Cuba sus resultados no han sido publicados en fuentes accesibles a los lectores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Acondicionamiento de aire con agua de mar

El acondicionamiento de aire con agua de mar (SWAC, por su sigla en inglés) es una tecnología de energía renovable que usa el agua fría profunda del océano para climatizar ciudades y comunidades cercanas a la profundidad requerida [5]. Los complejos turísticos constituyen importantes candidatos a utilizar este procedimiento. Con SWAC se reduce enormemente el consumo de electricidad, las emisiones de gases de efecto invernadero y el costo de la climatización al sustituir los sistemas convencionales por compresión de vapor (CV). Además, se evita el uso de gases refrigerantes que dañan la capa de ozono, Gaviria *et al* [8]. Estos beneficios se multiplican en casos de comunidades alejadas o asiladas de los sistemas de distribución de portadores energéticos.

El perfil de temperaturas vs profundidad para el océano abierto ha sido estudiado por diversos autores e instituciones y se muestra en la figura 1, en la que se observan perfiles típicos de temperaturas entre 5 y 7 °C para profundidades de 1000 y 700 m respectivamente para todas las latitudes, excepto las altas. La porción de agua fría de este perfil cambia poco por estaciones y por lo tanto básicamente está disponible todo el año, lo que resulta favorable para el rendimiento y la fiabilidad de los sistemas que usan la diferencia térmica del agua profunda y la superficial [9]. Si bien el recurso energético máximo se encuentra en los lugares de temperaturas mínimas, se destaca que para algunas aplicaciones puede ser racional utilizar temperaturas superiores, pero más cercanas a la superficie y a la costa, con inferiores costos iniciales.

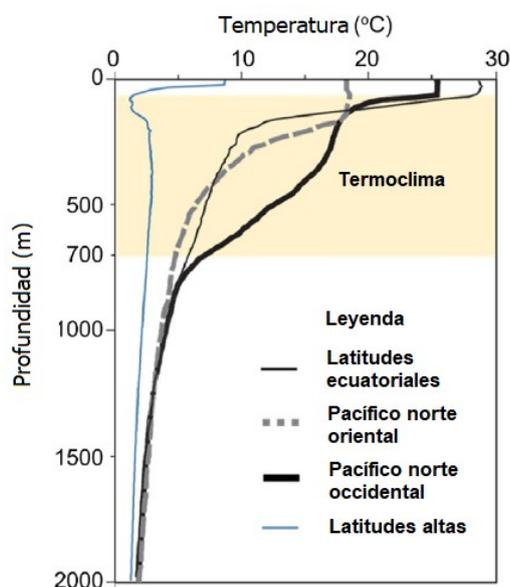


Fig. 1. Perfil de temperatura vs profundidad para mar abierto. Adaptado de [7].

El acondicionamiento de aire con agua de mar no es técnicamente complejo ni tampoco presenta altos riesgos. Esta es una tecnología establecida con componentes comercialmente disponibles, según Makai [2]. Es posible aprovechar el recurso térmico de baja temperatura utilizando un esquema relativamente simple compuesto esencialmente de un conducto de agua de mar fría, un sistema intermedio de agua dulce y una planta acondicionadora de aire de climatización, con los imprescindibles intercambiadores de calor y equipos de bombeo. En el sistema centralizado de climatización así obtenido los principales requerimientos de potencia eléctrica se concentran en las bombas, y son considerablemente inferiores a los de los compresores de los sistemas tradicionales ya que manipulan agua líquida en lugar de vapores. Adicionalmente se prescinde de los requerimientos de potencia asociados con los sistemas de enfriamiento de los condensadores y el agua fría utilizada conserva un potencial adicional que permite obtener otros servicios energéticos antes de ser devuelta al mar.

El análisis de la viabilidad de un proyecto de esta tecnología debe basarse en la determinación de la relación beneficio/costo de la sustitución de potencia eléctrica consumida y la totalidad de los costos nivelados de la cantidad de energía dejada de consumir durante la vida útil de la instalación. Resulta obvio que, aunque los costos de inversión resultan considerablemente altos, los de operación y mantenimiento son comparativamente bajos lo que permite esperar reducidos plazos de recuperación de las inversiones relativamente breves y un elevado beneficio durante el resto de la vida útil operacional del sistema. Según Makai [2], la diferencia típica de la estructura de costos entre el sistema SWAC y el sistema de referencia convencional a base de ciclos de compresión de vapor (CV) se ilustra en la figura 2, para valores concretos del volumen de la inversión y de la vida útil en el escenario considerado. Debe llamarse la atención que estas cifras deben tomarse con cautela, pues son específicas para las condiciones de cada proyecto concreto y pueden resultar completamente diferentes de uno a otro.

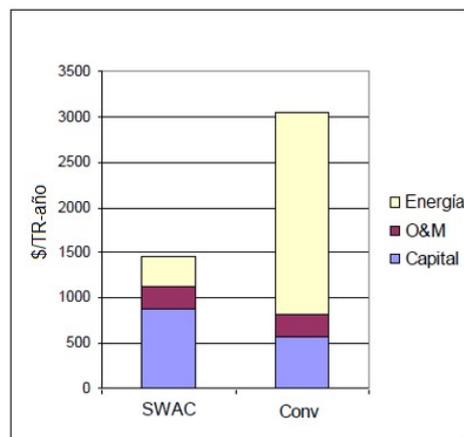


Fig. 2. Estructura de costos típica del sistema SWAC vs el convencional. Adaptado de [2]

Un análisis preliminar de las potenciales zonas cubanas en que el agua de mar profunda pueda estar a distancias de las costas que hagan prometedor un posible proyecto del uso de la tecnología SWAC para satisfacer necesidades de climatización de comunidades costeras interesadas (ver figura 3), arroja que existen seis regiones en que el recurso térmico está disponible a 1000 m de profundidad y distancias menores de 4 km.

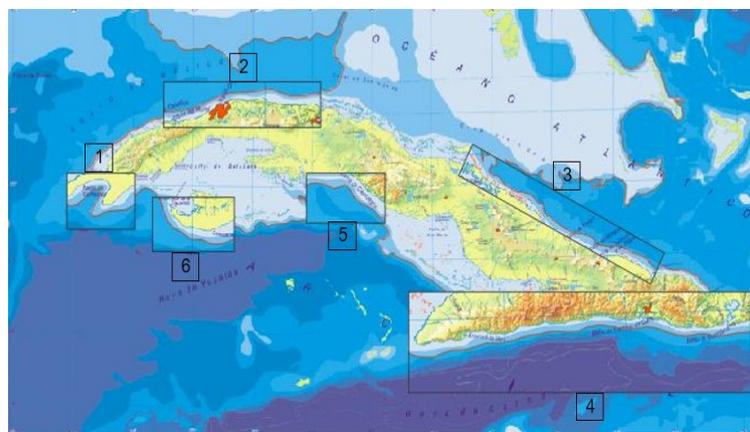


Fig. 3. Localidades de Cuba donde se puede alcanzar la profundidad de 1000 m a distancias menores de 4 km de la costa. Fuente: Elaboración propia

Además de la necesidad de una fuente de agua de mar profunda cerca de la costa, se requiere de usuarios suficientes para que resulte rentable un sistema SWAC. En el sector turístico se consume gran cantidad de energía eléctrica para climatizar y muchas de las zonas hoteleras cubanas se ubican en las regiones donde se puede acceder al agua de mar fría, lo que se usa como base para realizar el estudio de caso de alguna de ellas, con el fin de calcular la oportunidad de sustituir los sistemas convencionales. Un buen candidato es el complejo turístico de Cayo Largo del Sur, por contar con hoteles a lo largo de la orilla del mar a menos de 3,5 km de la fuente de agua fría profunda y por la elevada carga térmica de climatización que demandan. Además, la energía eléctrica se genera mediante un sistema aislado, cuyo combustible es transportado en patanas desde tierra firme.

RESULTADOS

Estudio de caso

El estudio se hizo para un caso hipotético, con el objetivo de ilustrar la oportunidad que existe en Cuba de reducir los costos de la climatización con el uso de sistemas SWAC. La zona que se analizó pertenece a Cayo Largo del Sur y se ubica entre playa Linda Arena y playa Blanca, en la que se encuentran los hoteles Playa Blanca, Sol Cayo Largo, Sol Pelicano, Isla del Sur, Villa Lindamar, Villa Coral y Villa Soledad, situados a lo largo de la orilla del mar. No se contó con datos específicos, pero se trabajó con la información comercial disponible en las redes, a partir de la cual se estima un aproximado de 1300 habitaciones. Actualmente, la climatización de dichas habitaciones se realiza mediante sistemas convencionales por compresión de vapor y se calcula una carga térmica de 3000 TR al tomarse 1,5 TR por habitación y un factor de incremento del 50% para los próximos 10 años. El mapa correspondiente se muestra en la figura 4, donde se representa la ubicación de la estación de bombeo del sistema SWAC y la ruta propuesta para los sistemas de suministro de agua de mar y distribución de agua enfriada. En dicho mapa y utilizando las facilidades de batimetría que proporciona Google Earth se determinaron las profundidades de los puntos de interés y las trazas planimétricas aproximadas de las tuberías.



Fig. 4. Ubicación de la estación de bombeo del sistema SWAC y ruta propuesta para los sistemas de suministro de agua de mar y distribución de agua enfriada. Fuente: Elaboración propia

La ubicación de la estación de bombeo en el centro de la red permite minimizar el costo inicial, al garantizar la menor longitud posible para la tubería de agua de mar y el menor diámetro para la tubería de agua enfriada. Se asumen dos metros de excavación por debajo del nivel del mar para la ubicación de las bombas según [1], intercambiadores de calor de placas de titanio y tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE) según [2].

Aunque el costo unitario de la tubería es proporcional al cuadrado del diámetro, tuberías grandes son más interesantes que una colección de tuberías más pequeñas, al ser menor la fricción y el intercambio de calor. Además, con el aumento del diámetro, la carga térmica se incrementa al cuadrado, mientras que los costos de instalación y mantenimiento no varían considerablemente [1]. A partir de lo anterior se consideran simples las tuberías de succión y descarga, y se calcula su longitud mediante la traza de la conductora y las irregularidades del fondo marino, así como teniendo en cuenta algunas otras exigencias del proyecto. La longitud aproximada de las tuberías es 3,8 km para la de entrada y 1,3 km para la de descarga, donde se asume para esta última una profundidad de 50 m, según [3], para evitar daños al ecosistema sumergido como consecuencia de la baja temperatura del agua de desecho.

La tubería del sistema de distribución de agua enfriada se estima de 3,4 km de longitud y la ruta que se propone se muestra con la línea trazada sobre la tierra. El área de los intercambiadores de calor y el diámetro de las tuberías de agua de mar se obtuvieron mediante la optimización exergoeconómica multivariable, al analizar en conjunto el sistema de suministro y la estación centralizada. Se exploraron diámetros nominales entre 28 y 34 pulg y diferencia terminal entre 4,5 y 5,2 °C, siendo la mejor combinación la correspondiente al punto mínimo de la figura 5 (a). A mayor área de intercambio de calor menor diferencia terminal, menor flujo y menor costo inicial de tuberías, pero mayor costo inicial de los intercambiadores. En el caso del sistema de suministro de agua enfriada se hizo de forma similar, pero con el diámetro nominal como única variable independiente, según se muestra en la figura 5 (b).

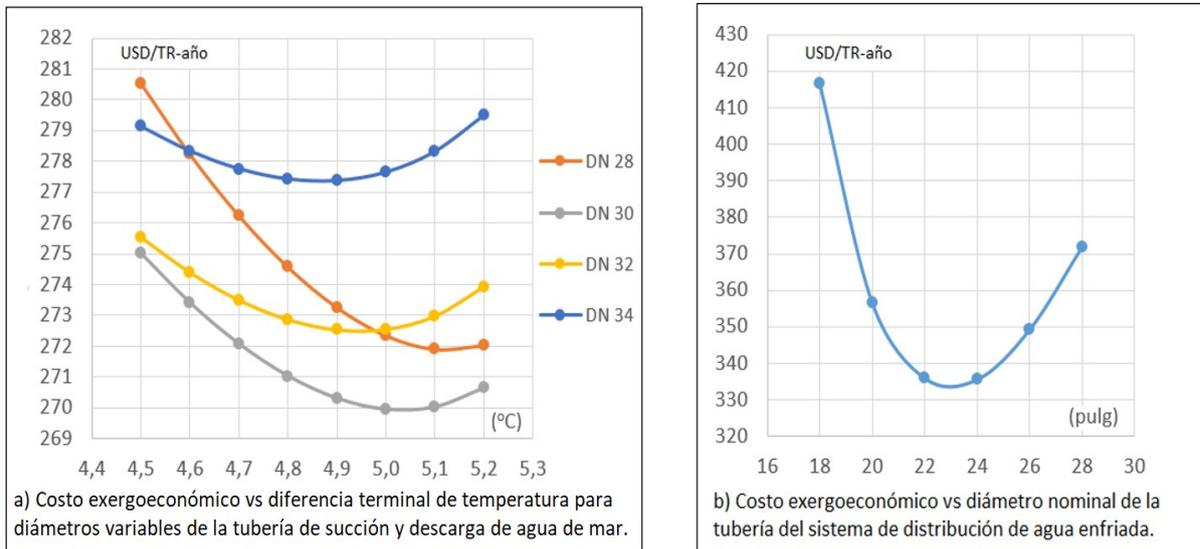


Fig. 5. Costo exergoeconómico de los sistemas de suministro de agua de mar y distribución de agua enfriada. Fuente: Elaboración propia

La parte del capital fijo relacionado con todo lo que no depende del diámetro ni del área de intercambio de calor no se tiene en cuenta para los cálculos exergoeconómicos de la figura 5, por no ejercer influencia apreciable sobre el comportamiento de las curvas. El costo exergoeconómico total se muestra en la figura 6 y resulta mayor que la suma de los óptimos de la figura 5 (a) y 5 (b).

El diámetro óptimo para la tubería de succión de agua de mar de la figura 5 (a), no tiene en cuenta la posibilidad de cavitación en las bombas y por lo tanto se debe calcular la NPSH del sistema, para compararla con la necesaria. Según catálogos de [10], la $NPSH_{necesaria}$ para bombas centrífugas puede encontrarse cercana a los 6 m, en la zona de mayor eficiencia, y la $NPSH_{sistema}$ para DN 30 pulg que se obtiene es de 7,5 m, lo que indica que bajo las condiciones evaluadas no existe el riesgo de la cavitación.

La temperatura del agua de mar profunda se incrementa al ser transportada desde el fondo hasta la superficie, debido a la ganancia térmica durante el recorrido. Dicho incremento se estima en 0,5 °C, al aplicarse la ecuación general de la transferencia de calor y el método de los polígonos, lo que sumado con los 5,5°C que se alcanzan a 1000 m de profundidad da como resultado 6°C a la entrada de los intercambiadores de calor. El área que se calcula para estos últimos es de 2940 m² y se obtiene al asumirse un coeficiente global de 3,6 kW/m²·°C según [3].

Rendimiento térmico SWAC vs CV

Como es bien sabido los sistemas centralizados de climatización por compresión de vapor son los más eficientes y de menor costo exergoeconómico dentro de su grupo, razón por la que se toman en este trabajo como base de comparaciones para evaluar la oportunidad de un sistema SWAC en Cayo Largo del Sur. El rendimiento térmico (COP) de CV puede tomar valores cercanos a 4 según [3], pero el de SWAC puede ser más de siete veces superior según se muestra en la tabla 1, lo que equivale a un 86% de ahorro de energía eléctrica.

Tabla 1. Rendimiento térmico y ahorro de energía eléctrica SWAC vs CV

	SWAC	CV
Potencia eléctrica (kW)	370	2700
Potencia específica (kW/TR)	0,12	0,90
COP	28	4
Ahorro de energía eléctrica	86%	

El ahorro puede reducir el consumo total de electricidad de todo el complejo hotelero en aproximadamente un 45%, lo que resulta considerable desde el punto de vista energético, pero se hace necesario el análisis de costos para determinar si resulta oportuno invertir en este tipo de tecnología.

Costo inicial y recuperación de la inversión

El capital inicial que se estima para el sistema SWAC se muestra en la tabla 2, el cual se desglosa entre los principales subsistemas que lo componen. Este incluye el precio de compra en el mercado internacional y los gastos adicionales de transportación y montaje, y además se le añade un 20% para posibles contingencias que puedan surgir durante la ejecución de un proyecto. El sistema de suministro de agua de mar comprende las tuberías de succión y descarga junto con la estación de bombeo. La estación centralizada incluye los intercambiadores de calor con la infraestructura correspondiente. El sistema de distribución de agua enfriada se compone por las tuberías y las bombas.

Tabla 2. Costo inicial SWAC por subsistemas

Costo inicial	Millones USD
Sistema de suministro de agua de mar	10,0
Estación centralizada	1,1
Sistema de distribución de agua enfriada	5,1
Contingencias	3,3
Total	19,5

El período de recuperación de la inversión SWAC se calcula de 7 años, pero se puede reducir a 6 años si se asume una tasa de inflación anual (*i*) del 3%. Las plantas SWAC se hacen más rentables después de la puesta en marcha a medida que el costo de operación aumenta, debido a que se incrementa el ahorro en comparación con CV. En los últimos 20 años, según el comportamiento promedio del *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI) [11], los precios se han ido incrementando a razón de un 3% anual, por lo que se puede suponer el mismo comportamiento para los próximos 10 años.

Al tomarse para SWAC un valor de *i* del 3%, 25 años de vida útil y rentabilidad del 10%, la tasa interna de retorno (TIR) resulta ser un 18% y el valor actual neto (VAN), 14 millones de dólares, lo cual representa un corto período de recuperación de la inversión y ganancias por encima de las que ofrece invertir el capital, por ejemplo, en una cuenta con interés anual del 10%. El principal inconveniente es el elevado costo inicial en comparación con CV, pero si este se analiza junto con el de operación, se puede determinar cuál es más ventajoso desde el punto de vista exergoeconómico.

Costo exergo económico

El capital inicial para un sistema SWAC supera los 3,5 millones de dólares que se requieren para CV, pero su costo de operación (0,43 millones de USD/año) es 86% menor. Estos costos se expresan con unidades de medida diferentes, pero se pueden comparar mediante un análisis exergoeconómico, al calcularse las anualidades necesarias para mantener ambas plantas en funcionamiento. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 6, mediante barras de colores, para los cuales se asumió un costo de la electricidad de 0,22 USD/kWh_e, en ausencia de valoraciones económicas externas, que se obtiene a partir de un precio del petróleo de 100 USD/barril y generación con grupos electrógenos con consumo específico de combustible de 250 g/kWh_e. El factor de utilización anual se asume de un 60% y el costo unitario para CV, de 1160 USD/TR [3], actualizado mediante el índice CEPCI. No se tiene en cuenta la mano de obra ni el mantenimiento, por ser similares para ambos sistemas.

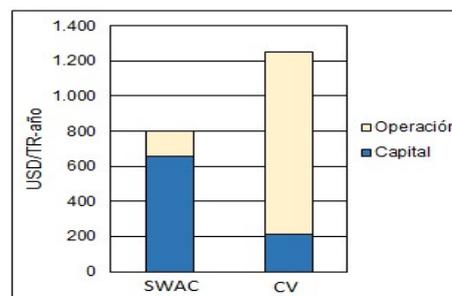


Fig. 6. Costo exergoeconómico de SWAC vs CV para Cayo Largo del Sur. Fuente: Elaboración propia

Las anualidades necesarias para mantener una planta SWAC en funcionamiento representan solo el 60% de las correspondientes a CV, lo que demuestra que con este tipo de tecnología es posible reducir en gran medida el costo de la climatización.

Además, si el agua fría de desecho se usa como recurso para otro proceso, como por ejemplo desalinización de agua de mar, el costo exergoeconómico con respecto a CV se puede reducir probablemente a un 45%. Con el uso de SWAC es posible incrementar la eficiencia energética, reducir el impacto negativo de la quema de combustibles fósiles sobre el medio ambiente y también permite fomentar el turismo ecológico.

Impacto ambiental

Los sistemas SWAC tienen beneficios ambientales significativos en comparación con los convencionales por compresión de vapor, entre los que se encuentran la reducción de emisiones de gases productos de la combustión y la sustitución de enfriadores que requieren refrigerantes agresivos con el medio ambiente. En la tabla 3, se muestra la oportunidad de reducción de emisiones en comparación con CV, al usarse una composición típica de la quema del diésel [6].

Tabla 3. Reducción de emisiones

Componente de la mezcla	Reducción de emisiones (t/mes)
Dióxido de carbono (CO ₂)	735
Monóxido de carbono (CO)	0,4
Metano (CH ₄)	1,7
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	1,3
Óxido nitroso (N ₂ O)	0,02
Óxidos de azufre (SO _x)	3,9
Material particulado	89

La principal desventaja es el efecto negativo que puede provocar el agua de mar de desecho sobre el ecosistema sumergido [1], por lo que debe descargarse a una profundidad de 50 m como mínimo o a una distancia mar adentro de aproximadamente la mitad de la longitud de la tubería de entrada, lo que adicionalmente permite reducir el choque térmico y el impacto de su mayor salinidad sobre el ambiente marino. Además, se recomienda una distancia de salida mínima al mar de alrededor de 200 m [1], para evitar la proliferación de algas. Debe sin embargo realizarse una valoración más exacta de cada proyecto para identificar los posibles riesgos ambientales locales del uso de este tipo de tecnología.

DISCUSIÓN

En el estudio de caso expuesto se demuestra que, para el escenario elegido de 3000 TR, el costo exergoeconómico de la TR-año del esquema SWAC resulta un 64 % del correspondiente al esquema de referencia (CV), equivalente a un ahorro del 86 % de la energía eléctrica consumida; con un valor actual neto de 13 millones de USD, una tasa interna de retorno de 18%, con una reducción de 775 t/mes de CO₂ dejado de emitir y cantidades apreciables de otras sustancias contaminantes. Con un beneficio neto anual de 2,7 millones USD se obtiene un plazo de recuperación simple de unos 7 años y un plazo de recuperación descontado de 5 a 6 años. Se considera, por lo tanto, cumplido totalmente el objetivo declarado del estudio de caso.

CONCLUSIONES

En la región elegida los resultados multiplicaron su impacto por estar el complejo turístico totalmente desvinculado de tierra firme por lo que todas las necesidades energéticas fueron satisfechas actualmente con combustible transportado por vía marítima, que en este caso representan 3100 t/año de combustible convencional dejadas de consumir y transportar y unas 9300 t/año de CO₂ dejadas de emitir. Todo lo anterior apunta a la conveniencia de acometer un proyecto según los principios discutidos y la alta probabilidad de lograr un sistema completo de abastecimiento de un recurso energético inagotable que permite satisfacer las demandas de energía para climatización, mayoritarias entre todos los demás recursos requeridos para mantener en explotación el complejo turístico. Los indicadores económicos, energéticos y ambientales arrojaron una alta probabilidad de construir un sistema logístico energético basado en este recurso primario, que permitió predecir una prolongada vida útil con un relativamente reducido período de recuperación de la inversión.

RECOMENDACIONES

Es recomendable acometer un estudio integral del potencial disponible de este recurso renovable mediante estudios batimétricos detallados de las regiones costeras del país incluyendo no solamente aquellos con mínimas temperaturas del agua fría profunda (cercas a los 4 °C), sino las regiones que sin llegar a tener temperaturas mínimas, las distancias a que estas se encuentran disminuyen drásticamente los costos unitarios de inversión proporcionando la reducción apreciable de los consumos de energía de los sistemas convencionales, tanto de climatización como de refrigeración de más bajas temperaturas.

Se recomienda así mismo, profundizar en las posibilidades de explotar el recurso térmico disponible en el agua moderadamente fría retornada como desecho para satisfacer otros servicios requeridos, como por ejemplo la desalinización del agua de mar.

REFERENCIAS

- [1]. Hunt JD, *et al.* "High velocity seawater air-conditioning with thermal energy storage and its operation with intermittent renewable energies". Springer Link, 2020, vol. 3, p. 1825-1840. [Consultado el 9 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12053-020-09905-0>
- [2]. Makai Ocean Engineering. "New renewable energy report released: seawater air conditioning in the Caribbean". Kailua, Hawaii, USA, 2015, p. 4. [Consultado el 9 de febrero de 2023]. Disponible en: https://www.makai.com/Makai_Seawater_Air_Conditioning_Brochure_2015_9_17.pdf
- [3]. Department of Business EDT, Energy R, and Technology Division. SEA WATER DISTRICT COOLING FEASIBILITY ANALYSIS FOR THE STATE OF HAWAII 2002 [Consultado el 9 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://energy.hawaii.gov/wp-content/uploads/2011/10/SeaWaterDistrictCoolingFeasibilityAnalysisfortheStateofHawaii2002.pdf>
- [4]. Hunt JD, *et al.* "Technical potential and cost estimates for seawater air conditioning". Energy, 2019, vol. 166, p. 979-988. [Consultado el 9 de febrero de 2023]. doi: 10.1016/j.energy.2018.10.146:[Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054421832142X>
- [5]. Gaviria JA, *et al.* "Understanding the future of Seawater Air Conditioning in the Caribbean: A simulation approach". Utilities Policy, 2018, vol. 53, p. 73-83. [Consultado el 9 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957178718300420>
- [6]. Ahmed MR. "Feasibility Study & Design of a Seawater Air-Conditioning System for USP Tuvalu Campus: The University of the South Pasific". USP The University of the South Pacific, 2018, Final report. [Consultado el 9 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecrepattach/USP%20SWAC%20Final%20Report%20to%20IU CN.pdf>
- [7]. Hunt JD, *et al.* "Seawater air-conditioning and ammonia district cooling: A solution for warm coastal regions". Energy, 2022, vol. 254, part. B, e124359. [Consultado el 9 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222012622>
- [8]. Gaviria JA. "Adoption of sea water air conditioning (SWAC) in the Caribbean: Individual vs regional effects". Journal of Cleaner Production, 2019, vol. 227, p. 280-291. [Consultado el 9 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261931234X>
- [9]. Hunt JD, *et al.* "Deep seawater cooling and desalination: Combining seawater air conditioning and desalination". Sustainable Cities and Society, 2021, vol. 74, e103257. [Consultado el 9 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670721005333>
- [10]. Cengel YA, Cimbala JM. "Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones New York: McGraw-Hill Education"; 2018, ISBN 978-1-259-69653-4 [Consultado el 9 de febrero de 2023]. 4ta:[Disponible en: https://www.academia.edu/25669790/Mecanica_de_Fluidos_Fundamentos_y_Aplicaciones_Yunus_Cengel_y_John_Cimbala_Primer_Edicion
- [11]. Economic Indicators, "Chemical Engineering Plant Cost Index". Chemical Engineering 2022 [Consultado el 9 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.chemengonline.com/pci-home>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Julio Alberto González González: <https://orcid.org/0009-0000-0666-0593>

Realizó la recopilación de la información, los cálculos exergoeconómicos principales, la redacción del artículo y los análisis de los resultados y sus posibles aplicaciones.

Pablo Romelio Roque Díaz: <https://orcid.org/0000-0001-5150-1778>

Planeó la organización general del trabajo científico, asesoró en la redacción del artículo, aportando correcciones para mejorar la comprensión de las ideas y valoraciones presentadas y asesoró en la redacción y profundidad de las conclusiones y recomendaciones.