

Hacia un futuro energético sostenible: Análisis de la central termoeléctrica de Cartagena y alternativa para la adopción de fuentes de energías renovables

Sara Tovar Flórez

Juan Felipe Valencia Buitrago

Departamento de Ingeniería Química

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

La energía eléctrica es una de las más importantes necesidades del hombre para el mantenimiento y el desarrollo de la calidad de vida en la sociedad contemporánea. Actualmente, existen dos tipos de recursos energéticos que impulsan la generación de energía eléctrica; los renovables y los no renovables. Los recursos renovables se refieren a todo aquel que no provenga de origen fósil, además de no ser limitados y no generar contaminantes, como lo es el sol, el viento, las olas, la marea y la biomasa vegetal o animal. Al contrario, dentro de los recursos catalogados como no renovables se encuentran: el carbón, petróleo y el gas natural. Este último recurso, extraído de los yacimientos de petróleo, es clave para el correcto funcionamiento y manufactura de diferentes industrias a nivel mundial, especialmente para las que lo usan como materia prima para generar electricidad, como las centrales termoeléctricas. No obstante, gracias a la alta demanda energética de todos los sectores industriales, las centrales encargadas de proveer este recurso aumentaron el consumo del gas natural, aumentando al mismo la cantidad de emisiones atmosféricas contaminantes y contribuyendo al impacto negativo en el medio ambiente (Martínez et al, 2020; Hubert & L'Hoste, 2021) (Argentina.Gob.ar, 2024).

GIPEM 07, octubre (2024)
pp. 89-96
www.gipem.co/revista-gipem
gipem_fiarman@unal.edu.co
©Derechos patrimoniales
Universidad Nacional de Colombia

Solo en Colombia, existen aproximadamente 45 industrias capaces de generar energía eléctrica mediante fuentes no renovables, como la central termoeléctrica de Cartagena, ubicada en Mamonal, área industrial de la ciudad costera. Este complejo termoeléctrico tiene una capacidad instalada para generar 203 megavatios (MW) usando gas y/o combustible líquido como materia prima. Sin embargo, al igual que sus homólogos industriales en el resto del mundo, esta capacidad eléctrica se traduce en una alta aportación al impacto medioambiental, siendo parte del 90 % de las emisiones de CO₂ y NO_x procedentes de las grandes instalaciones de combustión. Este desenlace resulta preocupante si se considera que este tipo de gases emitidos a la atmósfera son los

principales causantes de la lluvia ácida, y han desequilibrado las concentraciones de los gases que componen la capa atmosférica por encima de sus niveles naturales conduciendo así a importantes cambios en las propiedades químicas y radiactivas de la atmósfera, cabe aclarar que se originarán problemas globales según el tiempo de vida de los contaminantes atmosféricos y las termoeléctricas producen parte de los gases de efecto invernadero (GEI) más importantes en forma de emisiones fugitivas y quema de combustible. (Liu et al., 2022; Liu et al., 2020; Rico et al., 2005; Perez et al., 2011).

En este sentido, es relevante, a la vez que se empieza a tornar casi imperioso, la transición a la generación de energía eléctrica fundamentada en el uso de recursos renovables. Aunque se sabe que el cambio del gas natural por otro recurso resulta controversial debido a que es una de las principales fuentes para el sostenimiento de la central como empresa para poder generar la energía demandada por la creciente sociedad, es posible plantear sugerencias para aliviar la transición. También teniendo en cuenta que no todas las energías renovables son viables en todos los lugares, dependen de factores que se mencionaran más adelante. Termocartagena es una de muchas plantas que tiene el reto de convertir su planta térmica de gas natural y líquido a una materia prima renovable, de cero emisiones (no convencionales), teniendo una gran fuente de energía a su lado, el mar. Lo anterior lleva a pensar ¿cuál es el recurso y método óptimo que puede hacer la planta térmica termocartagena para la transición de energías convencionales a no convencionales sin afectar su situación económica? (Universidad Eafit, 2024). La ubicación geográfica de la planta termocartagena es la bahía de Cartagena, al norte se encuentra el mar caribe y al sur las islas Barú, ideal para energías renovables relacionadas al mar. Inclusive, en el proceso actual, el agua utilizada en el proceso de enfriamiento es agua del mar caribe impulsada por dos bombas. La planta posee dos generadores (Turbinas), tanques para el tratamiento de agua de desecho al mar (floculadores y tanques de almacenamiento), entre otros equipos, los cuales están diseñados para un proceso convencional de energía eléctrica aptos para las propiedades al nivel del mar (Alvarez & Cardona, 2000) (Fúquene & Yate, 2018) (Datacrédito experian, 2024).

Las energías renovables sugeridas para las circunstancias y posición geográfica de termocartagena son cualquiera relacionada con el mar. Sin embargo, existen diferentes tipos de energías, algunas más estudiadas que otras, sobre los fenómenos ocurridos en el mar. El gradiente salino, una especie de ósmosis, en la cual la diferencia de concentraciones de la sal de mar y el río genera energía. Las corrientes marinas, para las cuales son necesarias turbinas y una velocidad mínima para la generación. Mareomotriz, la cual se encarga de usar las diferencias de la marea alta y baja, provocadas por la gravedad lunar, solar y terrestre, como fuente de energía. La térmica oceánica, que usa los gradientes de temperaturas debido a la profundidad en el océano generando calor con un delta mayor a 20°C. Vientos oceánicos, los cuales solo son útiles en lugares con velocidades altas. Biomasa marina, de las más comprometedoras, ya que existe una cantidad tan alta como 240.000 millones de elefantes africanos en peso. Por último, la undimotriz que usa las fuerzas de impacto de las olas, producidas por el viento, para transformarla en energía eléctrica. El presente ensayo sólo abarca la posibilidad de la energía mareomotriz y undimotriz (Amundarain, 2012) (Levy, 2012).

La energía renovable tiene impactos positivos sobre el medio ambiente, mitigando problemas como el efecto invernadero, también, el costo a largo plazo, de este tipo de energía, es previsible y panificable, a diferencia de la energía generada por combustibles fósiles cuyos precios dependen de la coyuntura y varían constantemente. Por otro lado, al encontrarse en cualquier parte del planeta, asegura la independencia energética al evitar la importación de combustibles fósiles. Además, en el establecimiento de una planta de energía eléctrica con fuentes no renovables, hay efectos negativos. Por ejemplo, pueden ocupar grandes hectáreas, invadiendo e interrumpiendo

la vida de fauna marina y aves, al igual que generando desechos al medio. Por lo tanto, para el caso de termocartagena es necesario un análisis ambiental y biológico del ecosistema marino para una fuente de energía como las olas o mareas. Así pues, es conveniente reducir lo que más se pueda el área del nuevo equipamiento dentro del mar, sin reducir la eficiencia (Vásquez, 2015) (Moreno, 2013).

En el mundo ya existen centrales eléctricas donde se aprovecha la energía de las mareas y olas. La primera central mareomotriz registrada es La Rance, la cual se ubica en Francia y fue puesta en marcha en 1967. Esta planta es la que tiene mayor capacidad para generar energía eléctrica, esto se debe a que posee 24 turbinas bulbo axiales que producen cada una 24 MW. De igual forma, en Rusia, la central de Kislaya fue construida un año después, como una prueba para construir otra que jamás llegó, por esta razón solo posee una turbina que produce 0.4 MW. Ambas plantas usan métodos similares para el aprovechamiento de las mareas en la generación de energía eléctrica. Primero, se encargaron de construir un dique para separar un embalse de un área de hasta 20 *km*². Durante la pleamar se llena el embalse, y en bajamar se cierran las compuertas para generar una diferencia de altura que luego es aprovechado por las turbinas. También, existe la posibilidad de hacer varios embalses para tener diferentes alturas y generadores, al igual que usar turbinas que también funcionen como turbomáquinas que permitan elevar el agua en ciertas ocasiones (Gomez & Burgos, 2008) (Structuralia, 2024).

El equipo necesario para una central undimotriz depende de cómo se quiera recolectar la energía. Una de las soluciones es usar un equipo Pelamis Wave Power, el cual consiste en cuatro secciones tubulares conectadas entre sí, en los cuales se encuentran generadores capaces de producir 250 KW cada uno. Existen varios inconvenientes tratándose del mar, primero, el agua salina es corrosiva, por lo que los materiales a usar deben contrarrestar este factor, como lo puede ser el acero inoxidable. También, se pueden usar pinturas especiales para el mar. De igual forma, se deben fabricar con el fin de resistir tormentas, golpes y otros fenómenos que no queden imprevistos. Por último, es necesario realizar planes a largo plazo para las diferentes empresas, existe una ruta de desarrollo de una planta de 30 MW a 20 años (Rojas, 2009) (Haim, Pelissero, & Pozzo, 2019).

Por otro lado, el equipo necesario para la construcción y funcionamiento de una central mareomotriz es más costoso a nivel estructural ya que implica la utilización de tecnologías e infraestructura especializadas necesarias para explotar la energía de las mareas. Del mismo modo, se tienen en cuenta otros factores como la ubicación, que puede requerir un mayor grado de ingeniería debido a la topografía del terreno, profundidad del agua y las condiciones climáticas del medio, lo que nos lleva a otro factor de estudio que son las condiciones del sitio, como la fuerza y la frecuencia de las mareas, que, al ser mayores, es posible que se necesiten técnicas de mayor estudio y costo para el aprovechamiento óptimo de la energía que estas nos proporcionan. Agregando a lo anterior, hay gran diversidad de tecnologías para dicho aprovechamiento, verbigracia, las turbinas de marea y los sistemas de presas, cada una de estas tecnologías tienen costos asociados de mano de obra, materiales o construcción según sea requerido, y esto se vería reflejado en los costos totales del diseño y construcción de un dique para el embalse. Con el fin de reducir costos, los demás equipos como turbinas, bombas, salas, instalaciones, compuertas de llenado y vaciado, se hacen dentro del dique. A largo y corto plazo es económicamente costoso (Hurtado & Mejía, 2006) (Chaparro, 2010).

Ahora bien, es importante recalcar que la transición energética en Colombia es un desafío crucial que requiere esfuerzos considerables. Se enfrenta a limitaciones técnicas y financieras para llevar a cabo proyectos de esta magnitud, así como a la falta de una infraestructura adecuada. Además,

la ubicación geográfica del país y los numerosos problemas socioeconómicos asociados al cambio climático complican aún más el panorama, adicionalmente, se sabe que la generación de energía eléctrica a partir de fuentes convencionales presenta dos grandes desventajas. En primer lugar, está el agotamiento proyectado de los recursos combustibles utilizados, con estimaciones que sugieren que, de continuar el consumo actual, las reservas mundiales de estos recursos fósiles se extinguirán para el año 2050. Además, la combustión de estos recursos emite gases contaminantes a la atmósfera, lo cual constituye un problema de gran relevancia a nivel global. Desde la revolución industrial, las emisiones de estos gases han aumentado exponencialmente, exacerbando el cambio climático y sus impactos negativos en la salud humana y los ecosistemas (Enel Green Power, 2022; Márquez et al., 2002).

Si bien, el considerar una transición hacia fuentes no convencionales de energía eléctrica, como la eólica, solar fotovoltaica y mareomotriz es sin duda casi una obligación para Colombia, ya que estas fuentes presentan múltiples ventajas, al ser renovables y no agotables, y su impacto ambiental es considerablemente menor en comparación con las fuentes convencionales, adicionalmente que las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con estas fuentes son mínimas, lo que las convierte en una opción atractiva para mitigar el cambio climático y sus consecuencias, se sabe que la transición requiere de mucho tiempo para llegar a un estado de equilibrio, entonces se proyecta que en el mediano plazo, se debe continuar con el uso de las fuentes convencionales como lo son los combustibles fósiles que dan respaldo con un mayor aporte del gas natural, optando por el cumplimiento de los requerimientos medioambientales, enfatizando que se trata de combustibles de transición hacia la generación limpia, luego, en el largo plazo, con una mayor participación de las energías renovables, el desarrollo de técnicas de almacenamiento energético le permitiría a la generación por fuentes renovables ya sea convencionales o no convencionales, servir de respaldo, reemplazando gradualmente la generación térmica, independientemente de las condiciones climáticas (Duarte y Cols, 2006; de la Energía, 2014; Ramos et al., 2017; Paniagua y Duarte, 2021).

De igual forma, como se mencionó antes, un elemento que se debe tener en cuenta en este tipo de estudio es el tamaño y escala del proyecto de planta mareomotriz, dado que al ser más grande requiere mayor inversión en infraestructura y tecnología como también más permisos y estudios de impacto ambiental. En el caso de la termoeléctrica Termocartagena, para la financiación de proyectos a largo y corto plazo sería complicado hace ciertos años, pues la empresa termocartagena se encontraba en dificultades y deudas económicas con el gobierno nacional y otras empresas. Sin embargo, en el año 2023 Enel Colombia, del grupo Enel, realizó un acuerdo de compraventa de la planta térmica afirmando que, este acuerdo responde a una estrategia de Enel Colombia para enfocar sus esfuerzos en el desarrollo de proyectos renovables o no convencionales, enfocándose en la región caribe, en el que se valora un gran potencial para contribuir a la diversificación de la matriz energética colombiana. Cabe resaltar que, por medio de su filial Enel Green Power la empresa cuenta con un abanico de proyectos por 800 megavatios en Cesar, Magdalena y Atlántico. Con este cambio de dirección, la empresa puede cumplir y planificar cambios para la transición a una energía no convencional sin sacrificar vatios de producción. (Enel, 2024).

Por otro lado, considerando también que el actual sistema de producción energética basado en la explotación de recursos fósiles tiene una fecha de caducidad, la falta de acción para garantizar la seguridad energética a largo plazo podría dejar a todas las economías mundiales en un estado de inoperancia, dada nuestra fuerte dependencia de este sistema. Por consiguiente, es esencial evaluar los costos macroeconómicos asociados con este proceso de transición en el contexto de Colombia. Comprender el impacto en la economía nacional permitirá tomar decisiones

informadas en materia de política pública e inversión, asegurando que la transición se realice de manera rentable y sostenida. De esta manera, se podrá garantizar que los recursos económicos disponibles se asignen de manera eficiente hacia el desarrollo de tecnologías y prácticas más apropiadas para lograr una transición energética exitosa.

Recapitulando, la empresa termocartagena en la necesidad, al igual que todas las empresas a nivel mundial, deben agilizar y comenzar con la planificación a la transición de energías no convencionales y debe aprovechar su entorno. Por su geografía, se buscan alternativas marítimas en las cuales las fuentes de energía sean renovables. Los tipos de energías posibles son: undimotriz y mareomotriz. De este modo, la energía a nivel económico y ambiental más favorable para la empresa a corto y largo plazo es la energía undimotriz. Lo anterior se debe a que la energía mareomotriz necesita más espacio y, por ende, mayor capital para generar la misma cantidad de energía que otros tipos de generación. Sin embargo, el único inconveniente aparte de que sufra desgaste debido al agua de mar y la humedad lo que complica el mantenimiento y eleva costes, es que la energía undimotriz no está tan estudiada como la mareomotriz, por esta razón es bueno considerar equipos estándares como lo son Pelamis Wave Power.

También es fundamental abordar el aspecto social en relación con los cambios drásticos que implica la transición hacia fuentes de energía renovable, ya que estos cambios afectan no solo el ámbito económico y ambiental, sino también el tejido social de las comunidades involucradas. Por lo tanto, es esencial realizar un trabajo exhaustivo, detallado y responsable con las comunidades que residen en las regiones donde se planean desarrollar estos proyectos de generación de energía renovable. El objetivo principal debe ser involucrar activamente a las comunidades en el proceso desde sus etapas iniciales, garantizando que comprendan los beneficios económicos y sociales que podrían derivarse de la implementación de estos proyectos. Esto implica establecer canales de comunicación efectivos y transparentes, así como brindar información clara y accesible sobre los impactos potenciales, tanto positivos como negativos, de los proyectos en su entorno.

Además, es crucial promover la participación de las comunidades en la toma de decisiones, permitiéndoles expresar sus preocupaciones, necesidades y opiniones. Esto no solo contribuirá a generar un sentido de pertenencia y empoderamiento entre los habitantes locales, sino que también ayudará a identificar posibles conflictos o desafíos antes de que surjan, facilitando así la implementación exitosa de los proyectos. Un mecanismo fundamental para garantizar el rendimiento efectivo de la transición energética es la mejora de la eficiencia energética. Esto implica la adopción de nuevas tecnologías y la promoción de hábitos de consumo más responsables para optimizar el uso de los recursos energéticos disponibles. La eficiencia energética no solo contribuye a reducir los costos y mejorar la competitividad, sino que también es una estrategia clave para mitigar los impactos ambientales asociados con la cadena energética, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y minimizar la huella ecológica de las actividades humanas. En definitiva, al considerar el aspecto social y promover la eficiencia energética, podemos avanzar hacia una transición energética más equitativa, sostenible y exitosa.

Cabe resaltar que la matriz energética de Colombia, caracterizada por un alto componente hidráulico, la sitúa como una de las más limpias a nivel mundial. Este enfoque en la generación hidroeléctrica ha permitido que Colombia cumpla fácilmente con los compromisos ambientales adquiridos en el ámbito internacional. De hecho, la generación de energía limpia ha contribuido significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y al mantenimiento de la biodiversidad. Sin embargo, la dificultad para trascender energéticamente en Colombia no se debe a motivos medioambientales, sino más específicamente a limitaciones

técnicas y financieras para llevar a cabo proyectos de esta magnitud, lo cual hace que las empresas busquen inversión a este tipo de proyectos, como en el caso de la termoeléctrica de Cartagena y su acuerdo de compraventa con Enel y su enfoque a la diversificación de la matriz energética colombiana (Mendez.,2023; Enel, 2024).

Es importante destacar que, si bien la generación hidroeléctrica es una fuente de energía limpia y renovable, también plantea desafíos y limitaciones como pueden ser, la construcción de grandes represas que además de requerir un alto coste en su implementación y manejo, también puede tener impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y terrestres, así como en las comunidades locales que dependen de ellos para su sustento o en su defecto, la inundación de áreas contiguas, implicando la expropiación de tierras y provocando reubicación de comunidades locales o cambios en la calidad del agua. Además, la variabilidad climática y los fenómenos extremos, como sequías e inundaciones, pueden afectar la disponibilidad y la confiabilidad de la generación hidroeléctrica. En síntesis, aunque Colombia cuenta con una matriz energética relativamente limpia y renovable, el desafío para avanzar en su transición energética no radica principalmente en preocupaciones medioambientales, sino en las limitaciones técnicas y financieras. Sin embargo, mediante un enfoque integral que promueva la diversificación de fuentes de energía, la inversión en tecnologías limpias y la colaboración entre múltiples partes interesadas, Colombia puede superar estos obstáculos y encaminarse hacia un futuro más sostenible y resiliente en términos energéticos (Gómez et al., 2020).

Referencias

- Alvarez, G. M., & Cardona, J. E. (2000). Diseño de una metodología para la realización de estudios técnicos y económicos en la repotenciación de centrales térmicas en Colombia. Universidad de la Salle, 314-315.
- Amundarain, M. (2012). La energía renovable procedente de las olas. Departamento de sistemas y automática, UPV/EHU, 2-3.
- Argentina.Gob.ar. (2024, Marzo 22). Retrieved from ¿Qué son las energías renovables?: <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/que-son-las-energias-renovables>
- Cancelo Márquez, M., Vázquez, D., y del Rosario, M. (2002). Emisiones de co2 y crecimiento económico en países de la ue. Estudios Económicos de Desarrollo Internacional. AEEADE, 1(2), 69-91.
- Chaparro, E. (2010). Generación de energía mareomotriz en la Argentina. Instituto tecnológico de Buenos Aires, 60.
- Datacrédito experian. (2024, Marzo 25). Retrieved from SMN termocartagena S.A.S: <https://www.datacreditoempresas.com.co/directorio/smn-termocartagena-sas.html>
- De Kuyper, J. C. V. (2014). Fuentes de energía renovables y no renovables. Aplicaciones. Revista Escuela de Administración de Negocios, (77), 216-218.
- Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., . . . Valladares, F. (2006). Cambio global. impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas.

- Enel Green Power. (2022). Qué es la transición energética. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/transicion-energetica>.
- Enel. (2024, Marzo 25). Retrieved from Enel Colombia y SMN Termocartagena S.A.S firman acuerdo de compraventa de la central térmica: <https://www.enel.com.co/es/prensa/news/d202307-firma-acuerdo-termocartagena.html>
- Fúquene, D., & Yate, A. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Ecapma*, 1,2.
- Gómez, L. A., & Burgos, W. Y. (2008). Actualización del inventario e posibilidades de generación de energía mareomotriz en Colombia. Bogotá D.C: Universidad de la Salle.
- Gómez, J. M., & Sosa Giraldo, N. E. (2020). Energías Limpias para un Desarrollo Sostenible en Colombia.
- Haim, A., Pelissero, M., & Pozzo, J. (2019). energía undimotriz tecnologia argentina para la generación de energía electrica . *Asades*, 40,41.
- Hurtado, H., & Mejía, J. (2006). Localización técnica de una pequeña central mareomotriz en la costa colombiana. Bucaramanga: Univeresidad industrial de Santander.
- Levy, A. (2012). Energía Marina en Chile. Santiago de Chile: Centro de Innovación Energética.
- Liu, Z., Li, D., Zhang, J., Saleem, M., Zhang, Y., Ma, R., He, Y., Yang, J., Xiang, H., & Wei, H. (2020). Effect of simulated acid rain on soil CO₂, CH₄ and N₂O emissions and microbial communities in an agricultural soil. *Geoderma*, 366, 114222. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2020.114222>
- Liu, Z., Shi, Z., Wei, H., & Zhang, J. (2022). Acid rain reduces soil CO₂ emission and promotes soil organic carbon accumulation in association with decreasing the biomass and biological activity of ecosystems: A meta-analysis. *CATENA*, 208, 105714. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2021.105714>
- Méndez Bernal, A. A. Transición Energética en Colombia: Propuestas para Promoverla a Partir del Potencial de las Energías Renovables y su Nivel de Implementación Actual en el País.
- Moreno, P. (2013). energía eólica: ventajas y desventajas de su utilización en colombia. *Universidad libre*, 13,15. Rojas, J. A. (2009). Evaluación técnico económica de una central undimotriz con tecnología de Pelamis en Chile. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Pérez, M. E. F., & Arias, F. L. H. (2011). Estudio de los principales procesos que originan emisiones de gases a la atmósfera. *Ciencias Holguín*, 17(1), 1-9.
- Ramos, A. C. M., Figueroa, M. P., Gallardo, J. R. P., & Almaraz, S. D. L. (2017). Energías renovables y el hidrógeno: un par prometedor en la transición energética de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (70), 92-101.

Rico, J. C. S., & Sánchez, Y. A. C. (2005). Análisis teórico de la combustión en quemadores de gas natural. *Scientia et Technica*, 3(29), 139-143.

Structuralia. (2024, Marzo 25). Retrieved from La planta de energía mareomotriz Rance Tidal: <https://blog.structuralia.com/la-planta-de-energia-mareomotriz-rance-tidal>

Universidad Eafit. (2024, Marzo 22). Retrieved from El reto de las energías renovables no convencionales: <https://www.eafit.edu.co/investigacion/noticias/Paginas/El-reto-de-las-energias-renovables-no-convencionales.aspx>

Vásquez, J. L. (2015, Septiembre 25). Blog UDLAP. Retrieved from Ventajas y desventajas de la energía renovable: <https://blog.udlap.mx/blog/2015/09/25/energiasrenovables/#:~:text=En%20el%20lado%20negativo%2C%20los,producir%20contaminaci%C3%B3n%20visual%20y%20ruido.>