

OPORTUNIDAD DE UTILIZAR LAS OLAS DEL MAR PARA GENERAR ENERGÍA LIMPIA. APORTES DESDE EL INSTITUTO LEICI

MOSQUERA, F.D.; EVANGELISTA, C.A.; PULESTON, P.F.

GRUPO DE ESTRATEGIAS DE CONTROL Y ELECTRÓNICA DE POTENCIA (GECEP) DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES (LEICI), FACULTAD DE INGENIERÍA, UNLP-CONICET



INTRODUCCIÓN

Es difícil hablar sobre energía sin relacionarla de manera social o política con la humanidad. La energía es la moneda de la vida: es el medio de intercambio para todas las actividades. Cada proceso natural y cada acción humana es, en su forma más fundamental, una transformación de energía. En la vida en sociedad, la energía se utiliza principalmente para tres funciones: trabajo, calor e iluminación. En esencia, el sistema energético comprende los modos en los que una sociedad se organiza para obtener la energía de su entorno y distribuirla para hacer todo lo que hace. Una forma simple de comprender este concepto es comparar el sistema energético de una sociedad con la dieta de una persona, cuyo metabolismo desempeña un papel fundamental en el intercambio de materia y de energía con el entorno [1].

Desde este concepto, hoy en día la sociedad se encuentra en problemas: lo que está ingiriendo le hace mucho daño. La dieta de la sociedad moderna se basa casi por completo en una abundante ingesta de combustibles fósiles, lo cual moldea la civilización y, al mismo tiempo, la pone en peligro. Debido a los niveles de consumo energético y material que sostiene la civilización global se están generando presiones en el sistema planetario que lo están llevando a alcanzar puntos de colapso. La prescripción es clara: es necesario cambiar la dieta hacia fuentes de energía bajas en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) antes de que sea demasiado tarde. Sin embargo, no se trata de una tarea sencilla, si bien se han introducido modificaciones en la manera en que se producía y consumía energía anteriormente, jamás el cambio ha tenido las características requeridas en la actualidad.

La historia evolutiva de la humanidad estuvo regida por cambios energéticos, también conocidos como transiciones energéticas, que desembocaron en la conformación de las distintas eras. A lo largo de la historia pueden identificarse tres grandes regímenes socio-metabólicos: el cazador-recolector, el

agrario y el industrial.

El régimen cazador-recolector ha sido el predominante a lo largo de la historia. Durante el 95 % del tiempo de existencia de la humanidad¹, la especie ha dependido principalmente de la caza, la pesca y la recolección de alimentos, así como de la obtención de madera para calefacción y cocción. La vida giraba en torno de la energía solar que se utilizaba en forma pasiva, consumiendo únicamente lo que el sol ya había transformado. El tamaño de la población quedaba restringido en función de la energía disponible en forma de alimento en los alrededores.

Este modo de organización social cambió profundamente cuando, alrededor del año 10.000 a.C., en distintas partes del mundo las personas comenzaron a transformar su entorno para agrandar la porción de tierra destinada a la alimentación, es decir, cuando comenzaron a practicar la agricultura. La agricultura es la mejora de la captación social de energía solar del entorno para su uso humano mediante la promoción de unas pocas especies vegetales en detrimento del resto. En otras palabras, la agricultura hace un uso activo de la energía solar. Esto generó un reemplazo de la vegetación natural para producir alimento, y modificó la necesidad de salir a buscarlo. Esta es la primera gran transición energética de la humanidad. Sin embargo, empezar a producir por encima de las necesidades inmediatas provocó una serie de cambios irreversibles en cascada. El incremento de los excedentes energéticos generados por una gran masa de agricultores permitió que otra porción de la población comenzara a especializarse en una rama cada vez más diversa de actividades, lo que aumentó la trama de intercambios y la cantidad de roles sociales existentes. De esta manera, se crearon las primeras ciudades. La especialización derivó en innovaciones tecnológicas que mejoraron la productividad, lo que incrementó aún más el excedente energético. Esto provocó un crecimiento en la población que comenzó a aportar mayor fuerza de trabajo iniciando

¹ Los homo-sapiens-sapiens, los humanos con características anatómicas modernas, aparecieron en algún momento hace entre 300.000 y 200.000 años.

una realimentación positiva. Este proceso ha sido una constante a lo largo de la evolución y expansión de la especie humana. Más energía. Más complejidad. Más energía.

La última gran transición energética comenzó a finales del siglo XVIII, en Inglaterra, con el desarrollo de la máquina de vapor y toda la infraestructura tecnológica necesaria para explotar una fuente de energía más poderosa que los músculos y la madera: el carbón mineral. En ese momento empezó la explotación de los combustibles fósiles como fuente de energía. La máquina de vapor diseñada por James Watt comenzó a comercializarse a gran escala y los combustibles fósiles fueron reemplazando a los alimentos como fuente energética dominante en el metabolismo social, que comenzó a motorizarse por máquinas en vez de por músculos animales y humanos. La industrialización y el uso masivo de energía marcó un punto de muy difícil retorno. Una vez asentado el modo de vida urbano, con sus dinámicas de consumo dependiente de los combustibles fósiles, lograr modificar ese consumo requiere de grandes cambios civilizatorios [1].

El resto de la energía que alimenta a la sociedad se nutre de fuentes no fósiles, que pueden ser llamadas alternativas. Dentro de estas fuentes encuentran la energía hidroeléctrica, la eólica o la nuclear, por nombrar algunas. Si, además, estas fuentes se regeneran de forma natural y se pueden usar indefinidamente sin que se agoten (como la solar o la eólica), pueden ser llamadas renovables. Al año 2021, la más importante de las fuentes alternativas de energía a nivel mundial es la hidroeléctrica (7 %), seguida por la nuclear (4 %) y, luego, la eólica (3 %). La solar, los biocombustibles y otras fuentes de energía renovable suman el resto.

Descarbonización

A diferencia de las transiciones del pasado, que surgieron como resultado de las nuevas tecnologías o el descubrimiento de recursos, la transición actual es consciente. Hoy

se reconoce la necesidad de dejar atrás el paradigma de los combustibles fósiles para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, dado el estrecho vínculo entre el régimen energético y la cultura de una sociedad, la transición energética va más allá de simples transformaciones tecnológicas e implica cambios en las esferas socioculturales.

En tal sentido, la descarbonización es un proceso que tiene como objetivo alcanzar la neutralidad de carbono para el año 2050-2070 [2]. La propuesta principal para reemplazar los combustibles fósiles es electrificar la mayoría de los procesos y asegurarse de que la electricidad provenga de fuentes con bajas emisiones de GEI, al mismo tiempo que se busca ahorrar energía siempre que sea posible. En aquellos casos en los que no sea factible la electrificación, será necesario recurrir a otras alternativas tecnológicas, como la captura de carbono, las bioenergías, los combustibles sintéticos o el uso de gases como el hidrógeno.

Debido a que algunas fuentes renovables, como la solar y la eólica, fundamentales en esta transición hacia la descarbonización, son intermitentes y no fácilmente almacenables a gran escala, una opción para migrar hacia una generación con mayor penetración de renovables es buscar más alternativas en las posibles fuentes de generación de energía. Por este motivo, hace varios años que los investigadores comenzaron a buscar opciones de extracción de energía en el océano.

MIRANDO AL MAR

Entre las fuentes de energía renovables disponibles, la energía renovable del océano, cuando sea económicamente viable, realizará una notable contribución hacia una matriz energética sostenible, global y variada. En particular, las olas del océano representan una fuente masiva de energía limpia: el recurso undimotriz ha sido estimado (mundialmente) en alrededor de 3.7 [TW] y 32000 [TWh/año], energía que puede cubrir alrede-

dor del 20 % de la demanda mundial actual. A pesar de ser un recurso prometedor, la conversión de la energía de las olas en energía eléctrica todavía no ha alcanzado una etapa de comercialización. La razón principal para esta falta de proliferación de la energía de las olas puede ser atribuida al hecho de que capturar de manera eficiente el movimiento irregular de las olas en el mar no es tan simple. Lo que resulta en la ausencia de una tecnología dominante en el rubro, relacionado con la existencia de cientos de conceptos y de patentes propuestos a lo largo de los años.

Aunque exista una gran diversidad en las iniciativas de convertidores de energías de olas (WEC, por sus siglas en inglés), todos ellos tienen un objetivo común y fundamental: la conversión de energía tiene que realizarse de la manera más económica posible, tratando de minimizar el despacho en el costo de energía, mientras se mantiene la integridad estructural del dispositivo, minimizando la cantidad de equipamiento sobre el WEC, y que opere de manera efectiva para un amplio rango de condiciones climáticas del mar.

En este sentido, la operación del dispositivo puede ser mejorada utilizando algoritmos matemáticos que determinan cómo debe modificarse el comportamiento del sistema. Esta modificación se logra a partir de realizar mediciones de algunos parámetros y aplicar acciones de corrección sobre el equipo. De esta manera, los algoritmos matemáticos junto con el objetivo que se desea alcanzar conforman, en el ámbito de la ingeniería de control, a las estrategias de control. Estos algoritmos, en conjunto con el estudio de materiales adecuados para el entorno marino, la búsqueda de nuevos diseños de máquinas eléctricas, el ensayo a gran escala de dispositivos y el desarrollo de los llamados arreglos de WEC (o granjas) —que efectivamente incorporan una gran cantidad de equipos en un área común del mar—, constituyen aportes clave hacia una comercialización exitosa de la tecnología de los WEC.

Oportunidades para la energía undimotriz

Como se mencionó anteriormente, el principal objetivo en el desarrollo de las tecnologías de generación undimotriz está enfocado en la generación de electricidad a gran escala. Por una parte, la energía undimotriz puede ser utilizada como fuente complementaria en la instalación de granjas de generación eólica offshore, y la combinación de eólica con undimotriz puede provocar una sinergia que favorezca a ambas tecnologías desde el punto de vista legislativo y técnico. Por otra parte, en la actualidad hay una gran variedad de nichos de mercado en los que es posible, interesante o deseable el uso de energía undimotriz.

Hasta el momento, el único caso de comercialización exitosa de la tecnología WEC es una boya de navegación basada en tecnología de columna de agua oscilante. Este caso es una de las oportunidades de nicho que tiene la energía undimotriz. Desde la década pasada, muchos países han establecido estrategias regionales o nacionales para desarrollar su «economía azul»². Por lo tanto, las aplicaciones basadas en el océano —como la observación del océano, la desalinización y la acuicultura— están creciendo y requieren un suministro de energía económico y limpio. La energía de las olas puede satisfacer estas demandas energéticas para impulsar la economía azul, en la que las fuentes de energía alternativas (especialmente las convencionales) pueden resultar prohibitivamente costosas debido a la ubicación relativamente remota del punto de consumo.

Los nichos de mercado para la energía undimotriz relacionados con el océano incluyen: navegación y observación del océano, protección costera, desalinización, pequeñas redes aisladas para islas, acuicultura marina, plataformas offshore multifunción y otras aplicaciones como, por ejemplo, carga de vehículos autónomos marinos, la recuperación y la resiliencia ante desastres, la extracción de agua de mar y el cultivo de algas marinas [3].

²La economía azul se refiere a una estrategia de desarrollo sostenible que busca aprovechar de manera responsable los recursos y los servicios ofrecidos por los océanos y los ecosistemas costeros. Se centra en la promoción de actividades económicas y empresariales que sean respetuosas con el medio ambiente marino, al tiempo que generen beneficios socioeconómicos para las comunidades locales. La economía azul abarca sectores como la acuicultura, el turismo costero, la energía renovable marina, la biotecnología marina y la gestión sostenible de los recursos marinos.

En comparación con el mercado de generación eléctrica, la capacidad nominal necesaria para los nichos de mercado es mucho más pequeña, oscilando entre varios Watts y cientos de kW. Esta capacidad relativamente pequeña puede funcionar en dimensiones geométricas reducidas, lo que a su vez reduce el tiempo de desarrollo del dispositivo, los costos y los riesgos, lo que lo hace más atractivo para la inversión pública y privada. Los inversores potenciales provienen de dominios de aplicación financieramente seguros, lo que muestra un fuerte potencial para pasar de la fase de desarrollo a un éxito comercial. Además, se espera que el rápido crecimiento en las aplicaciones de nicho de mercado para la energía de las olas contribuya a los esfuerzos de desarrollo en el mercado de generación eléctrica, brindando experiencia en operación, mantenimiento y diseño de sistemas de conversión de energía de las olas.

LA TRANSICIÓN ARGENTINA

Cualquier agenda de transición debe comenzar con un profundo análisis del punto de partida, que será singular para cada país según su geografía específica, sus capacidades tecnológicas, su posición geopolítica, sus valores culturales, su demografía y sus posibilidades económicas. Por eso es necesario tener en cuenta que cada país realizará una transición energética diferente.

Desde esta perspectiva, el punto de partida de la Argentina hacia la transición es mejor de lo que se suele pensar. El país cuenta con abundancia de fuentes energéticas y capacidades tecnológicas, científicas y productivas con un gran potencial por desarrollar. A pesar de estar dominada por hidrocarburos (en un 85 %), la matriz energética argentina genera menos emisiones que el promedio global por cada unidad de energía producida. Esto se debe al hecho de que, a diferencia del resto del mundo, donde el carbón tiene un importante predominio (entre el 25 % y el 30 % de la oferta primaria de energía), en la Argentina la incidencia del carbón en la matriz energética es casi nula y el combustible predominante es el gas (véase Figura 1). En muchos países, el gas es considerado un combustible de transición, ya que genera la mitad de GEI que el carbón por unidad de energía producida. Sin embargo, se debe prestar atención a las posibles fugas de metano que pueden aparecer desde su producción hasta en su consumo, puesto que el metano es un gas de efecto invernadero más peligroso que el dióxido de carbono.

Por su parte, las condiciones naturales de la Argentina dotan al país de fuentes renovables con los mejores rendimientos a nivel global [1]. Existen significativos recursos eólicos, fundamentalmente en la Patagonia y en gran parte de la provincia de Buenos Aires, buenas condiciones de radiación solar

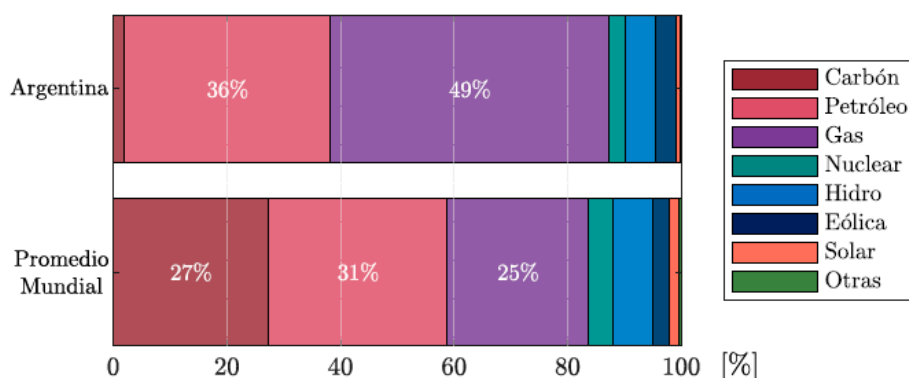


Figura 1: Consumo de energía primaria por fuente de energía en el año 2021.

en las regiones Noroeste y Cuyana, numerosos cursos de ríos para la construcción de pequeños aprovechamientos hidráulicos y recursos biomásicos producto de las actividades agro-ganadera y forestal.

En el informe titulado Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030, del Ministerio de Economía de la Nación, se lleva a cabo una recopilación y un análisis de la legislación vigente que promueve la instalación de fuentes de energía renovable, como la Ley Nro. 271913, en 2015, y la Ley Nro. 274244, en 2017. Además, se destaca que los proveedores locales tienen la capacidad de suministrar los principales componentes de los futuros parques de energía. A partir de este análisis, se proponen seis objetivos de política energética para la transición, con el fin de caracterizar una matriz energética inclusiva, dinámica, estable, federal, soberana y ambientalmente sostenible. El informe también presenta dos escenarios energéticos posibles (véase Figura 2). En el primer escenario se prevé un aumento en la demanda de petróleo y gas natural, con una participación del 20 % de las energías renovables en la matriz eléctrica para el año 2030 (REN 20). En el segundo escenario, se espera un mayor uso de gas natural y una menor dependencia de petróleo, junto con una mayor participación de las energías renovables en la generación eléctrica, que alcance el 30 % (REN 30).

¿Es momento de estudiar la energía undimotriz?

La respuesta es un sí rotundo. Durante los períodos de transición entre paradigmas tecnológicos, los países semiperiféricos tienen una oportunidad única para reducir la brecha tecnológica al adoptar tecnologías que aún no han alcanzado todo su potencial y que tienen un largo camino por recorrer hasta su plena madurez. Por lo tanto, es fundamental incorporar una dimensión techno-productiva y fomentar la I+D de sistemas que todavía se encuentran en proceso de desarrollo en todo el mundo. De esta manera, la descarbonización de la matriz energética se convierte en un motor para el crecimiento económico en lugar de ser un receptor de importaciones que profundicen la dependencia tecnológica de los países centrales. Por ello, el desafío radica en construir la soberanía en el dominio de las tecnologías para su aprovechamiento pleno [1].

Los convertidores de energía undimotriz son una tecnología incipiente a nivel mundial, donde aún no se ha alcanzado la generación a escala comercial. La posibilidad de desarrollar desde el ámbito local esta tecnología se encuentra al alcance de la mano. Además, la Argentina cuenta con un enorme potencial para la inclusión de energía undimotriz, ya que cuenta con un litoral marítimo de 4725 km de longitud. En esta línea,

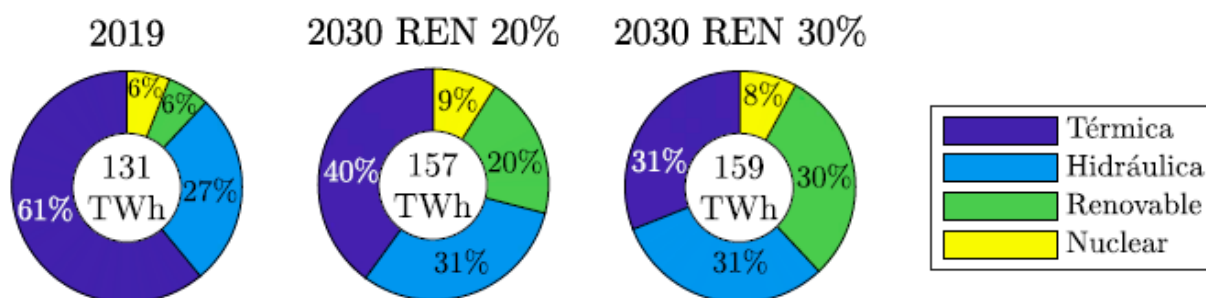


Figura 2: Propuesta de evolución para matriz energética en Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030. La generación térmica se produce a partir del consumo de combustibles fósiles, y con generación hidráulica se refiere a proyectos >50MW de potencia instalada.

el informe Horizontes estratégicos para el mar argentino, de Pampa Azul⁵, de 2017, explicita las etapas necesarias para poner en marcha el desarrollo de sistemas que aprovechen la energía del mar. La primera etapa implica llevar a cabo estudios exhaustivos de los parámetros oceanográficos (como la intensidad y la dirección de vientos y olas, el flujo de corrientes, la altura de mareas y las variaciones de temperatura), los factores ambientales (como el impacto en los ecosistemas marinos) y los aspectos antropogénicos (como puertos y navegación), con el fin de seleccionar ubicaciones adecuadas para las instalaciones de generación.

En este sentido, el Grupo de Estrategias de Control y Electrónica de Potencia (GECEP), Instituto LEICI (UNLP - CONICET), es miembro fundador de la Red de Energías Marinas Argentinas (REMA). Esta red es una organización de universidades de todo el país que tiene como objetivo combinar esfuerzos para la difusión y el desarrollo de las energías marinas en la Argentina

CONVERTIDORES DE ENERGÍA DE OLA

Los convertidores de energía de ola son los dispositivos encargados de capturar la ener-

gía transportada por las olas. Es importante destacar que la captura hidrodinámica de energía, la cual está relacionada con el diseño del dispositivo, es considerada como una conversión primaria. Posteriormente, es necesario convertir la energía capturada en energía eléctrica, proceso que se lleva a cabo a través del sistema de extracción de potencia y es considerado como una conversión secundaria. Esta sección se enfoca en describir la etapa de absorción en los dispositivos asociada a la conversión primaria [5]. Tal como ya se ha mencionado, existe una enorme variedad de dispositivos que han sido diseñados en los últimos 50 años [6]. Esta amplia variedad de diseños provoca la necesidad de clasificarlos para poder realizar su estudio de manera ordenada. Típicamente, se los clasifica en función de cómo trabajan (su principio de operación) y dónde trabajan (en la línea de costa, cerca de ella o en aguas profundas). El European Marine Energy Center, con sede en las islas de Orkney en Escocia, ha propuesto la siguiente descripción y clasificación del principio de funcionamiento de los WEC:

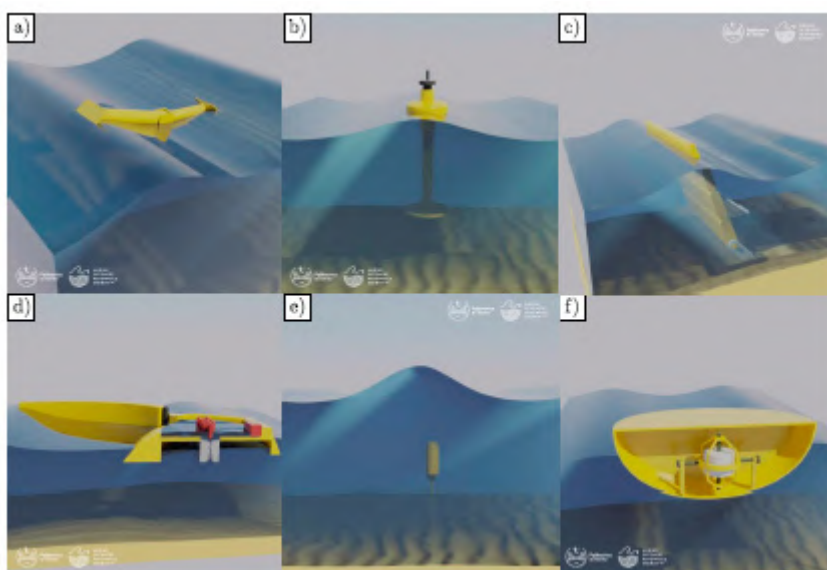


Figura 3: Convertidores de energía de ola. Wave Energy Converter technologies by Marine Offshore Renewable Energy (MOREnergy Lab), Politecnico di Torino is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 License.

³ Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica. Modificación.

⁴ Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública.

⁵ Pampa Azul es una iniciativa interministerial del Gobierno argentino que articula acciones de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación para proporcionar bases científicas a las políticas oceánicas nacionales, incluidos el fortalecimiento de la soberanía nacional sobre el mar y la conservación, así como el uso sostenible de los bienes marinos, junto con la creación y la gestión de áreas marinas protegidas.

Atenuador: Es un dispositivo flotante largo y fino, con su dimensión más larga alineada para que se encuentre paralela a la dirección de las olas. Típicamente, es una estructura articulada que parece una serpiente. Está compuesta por varias secciones que se doblan (o tuercen) cuando las olas pasan a través de ellas. Estos dispositivos extraen energía del movimiento relativo entre los cuerpos que lo componen, que se mueven en diferentes sentidos con el paso de la ola. Figura 3 a).

Absorbedor puntual (boya): Es una estructura flotante que absorbe energía en todas las direcciones a partir de sus movimientos sobre la superficie del agua. Convierte el movimiento relativo entre la boya superior y su base en energía eléctrica. Figura 3 b).

Oscilador de empuje de ola: Consiste en un módulo anclado en el fondo del mar que oscila empujado por las olas, su forma más común es la de una paleta. Al oscilar, acciona unos pistones hidráulicos, los cuales a su vez entregan el agua de mar presurizada a una unidad de transformación hidroeléctrica terrestre. Figura 3 c). **Colector de ola:** Estos dispositivos capturan la energía de un frente de olas mediante un colector de olas, el cual se asemeja a una piletta, para mover una o varias turbinas hidráulicas de salto reducido denominadas turbinas Kaplan. Figura 3 d).

Diferenciador de presión sumergido: Estos dispositivos se ubican típicamente cerca de la costa y son fijados en el lecho marino. El movimiento de las olas causa que el nivel del mar se incremente y decaiga por encima del dispositivo, induciendo una presión diferencial en el mismo. Esta variación en la presión empuja el fluido a través de un sistema que genera electricidad. Figura 3 e).

Masa rotante: Este dispositivo utiliza dos formas de rotación para capturar energía a través del movimiento, la de oscilación y la

de flotación. Este movimiento se traslada a un peso excéntrico o a un giroscopio de precesión. En ambos casos, el movimiento está acoplado a un generador eléctrico dentro del dispositivo. Figura 3 f).

Columna de agua oscilante: Este es el dispositivo de conversión de energía de olas que ha recibido el mayor desarrollo colectivo a lo largo de los años [6]. Se trata de una cámara hueca, de hormigón o metal, que consta de un orificio por debajo del nivel medio de agua. El orificio permite que el agua encerrada dentro de la cámara se mueva hacia arriba o hacia abajo siguiendo el comportamiento de las olas, ese movimiento oscilatorio comprime y descomprime el aire encerrado, lo que genera un flujo de aire que luego mueve una turbina acoplada a una máquina eléctrica la cual genera electricidad. Para un esquema de este dispositivo, véase Figura 4.

APORTES DEL INSTITUTO LEICI

En el GECEP, Instituto LEICI, se estudia la posibilidad de aprovechar la energía de las olas desde hace más de 6 años. En particular, el desarrollo del «grupo undimotriz» dentro de este instituto se basa en investigar los diferentes convertidores de energía de ola y proponer estrategias de control avanzado que mejoren su funcionamiento. Se debe tener en cuenta que, tal como se mencionó anteriormente, una estrategia de control automático es un algoritmo matemático que permite mejorar el funcionamiento del dispositivo controlado a partir la medición de algunas variables en él y de aplicar acciones para corregir su funcionamiento.

En esta sección se realiza un resumen de las principales pruebas experimentales realizadas por el GECEP en colaboración con otras universidades internacionales. La recopilación de estos aportes puede encontrarse en la tesis de doctorado del Dr. Facundo Mosquera [7].

En el caso específico de los sistemas de energía undimotriz, la realización de prue-

bas experimentales en un ambiente controlado es esencial para validar el rendimiento de los algoritmos de control en diferentes escenarios y condiciones. Además, las pruebas experimentales permiten identificar y solucionar posibles problemas de seguridad y estabilidad del sistema antes de su implementación a gran escala.

En este sentido, la realización de pruebas experimentales en un hardware-in-the-loop (HiL) y en un tanque de olas proporciona un entorno controlado que permite evaluar el comportamiento del sistema en situaciones específicas y detectar posibles fallas y mejoras necesarias. Por un lado, el HiL emula —por software— las condiciones del mar y permite evaluar el rendimiento del sistema en diferentes escenarios simulados de oleaje. Por otro lado, en el tanque de olas se pueden recrear situaciones específicas para evaluar el comportamiento del sistema ante diferentes niveles de oleaje en una representación escalada de la real.

Además, los resultados experimentales permiten ajustar los parámetros del algoritmo de control en función de las características específicas del sistema y mejorar su eficacia y eficiencia. De esta manera, se logra maximizar la cantidad de energía generada

y minimizar los costos de producción, lo que es crucial para el éxito y viabilidad de los sistemas de energía undimotriz.

Experimentos en emuladores

Desde el Instituto LEICI se ha logrado participar en experiencias de emulación de algunos de los convertidores de energía de ola mencionados en la Sección 4, en donde se han ensayado estrategias de control avanzado para sistemas complejos.

Por un lado, se ha trabajado sobre un emulador de un convertidor del tipo oscilador de empuje de ola (véase Figura 5), el cual está emplazado en el Centro de Investigaciones para la Energía Offshore (COER, en inglés), en la Universidad de Maynooth, Irlanda, grupo de trabajo con el que el GECEP, Instituto LEICI, se encuentra colaborando desde hace 4 años. El uso de hardware-in-the-loop para ensayar algoritmos de control presenta numerosas ventajas en comparación con otros métodos de simulación. El HiL proporciona un entorno de prueba más realista, ya que simula de manera precisa las condiciones de la parte del sistema real que se encuentra físicamente construida y esto permite evaluar el rendimiento del algoritmo de control

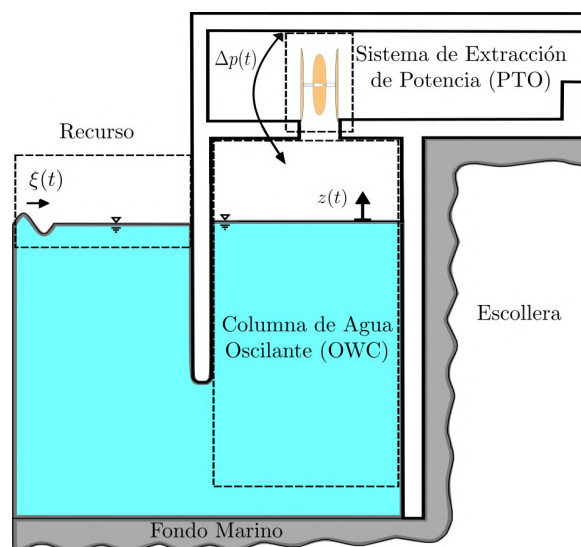


Figura 4: Convertidor basado en columna de agua oscilante

en condiciones más cercanas a las que se encontraría en la vida real. Por otro lado, para el dispositivo de columna de agua oscilante se está trabajando sobre un emulador montado dentro del Instituto

LEICI (véase Figura 6). Sobre este sistema se aplicarán estrategias de maximización de la extracción de energía de este dispositivo con algoritmos de control adaptativos.

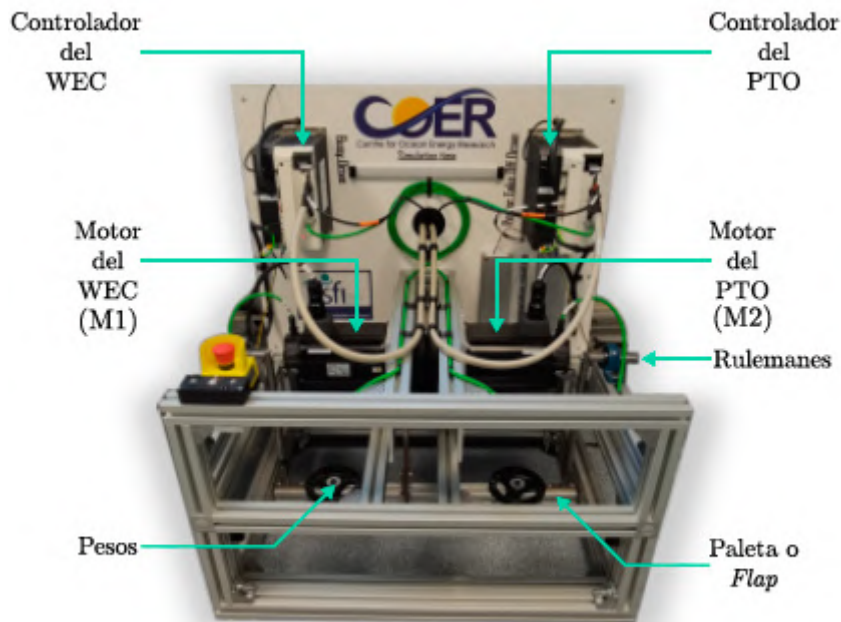


Figura 5: Emulador del WEC tipo oscilador de empuje de ola. Propiedad del COER, en la Universidad de Maynooth, Irlanda.



Figura 6: Banco de pruebas que podrá ser utilizado para emular un WEC tipo columna de agua oscilante en el Instituto LEICI.

Experimentos en tanques de olas

Por último, se llevaron a cabo experimentos en un tanque de olas en las instalaciones del Ocean and Coastal Engineering Laboratory en la Universidad de Aalborg, en Aalborg, Dinamarca (véase Figura 7).

Durante esta serie de experimentos, el GECEP, Instituto LEICI, participó de la primera campaña experimental realizada para recopilar y brindar de manera abierta datos sobre diferentes arreglos de convertidores de energía de ola [8].

La posibilidad de ensayar estos dispositivos de esta manera permite validar las estrategias de control avanzado para sistemas complejos que se plantean en el Instituto LEICI. Además de fortalecer las colaboraciones internacionales que este grupo ha comenzado a forjar desde el 2022, como lo es su relación con el laboratorio Marine Offshore Renewable Energy, del Politécnico de Torino, en Italia.

CONCLUSIONES

La extracción de energía de las olas es una alternativa prometedora para diversificar la matriz energética actual. Desde el GECEP, Instituto LEICI, se han hecho diferentes propuestas en este sentido, con el objetivo de mejorar el rendimiento de los dispositivos que extraen esa energía. Sin embargo, todavía queda un gran desarrollo por delante para que estos equipos alcancen la madurez comercial y logren aportar energía de manera significativa en la red eléctrica. Es por esto que es de gran importancia el fomento y el desarrollo de las redes de trabajo, como la Red de Energías Marinas Argentina, para lograr alcanzar la soberanía en la producción tecnológica de este tipo de sistemas de extracción de energía.



Figura 7: Una de las configuraciones posibles de arreglos de convertidores de energía de ola tipo absorbedor puntual, ensayada en el tanque de olas de la Universidad de Aalborg, Dinamarca.

REFERENCIAS

- [1] J. Arroyo, "Energía," en *Clima: el desafío de diseño más grande de todos los tiempos*, T. Marchini, ed., el gato y la caja, 2022, cap. 4, págs. 179-259.
- [2] S. Bouckaert y colaboradores, "Net Zero by 2050," International Energy Agency, Paris, inf. téc. 4, 2021.
- [3] A. Brito e Melo, H. Jeffrey e Y.-H. De Roec, "Blue Economy and its Promising Markets for Ocean Energy," International Energy Agency, 2020. dirección: <https://shorturl.at/emoW6>.
- [4] Red de Energías Marinas Argentinas, <https://www.redenergiasmarinas.ar/rema-principal>, Visitado: 25-09-2023.
- [5] U. A. Korde y J. V. Ringwood, *Hydrodynamic Control of Wave Energy Devices*. Cambridge: Cambridge U. Press, 2016.
- [6] J. Cruz, *Ocean wave energy: current status and future perspectives*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [7] F. D. Mosquera, "Desarrollo de estrategias de control avanzado para sistemas de extracción de energía undimotriz," Tesis de Doctorado, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata, 2023.
- [8] N. Faedo, Y. Peña-Sanchez, E. Pasta, G. Papini, F. D. Mosquera y F. Ferri, "SWELL: An open- access experimental dataset for arrays of wave energy conversion systems," *Renewable Energy*, 2023.