

La energía undimotriz como fuente de sostenibilidad energética en Colombia

Ezequiel David Fernández Conradoa
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

La energía undimotriz, también conocida como energía del oleaje, es una alternativa prometedora para la sostenibilidad energética en Colombia. Esta energía renovable derivada del movimiento de las olas tiene la capacidad de ampliar la gama de fuentes de energía del país, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir los efectos ambientales derivados de la generación de energía con fuentes convencionales. En el contexto colombiano, la dependencia histórica de los combustibles fósiles ha generado una serie de desafíos en términos de sostenibilidad energética. La producción y consumo de petróleo y sus derivados han llevado a un alto nivel de importaciones, lo que plantea preocupaciones sobre la seguridad energética y la vulnerabilidad a los cambios en los precios internacionales del petróleo. Además, la disminución de las reservas probadas de hidrocarburos (Vargas Gómez, 2007) ha generado la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía para satisfacer la demanda nacional. El potencial de la energía undimotriz como fuente de sostenibilidad energética en Colombia es un tema de creciente interés en el contexto de la búsqueda de fuentes de energía renovable. Según el informe de (Demirbilek, 2013), Colombia cuenta con un potencial estimado de 17 GW de energía undimotriz, lo que representa una oportunidad significativa para la generación de electricidad a partir de este recurso renovable. La energía undimotriz ofrece ventajas significativas en comparación con otras fuentes de energía renovables, por ser constante y predecible; ya que no requiere grandes extensiones de

GIPEM 05, diciembre (2023)
pp. 117-124
www.gipem.co/revista-gipem
gipem_fiarman@unal.edu.co
©Derechos patrimoniales
Universidad Nacional de Colombia

tierra, lo que la hace especialmente relevante en un país con limitaciones en la disponibilidad de terrenos para proyectos de energía renovables a gran escala, a diferencia de la energía solar o eólica.

Un análisis de la energía de las olas en Colombia revela varias ventajas. En primer lugar, ésta es una fuente de energía limpia y renovable que no emite gases de efecto invernadero ni contribuye a la contaminación atmosférica (López-González, Hiriart-Le Bert, & Silva-Casarín, 2010) . Esto concuerda con el compromiso de Colombia de reducir las emisiones de CO₂ en un 60 % para 2050 (Angélica Rojas Góngora, 2015) y hacer la transición hacia un futuro energético más sostenible. En segundo lugar, la energía undimotriz es abundante y predecible, ya que las olas son un fenómeno natural impulsado por los patrones del viento y las corrientes oceánicas, esta previsibilidad permite una planificación y una integración más precisas en la red nacional. En la actualidad, Colombia se encuentra en una etapa inicial en cuanto a la implementación de la energía undimotriz (Polo, Rodríguez & Sarmiento, 2008) . Sin embargo, se han dado pasos significativos en la exploración de esta fuente renovable. Según datos del Ministerio de Minas y Energía, Colombia cuenta con un gran potencial para la generación de energía undimotriz, especialmente en la región del Pacífico, donde se estima que se podrían generar alrededor de 5.6 GW de energía a partir de las olas del mar (Ormaza, 2012). La incorporación de la energía undimotriz en la matriz energética colombiana implicará un cambio en la estructura y arquitectura del mercado energético, lo que influirá en los incentivos económicos para su producción o generación (Vargas, 2009) . Este cambio se relaciona con la necesidad de replantear las estrategias enfocadas en la centralización y verticalidad en la toma de decisiones, abriendo paso a la descentralización y democratización en la planificación, ejecución y administración de los recursos energéticos. A pesar de la falta de enfoque en la energía undimotriz, Colombia ha promulgado leyes para promover la eficiencia energética y fuentes de energía alternativas, como la Ley 1751/2014 (A.F.Osorio, 2016) , que busca integrar la energía no convencional en el sistema eléctrico nacional.

Según (Bayne, 2020) Colombia ha experimentado un rápido crecimiento en el uso de energías renovables, con un aumento del 1% al 1.5% en el portafolio de energía renovable en tan solo un año; por su parte, (Christian M. Appendini a, 2015) revelan que la energía undimotriz en el Mar Caribe está estrechamente relacionada con el Jet de Niveles Bajos del Caribe (CCLJ por sus siglas en inglés), con un viento zonal oriental que alcanza los 13 m/s. Esta relación entre el viento y las olas demuestra la influencia directa del CCLJ en la climatología de las olas en el Mar Caribe. Además, el estudio confirma que la región del CCLJ es adecuada para la extracción de energía undimotriz, con tasas de producción de energía que oscilan entre 8 y 14 kW/m (Christian M. Appendini a, 2015). Estos datos numéricos proporcionan una comprensión profunda del potencial energético de las olas en el Mar Caribe. Asimismo, el estudio destaca la importancia de considerar las variaciones espaciales en el potencial de energía undimotriz en el Mar Caribe. Se identifica que la región del CCLJ presenta gradientes espaciales significativos que deben ser tenidos en cuenta al instalar dispositivos de energía undimotriz. Para evaluar el potencial de esta energía en la región se necesita hacer el análisis de las aceleraciones transitorias recurrentes con periodos semidiurnos y diurnos, así como la validación de los periodos naturales de las olas transitorias en el Caribe colombiano (Juan Gabriel Rueda-Bayona, 2023) .Estos hallazgos proporcionan una comprensión más profunda de las causas subyacentes y los efectos asociados con la energía undimotriz, lo que es crucial para evaluar su viabilidad como fuente de sostenibilidad energética en Colombia. Además, la detección de las aceleraciones transitorias en la columna de agua y su relación con los cambios en los vientos superficiales ofrece información valiosa para el diseño y la implementación de tecnologías de generación de energía por medio de las olas en la región.

En términos de viabilidad, se estima que, bajo un escenario conservador, la energía undimotriz podría generar aproximadamente 187,5 MW, equivalente al 3,125 % de la demanda total de potencia del sistema eléctrico colombiano (Jaramillo-Osorio & Garcés-Ruiz, 2015) , lo que representa una contribución significativa a la capacidad energética del país. Esta cifra demuestra el potencial de esta energía para satisfacer las necesidades energéticas de dos ciudades enteras, del tamaño de Pereira

(Risaralda), con aproximadamente 450.000 habitantes, lo que resalta su capacidad para abordar la demanda energética a gran escala. En la evaluación de sitios con capacidad para la generación eficiente de electricidad a partir de fuentes no convencionales en Colombia, se encontró que la península de la Guajira, bañada por el Mar Caribe, presenta un flujo promedio de energía de 11.67 KWm, mientras que en Bocas de Ceniza Barranquilla se registró un flujo promedio de energía de 16.11 KWm (Rafael Ricardo Torres Parra, 2006) , superando los niveles mínimos para la generación económica de electricidad. El potencial energético undimotriz del departamento de Córdoba ha sido objeto de estudio a través de un dispositivo absorbedor puntual tipo on-shore. Los resultados obtenidos muestran que la potencia máxima producida por el dispositivo fue de 5.16 W con una altura de 0.3 metros y un periodo de 3.5 segundos (González Doria, 2019) . Además, se demostró que teóricamente existen 1058.4 W/m de potencial energético undimotriz aprovechables en Córdoba, de los cuales con el dispositivo diseñado se podrían obtener cerca de 7.2 W. En cuanto al pacífico los datos del Boletín Meteomarino Mensual del Pacífico Colombiano, nos indica que esta zona presenta un oleaje constante y con una gran cantidad de energía debido a que proviene del mar abierto, sin presentar pérdidas por fricción con el fondo marino al llegar a la costa (Aris José Perdomo Idárraga, 2018) . Estos datos demuestran la capacidad real y concreta que posee Colombia para aprovechar la energía undimotriz. A pesar de las ventajas evidentes, la viabilidad de esta fuente de energía en el país presenta desafíos importantes. Uno de los principales obstáculos es la necesidad de desarrollar tecnologías y sistemas de conversión eficientes y adaptados a las condiciones específicas del litoral colombiano. Además, se requiere una inversión considerable en infraestructura y desarrollo tecnológico para aprovechar plenamente el potencial de la energía undimotriz en el país.

A nivel mundial, la energía undimotriz ha demostrado ser una fuente confiable y predecible de energía renovable. Por ejemplo, en países como Portugal, se ha logrado una penetración significativa de esta fuente de energía en la matriz energética, lo que demuestra su viabilidad a gran escala (Cadena, Botero, Táutiva, Betancur & Vesga, 2008) . Este éxito internacional es un indicador alentador para la viabilidad de la energía undimotriz en Colombia, especialmente considerando el potencial del país en términos de costa marítima. Estos hallazgos subrayan la importancia de promover la inversión en tecnologías undimotrices en Colombia. A pesar de los desafíos actuales, como la percepción de que la normatividad vigente no favorece el desarrollo de proyectos de generación con fuentes alternas de energía, existen oportunidades para impulsar la adopción de la energía undimotriz. La implementación de esquemas de financiación adecuados, respaldados por políticas de fomento a las energías renovables, puede ser clave para superar las barreras económicas y tecnológicas que actualmente limitan su penetración en el mercado energético colombiano.

El artículo de Rodríguez-Santos & Chimbo-Campuzano (2016) destaca que la viabilidad de la energía undimotriz en Ecuador está estrechamente ligada a la necesidad de tecnologías sofisticadas para su aprovechamiento. De manera similar, en el caso de Colombia, la implementación exitosa de esta forma de energía requeriría la adopción de tecnologías avanzadas que puedan resistir las condiciones marinas cambiantes y aprovechar de manera eficiente el movimiento de las olas (Narváz Rincón, 2010) . Además, el potencial de energía undimotriz en el litoral marítimo ecuatoriano es de aproximadamente 20 KW por cada metro de ola (Rodríguez-Santos & Chimbo-Campuzano, 2016), lo que proporciona una idea del potencial energético que se podría encontrar en las costas colombianas. En Colombia, según datos estadísticos recientes, el potencial total de energía undimotriz se estima en unos 11.400 MW (Herrera & Quintero, 2017) . La clasificación de las tecnologías de generadores utilizadas en otros países revela una variedad de enfoques para el aprovechamiento de esta fuente de energía, desde dispositivos flotantes hasta sistemas anclados en el lecho marino. Esta diversidad de tecnologías ofrece a Colombia la oportunidad de evaluar diferentes enfoques y seleccionar aquellos que mejor se adapten a sus condiciones geográficas y ambientales específicas, pero es importante y necesaria la colaboración entre el mundo académico, las instituciones de investigación y los agentes de la industria para impulsar la innovación en el sector. La caracterización de las olas en las costas del Atlántico ha permitido identificar que el comportamiento del oleaje varía de acuerdo con la época del año, lo que influye directamente en

el potencial energético. El Mar Caribe experimenta una importante actividad de las olas, especialmente en la cuenca colombiana. De acuerdo con el estudio « Interannual variability of wave climate in the Caribbean Sea» de (Otero, 2020), existen variaciones notables en la climatología del mar a lo largo del año. El Niño Oscilación del Sur (ENOS), una oscilación climática de baja frecuencia que afecta la altura y el período de las olas, influye en estas oscilaciones. Como se evidencia en el estudio, la presencia del ENOS tiene un impacto significativo en la energía de las olas en el mar Caribe. La altura y la energía de las olas aumentan durante la fase cálida del ENOS (El Niño), especialmente durante el primer semestre (junio-noviembre). En cambio, durante la etapa fría del ENOS (La Niña), la altura y la fuerza de las olas disminuyen, siendo el segundo semestre (diciembre-mayo) cuando se registran las mayores disminuciones. Estos hallazgos destacan la estrecha conexión entre el ENOS y la variabilidad de la energía de las olas en el Mar Caribe. En contraste, la zona insular del Caribe colombiano ha mostrado variaciones en el Flujo de Energía de las Olas (WEF, por sus siglas en inglés), con disminuciones entre 7 % y 8 % en San Andrés, y entre 1 % y 3 % en los Cayos del Norte (Andres F. Orejarena-Rondon, 2022) . Estas variaciones pueden atribuirse a factores climáticos y oceanográficos específicos de cada región, lo que resalta la importancia de un análisis detallado y localizado al considerar proyectos de energía undimotriz en el Caribe colombiano. El Mar Caribe, con su fuerte campo de remolinos de meso escala y sus enérgicos remolinos, ofrece un gran potencial para la extracción de energía de las olas. La variabilidad de meso escala del Mar Caribe está impulsada por diversas fuentes de energía. Las fuentes de energía incluyen las corrientes medias, la Corriente Ecuatorial del Norte (CNE), la Circulación Meridional de Vuelco (CMD), los anillos de la Corriente del Norte de Brasil (CNB) y la interacción con el Giro Subtropical (Julien Jouanno, 2009) .Según (Pérez-Zapata, 2017) , el historial de datos recopilados desde enero de 2014 del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) muestra una poca variabilidad de un año a otro en el comportamiento de las olas en la zona de estudio. Esto proporciona confiabilidad a los cálculos realizados para la determinación del potencial de energía undimotriz. El CIOH cuenta con cuatro boyas oceanográficas ubicadas en el mar Caribe, las cuales han proporcionado información detallada sobre las características del oleaje en diferentes zonas de la costa del departamento del Atlántico. Estos datos han sido fundamentales para el análisis del potencial energético de la energía undimotriz en la región. Además, se ha avanzado en el diseño de un sistema near-shore para la verificación del potencial energético, lo que demuestra un compromiso con la investigación y desarrollo de tecnologías para aprovechar esta fuente de energía.

Un análisis del artículo sobre “Dispositivo de prueba para péndulos paramétricos con vistas a la captación de energía de las olas”; revela valiosos conocimientos sobre la dinámica de los sistemas pendulares y su potencial para la extracción de energía de las olas (Virla, 2022) . El estudio se centra en el diseño de un dispositivo de prueba para el estudio de la dinámica de los péndulos, concretamente de los péndulos paramétricos. Un péndulo paramétrico es un sistema pendular que puede verse influido por un forzamiento externo, como el movimiento de las olas del océano. La amplitud y la frecuencia del forzamiento externo son parámetros cruciales que determinan la respuesta rotacional del péndulo. Ajustando estos parámetros, es posible conseguir un movimiento de rotación óptimo y maximizar la extracción de energía de las olas. Sin embargo, la complejidad de utilizar sistemas pendulares para la captación de energía reside en su naturaleza no lineal, con respuestas de rotación que coexisten con el reposo, las oscilaciones y las soluciones caóticas. La naturaleza estocástica de las olas oceánicas y los extensos estados transitorios ponen aún más de relieve la necesidad de sistemas de control en la utilización de dispositivos pendulares para la generación de energía.

La tecnología de oscilación de las olas de Arquímedes (AWS), estudiada en el artículo de (Jaramillo-Osorio & Garcés-Ruiz, 2015), ofrece una visión preliminar de la integración de la energía de las olas con el sistema eléctrico y explora el impacto en las oscilaciones de frecuencia. El sistema AWS, consistente en una cámara cilíndrica hueca fija sumergida en el medio marino y un dispositivo flotante en la parte superior, que aprovecha el movimiento vertical de las olas para generar electricidad. Aunque existen retos relacionados con las oscilaciones de baja frecuencia y la posibilidad de resonancias sub-síncronas, se han realizado estudios y simulaciones minuciosos utilizando el sistema de 9 nodos IEEE para

comprender y abordar mejor estas cuestiones (Jaramillo-Osorio & Garcés-Ruiz, 2015) . A pesar de sus beneficios, la integración de la generación undimotriz plantea desafíos, como la necesidad de un riguroso estudio para garantizar la seguridad de la red a la que se conectará esta tecnología. Sin embargo, con un correcto planeamiento y conocimiento del sistema eléctrico, la generación undimotriz puede integrarse de manera exitosa. Es crucial destacar que entre más robusto sea el sistema, mejores condiciones presenta para la integración de esta tecnología.

Las microrredes eléctricas buscan integrar de manera eficiente los recursos energéticos distribuidos, incluyendo la energía undimotriz, con el objetivo de suplir un requerimiento energético específico. En el caso de Colombia, un país con extensas costas tanto en el océano Atlántico como en el Pacífico, la energía undimotriz representa una oportunidad significativa para diversificar su matriz energética y reducir su dependencia de los combustibles fósiles. las microrredes eléctricas pueden operar de forma independiente y aislada de la red eléctrica convencional, lo que las hace ideales para zonas costeras o islas que no están completamente interconectadas con el sistema principal. La implementación de la energía undimotriz en microrredes eléctricas podría tener un impacto significativo en la sostenibilidad energética de Colombia. Según (Díaz A., 2019) , la operación independiente de la red convencional mediante el uso eficiente de fuentes de energía renovables puede reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y garantizar la confiabilidad del suministro energético para los requerimientos locales.

A pesar de que la producción actual de energía undimotriz en Colombia es limitada, el potencial de esta fuente renovable es significativo. Mediante un estudio computacional, se ha demostrado que un convertidor pendular puede generar alrededor de 20 W de potencia (Rojas, 2022) , lo que resulta razonable considerando la baja densidad energética del oleaje en los estuarios. El prediseño de un prototipo convertidor undimotriz pendular a pequeña escala, formulado por el Grupo de Investigación en Multifísica Aplicada (GIMAP) de la Universidad Tecnológica Nacional, representa un paso inicial hacia la implementación de esta tecnología en el Estuario de Bahía Blanca. Este enfoque estratégico busca establecer una configuración óptima en términos de generación de energía cinética, considerando múltiples configuraciones geométricas y constructivas, así como criterios basados en la dinámica no lineal del péndulo paramétrico. La definición de un convertidor undimotriz pendular implica considerar tanto aspectos geométricos como dinámicos del péndulo paramétrico. Esto permite clasificar los distintos parámetros de diseño en función de su influencia en la generación de energía cinética. Por ejemplo, la longitud del eje central y el radio de la rueda portante se clasifican como variables que afectan la inercia del sistema, mientras que el espesor de la rueda se considera como una variable ajustable para sintonizar la respuesta del péndulo.

La investigación y desarrollo de dispositivos WEC y sistemas de conversión de energía (PTO) para la generación de energía con base en el recurso disponible en el país es fundamental para su viabilidad a largo plazo. En este sentido, se han identificado varios tipos de dispositivos WEC, como el Alettone, Wave Clapper, absorbedor puntual, Pelamis, Archimedes Wave Swing, y Oyster, entre otros, que han demostrado ser eficaces en la conversión del movimiento de las olas en electricidad (Juan Pablo Castaño-Serna 1a, 2023) . Además, se han discutido diferentes sistemas PTO, como el mecánico y el hidráulico, analizando sus ventajas y desventajas en el contexto de la energía undimotriz en Colombia. La selección de un convertidor de energía de las olas de tipo oscilante y un sistema de toma de fuerza para el aprovechamiento de la energía undimotriz en Colombia requiere un análisis detallado de los criterios de selección, así como de los aspectos ambientales y financieros asociados. En este sentido, se propone un diseño de concepto para un dispositivo WEC tipo péndulo en una estructura fija a la costa con un sistema PTO de toma mecánica directa, lo que representa una opción viable para la generación de energía a partir del recurso disponible en las costas colombianas.

En el Pacífico colombiano, donde la falta de suministro eléctrico confiable es una preocupación arraigada. Según el estudio realizado por (Fredys Romero Menco, 2020) , se ha desarrollado un sistema de generación de energía a partir de las olas, compuesto por una boya, dispositivos mecánicos y un generador lineal, que ha demostrado ser capaz de generar 1.17 kW bajo condiciones de oleaje regulares y 0.5 kW bajo condiciones de oleaje irregulares. Este sistema se presenta como una opción interesante para las poblaciones que viven cerca de las líneas de costa alejadas de las redes eléctricas existentes. En términos de costos, se ha estimado que la construcción de proyectos de energía undimotriz en los sitios identificados conlleva cierta inversión inicial. Sin embargo, es importante considerar que, a largo plazo, el costo medio de energía podría resultar competitivo en comparación con otras fuentes de energía, la inversión para la construcción de estos proyectos, se estima que varía entre 40.692.500 y 639.375.000 dólares estadounidenses, dependiendo del sitio específico (Quintero González & Quintero González, 2015) . Esta información es relevante para comprender la viabilidad económica de la implementación de la energía undimotriz en Colombia.

La exploración de la energía undimotriz representa una perspectiva prometedora para que Colombia diversifique su matriz energética, disminuya la dependencia de los combustibles fósiles y promueva la sostenibilidad energética. No obstante, diversos desafíos deben abordarse, tales como el desarrollo tecnológico y la integración en la infraestructura eléctrica existente. A pesar de estas dificultades, los beneficios potenciales indican que superar estos obstáculos es viable. El contexto colombiano actual se ve marcado por la necesidad de una transición energética hacia fuentes más sostenibles. En este sentido, la energía undimotriz ofrece una alternativa viable, pero su implementación conlleva retos técnicos y logísticos. El desarrollo tecnológico preciso se presenta como un requisito esencial para aprovechar eficazmente la energía generada por las olas del mar. La integración de la energía undimotriz en la red eléctrica existente es un aspecto crítico que requiere atención meticulosa. La adaptación de la infraestructura eléctrica tradicional para incorporar fuentes de energía fluctuantes, como las generadas por las olas, demanda estrategias ingenieriles específicas. Esto implica no solo el desarrollo de tecnologías undimotrices avanzadas, sino también la revisión y mejora de los sistemas de gestión de la red eléctrica. Para avanzar de manera efectiva en esta dirección, es crucial establecer colaboraciones sólidas entre el ámbito académico, las instituciones de investigación y los actores de la industria. La sinergia entre estas entidades facilitará la investigación y el desarrollo de tecnologías undimotrices, así como la aplicación práctica de soluciones innovadoras en el terreno. Las inversiones estratégicas y las políticas adecuadas desempeñan un papel fundamental en el éxito de la adopción de la energía undimotriz en Colombia. Estas inversiones deben dirigirse hacia la investigación y el desarrollo tecnológico, fomentando la innovación y reduciendo las barreras económicas y burocráticas que puedan obstaculizar la implementación de esta fuente energética.

Referencias

- A.F.Osorio, S. O.-A. (2016). Assessment of the marine power potential in Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(53), 966-977. Recuperado el 2023, de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.057>
- Andres F. Orejarena-Rondon, J. C.-M. (2022). Wave energy flux in the Caribbean Sea: Trends and variability. *Renewable Energy*(181), 616-629. Recuperado el 2023, de <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.081>
- Angélica Rojas Góngora, Y. D. (2015). Escenarios energéticos a 2050 con integración de fuentes de energía. *Revista Tecnura*, 19, 83-89. Recuperado el 2023, de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/issue/view/650>

- Aris José Perdomo Idárraga, D. H. (2018). Viabilidad técnica de tecnologías para aprovechamiento de la energía undimotriz en la costa del pacífico colombiano. *AVANCES:INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA*, 15(1), 286-301. Recuperado el 2023, de <https://doi.org/10.18041/avances.v15i1>
- Bayne, L. A. (2020). Analysis of Offshore Wind Energy in Colombia: Current Status and Future Opportunities. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(11), 2278-0181. Recuperado el 2023, de <http://www.ijert.org>
- Cadena, Á. I., Botero, S., Táutica, C., Betancur, L., & Vesga, D. (2008). Regulación para incentivar las energías alternativas y la generación distribuida en Colombia. *Revista de Ingeniería*(28), 90-98. Recuperado el 2023, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121015051012>
- Christian M. Appendini a, C. P.-L.-P.-F. (2015). Wave energy potential assessment in the Caribbean Low Level Jet using wave hindcast information. *Applied Energy*(137), 375-384. Recuperado el 2023, de <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.038>
- Demirbilek, Z. (2013). Sea level rise and impact on engineering practice. *Ocean Engineering*, 71, 39180-6199. Recuperado el 2023, de www.elsevier.com/locate/oceaneng
- Díaz A., N. L. (2019). El Rol de las Energías Renovables en las Microrredes. *Ingeniería*, 24(1), 4-5. Recuperado el 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=498864120001>
- Fredys Romero Menco, A. R.-C. (2020). Design of a wave energy converter system for the Colombian Pacific Ocean. *Revista Facultad de*(94), 8-23. Recuperado el 2023, de <https://www.doi.org/10.17533/udea.redin.20190406>
- González Doria, H. M. (2019). Estudio del potencial energético undimotriz del departamento de Córdoba a través de un dispositivo absorbedor puntual tipo on-shore. *INGE CUC*, 16(1), 141-155. Recuperado el 2023, de <http://doi.org/10.17981/ingecuc.16.1.2020.010>
- Herrera, A., & Quintero, A. (2017). LA ENERGÍA DE ORIGEN MARINO Y SU USO POTENCIAL EN VENEZUELA. *Interciencia*, 42(6), 393-399. Recuperado el 2023, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33951621010>
- Jaramillo-Osorio, R., & Garcés-Ruiz, A. (2015). Generación Undimotriz: Integración con la red y análisis de resonancia subsíncrona. *Energética*(45), 49-59. Recuperado el 2023, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=147040741005>
- Javier Aparisi Torrijoa, B. P.-B. (2021). Análisis bibliométrico del campo de la energía undimotriz. *INNODOCT*, 8. Recuperado el 2023, de <http://dx.doi.org/10.4995/INN2021.2021.133034>
- Juan Gabriel Rueda-Bayona, J. J.-L. (2023). Hydrokinetic Energy and Transient Accelerations of Marine Currents in Colombian Nearshore Waters. *Water*(15), 2725. Recuperado el 2023, de <https://doi.org/10.3390/w15152725>
- Juan Pablo Castaño-Serna 1a, E. C.-A. (2023). Selección de un convertidor de energía de las olas de tipo oscilante y un sistema de toma de fuerza para el aprovechamiento de la energía undimotriz de Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 22(2), 141-166. Recuperado el 2023, de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias>
- Julien Jouanno, J. S.-M. (2009). The mesoscale variability in the Caribbean Sea. Part II: Energy sources. *Ocean Modelling*, 26, 226-239. Recuperado el 2023, de [doi:10.1016/j.ocemod.2008.10.006](https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2008.10.006)

- López-González, J., Hiriart-Le Bert, G., & Silva-Casarín, R. (2010). Cuantificación de energía de una planta mareomotriz. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 11(02), 233-245. Recuperado el 2023, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40412515009>
- Narváez Rincón, P. C. (2010). Fuentes convencionales y no convencionales de energía: estado actual y perspectivas. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 165-173. Recuperado el 2023, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64316140016>
- Ormaza, A. (2012). La energía renovable procedente de las olas. *e-Revista de Didáctica*, 8, 14. Recuperado el 2023, de http://www.ehu.es/ikastorratza/8_alea/energia/energia.pdf (ISSN: 1988-5911)
- Otero, M. J.-S. (2020). Interannual variability of wave climate in the Caribbean Sea. *Ocean Dynamics*, 70, 965-976. Recuperado el 2023, de <https://doi.org/10.1007/s10236-020-01377-1>
- Pérez-Zapata, J. (2017). IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 7(2), 93-102. Recuperado el 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096077>
- Polo, J. M., Rodríguez, J., & Sarmiento, A. (2008). Potencial de generación de energía a lo largo de la costa colombiana mediante el uso de corrientes. *Revista de Ingeniería*(28), 99-105. Recuperado el 2023, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121015051013>
- Quintero González, J. R., & Quintero González, L. E. (2015). Energía mareomotriz: potencial energético y medio ambiente. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 121-134. Recuperado el 2023, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169443282007>
- Rafael Ricardo Torres Parra, C. A. (2006). Potencial en Colombia para el aprovechamiento de la energía no convencional de los océanos. *Boletín Científico CIOH*(24), 11-25. Recuperado el 2023, de <https://ojs.dimar.mil.co/index.php/CIOH/article/view/145>
- Rodríguez-Santos., R., & Chimbo-Campuzano, M. (2016). APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN EL ECUADOR. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(17), 13. Recuperado el 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505554801003>
- Rojas, L. M. (2022). Prediseño de un Convertidor Pendular de Energía Undimotriz a Pequeña Escala. *Jornadas de Intercambio y Difusión de los Resultados de*, 15, 6. Recuperado el 2023, de <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/1116>
- Vargas Gómez, C. A. (2007). Energía y medioambiente. *Gestión y Ambiente*, 10(2), 73-82. Recuperado el 2023, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169419821006>
- Vargas, L. (2009). Producir más energía: cómo, cuándo y cuánto. *Revista de Ciencias Ambientales*, 37(1), 13-22. Recuperado el 2023, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070693002>
- Virla, J. N. (2022). Dispositivo de ensayo para péndulos paramétricos con vistas a la extracción de energía undimotriz. *Jornadas de Intercambio y Difusión de los Resultados de*(15), 5. Recuperado el 2023, de <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/1031>