

POTENCIAL DE GENERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA FLOTANTE EN MÉXICO

GENERATION POTENTIAL OF FLOATING PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY IN MEXICO

Ojilve Ramón Medrano Pérez ¹, Alejandra Carrera Cadena ², Laura Patricia Méndez López ³

Recibido: 11/07/2022 y Aceptado: 19/01/2023
ENERLAC. Volumen VI. Número 2. Diciembre, 2022 (110 - 128)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Markus Spiske de Unsplash.

1 Cátedra CONACYT-Centro del Cambio Global y la
Sustentabilidad, A.C. (CCGS). México
ojilve.medrano@ccgs.mx
<https://orcid.org/0000-0002-5445-1136>

2 División de Ingeniería, Ingeniería en Energía y Desarrollo
Sustentable, Universidad del Valle de México. México
alejandra.carrera30@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8974-1993>

3 División de Ingeniería, Ingeniería en Energía y Desarrollo
Sustentable, Universidad del Valle de México. México
laura_mendezl@my.uvm.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7511-1467>

RESUMEN

Los sistemas fotovoltaicos flotantes (FPV, por sus siglas en inglés) se describen como paneles solares montados sobre cuerpos de agua para aprovechar el coeficiente térmico negativo del panel. La FPV es una tecnología emergente y en crecimiento, hasta el momento no existe una evaluación del potencial de generación de dicho sistema en México. El objetivo de esta investigación se centra en determinar el potencial de generación del sistema FPV en México; además de analizar las perspectivas de implementación de estos sistemas. Para ello, se seleccionaron los embalses de potencial generación mediante parámetros y criterios de factibilidad señalados en la literatura, como la superficie del cuerpo de agua y embalse, la disponibilidad del recurso solar, la profundidad, entre otros. Derivado de ello, se selec-

cionaron 429 sitios para una capacidad total instalada de 97,238.06 MWp y un potencial total de generación de 145,307.96 GWh, siendo San Luis Potosí con 69,363.94 GWh y Veracruz con 54,924.78 GWh los estados de mayor potencial de generación al registrar el 85.5% del potencial total de generación FPV. En este contexto, esta investigación favorece la discusión, el conocimiento, y la toma de decisión en torno a los FPV.

Palabras clave: Energía fotovoltaica flotante, Energía fotovoltaica, Embalses, Energía hidroeléctrica, Potencial de generación.

ABSTRACT

FPV technology is described as solar panels mounted on bodies of water to take advantage of the panel's negative thermal coefficient. FPV is an emerging and growing technology, and so far, there is no evaluation of the generation potential of such a system in Mexico. The objective of this research is to determine the generation potential of the floating photovoltaic system (FPV) in Mexico. In turn, in analyzing the perspectives of the implementation of FPV systems in the country. To this end, reservoirs with potential generation were selected using parameters and feasibility criteria indicated in the literature, such as the surface of the body of water and reservoir, the availability of the solar resource, and the depth, among others. As a result, 429 sites were selected for a total installed capacity of 97,238.06 MWp and a total generation potential of 145,307.96 GWh, with San Luis Potosí with 69,363.94 GWh and Veracruz with 54,924.78 GWh being the states with the highest generation potential, registering 85.5% of the total FPV generation potential. In this context, this research seeks to contribute to the discussion and knowledge of this technology, and to decision-making around these issues.

Keywords: *Floating photovoltaic energy, Photovoltaic energy, Reservoirs, Hydroelectric power, Generation potential.*

INTRODUCCIÓN

Las matrices energéticas en muchos países alrededor del mundo han tenido como meta principal alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS) asociadas a este sector (ODS 7: “Energía Sostenible para Todos”), además de buscar cumplir tratados internacionales como el Acuerdo de París que implica limitar el calentamiento global, siendo clave que a nivel mundial se alcance la transición energética. En el contexto, la transición hacia modelos con bajas emisiones de carbono en sectores como el energético, el transporte, las ciudades, las manufacturas y la producción de alimentos, juegan un papel determinante para la consecución de este objetivo. Asimismo, se considera fundamental que, junto a la transición hacia modelos energéticos climáticamente amigables al medio ambiente, la necesidad de avanzar hacia soluciones que propicien una recuperación que sea más justa, más segura y sostenible. Desde esta perspectiva, la generación energética global ha avanzado en las últimas décadas hacia sistemas de energía sostenible como respuesta a los problemas ambientales y a la urgencia climática mundial (efecto invernadero, el calentamiento global, la contaminación, etc.).

En alrededor del mundo se han implementado diversos proyectos renovables (solar, eólico, hidráulico, etc.), teniendo en el 2020 las energías hidroeléctrica, eólica y fotovoltaica una participación del 46.5%, 23.9% y 23.8% del total de fuentes de energía instaladas, respectivamente (Vo et al., 2021). Si bien la energía hidroeléctrica posee un mayor porcentaje de generación, la energía fotovoltaica ha ido tomando mayor participación en el mercado frente a las hidroeléctricas y eólicas (IRENA, 2020), y se espera que esta tecnología continúe consolidando su participación en la matriz de generación (Yousuf et al., 2020). Sin embargo, cabe mencionar que el incremento de la energía fotovoltaica mundial esta relacionada a la disminución de los costos de los paneles, mientras que las

hidroeléctricas es una tecnología que viene en desarrollo desde la explotación del petróleo, por lo cual no se pretende una comparación entre ambas tecnologías, pues existen entre ellas impactos ambientales y sociales diferentes; además de aspectos técnicos y legales totalmente distintos.

Si bien la energía fotovoltaica es considerada una de las fuentes de energía renovable más grandes, eficientes y limpias usadas en la producción de energía (Dixit, 2020), es tecnología posee algunos impactos negativos asociados al uso de la tierra y la falta de normativa para el reciclaje de los paneles solares al alcanzar su vida útil. Esta tecnología es de uso extendido en diferentes sectores (residencial, comercial, agrícola, industrial y educativo), siendo muy común la instalación de paneles fotovoltaicos en techos de edificios (principalmente, en Europa) o como parte de granjas solares (Agostinelli, 2020). Asimismo, recientemente se ha estado promoviendo la integración de esta tecnología en otros ámbitos (Dixit, 2020), en cierta medida impulsada por la limitante del uso de grandes superficies y la pérdida de competitividad de otras tecnologías (p. ej.: hidroelectricidad). Un ejemplo de ello lo representan los aprovechamientos llamados agro-fotovoltaica que promueven cultivar bajo los paneles solares aprovechando el efecto sombra para el aumento del rendimiento de los cultivos y su consumo de agua (Gascueña, 2019). Esta tecnología incipiente se ha puesto en marcha de manera experimental en cultivos como la patata (papas), uvas (viñedos), albaricoque, etc. Este tipo de aprovechamientos permiten a los productores reducir los costos y alcanzar la autosuficiencia, esto debido a que permiten crear puntos de carga para la conexión de equipos agrícolas, por ejemplo, de cámaras frigoríficas donde se almacenan las cosechas. Sin embargo, cabe mencionar que normalmente los parques solares son instalados próximos a líneas de transmisión y subestaciones, además de que se requieren grandes extensiones de tierra, lo cual, entre otros aspectos, ha reducido las proyecciones de crecimiento de la tecnología solar puesta en

tierra. En este contexto de innovación, desarrollo y obstáculos, otra alternativa a las plantas fotovoltaicas puestas en tierra son las plantas fotovoltaicas flotantes (FPV, por sus siglas en inglés), las cuales buscan optimizar el uso del suelo destinado para uso agrícola e inmobiliario (Kumar et al., 2021).

Los proyectos de FPV pueden ser definidos como paneles solares “tradicionales” montados sobre cuerpos de agua para aprovechar el coeficiente térmico negativo del panel (Solomin et al., 2021), los cuales se tratan de una aplicación reciente de la fotovoltaica que está dando sus primeros pasos y se espera tenga un crecimiento sostenido ante las limitantes de la fotovoltaica tradicional. No obstante, esta tecnología se ha desarrollado principalmente en países asiáticos como China, Singapur, Taiwán, Corea del Sur, e India, además de en países europeos como Países Bajos. En la actualidad, de acuerdo con Muhammad et al. (2021) los FPV se perfilan como una de las soluciones competitivas a los problemas energéticos actuales en todo el mundo. A nivel internacional, estos se pueden desarrollar en superficies como plantas de tratamiento de aguas residuales, embalses hidroeléctricos, canales de riego, estanques y lagunas (Patil et al., 2017). El mercado de la energía solar flotante surge en 2007 con la construcción del primer FPV en Aichi, Japón, siendo un punto de partida para el desarrollo de esta tecnología en otros países con sistemas a pequeña escala para investigación y demostración. No obstante, ya para el año 2008 se instala la tecnología fotovoltaica tradicional en superficies de agua la primera planta comercial con capacidad de 175 kWp en California, y en 2013 las plantas mayores a 1 MWp comenzaron a tener más auge, concentrándose el mercado en Japón, Corea y Estados Unidos. Actualmente, China es el principal actor en tecnología FPV, donde se han desarrollado plantas de más de 10 MWp en 2016 y una de 150 MWp en 2018 (World Bank Group et al., 2018), seguido por países como Australia, Brasil, Canadá, Francia e India (Vo et al., 2021).

En este contexto, la mayoría de estas instalaciones se han realizado en cuencas industriales, reservorios de agua potable o estanques de riego. La integración de FPV en ambientes con infraestructuras de aprovechamiento energético ya existentes, como centrales hidroeléctricas, aprovechan los equipos y conexiones cercanas a la red, además de mejorar la producción de energía y de reducir los costos y tiempos de instalación (Rosa-Clot & Marco Tina, 2020), y minimizar la evaporación en los cuerpos de agua (Yousuf et al., 2020). Sin embargo, cabe mencionar que las principales preocupaciones en torno al desarrollo de proyectos FPV están asociados a problemas medioambientales, como el deterioro en la calidad del agua y afectaciones al ecosistema y la biodiversidad acuática (Patil et al., 2017; Yousuf et al., 2020; Ma et al., 2021; Vo et al., 2021).

Estudios recientes han evaluado las FPV y presentado las diferentes características y componentes de estos sistemas fotovoltaicos flotantes (Sahu et al., 2016; Patil et al., 2017; Yousuf et al., 2020; Ramasamy & Margolis, 2021; Kumar et al., 2021; Ahn et al., 2021). Las FPV se han implementado en reservorios de agua e irrigación (Ferrer-Gisbert et al., 2013; Redón-Santafé et al., 2014; Patil et al., 2017), así como reportado diferentes experiencias en países, como Estados Unidos (Ramasamy & Margolis, 2021), Corea (Kim et al., 2019), China (World Bank Group et al., 2018), además de Australia, Canadá, India, Japón y Portugal (Vo et al., 2021). Igualmente, en otros países europeos y del sureste asiático (Patil et al., 2017). En el caso de países latinoamericanos, los proyectos FPV han sido desarrollados en Brasil y Panamá, además se están considerando su desarrollo en Colombia (Vo et al., 2021). Sin embargo, al ser una tecnología en desarrollo, en países con un potencial solar importante, como México, este tipo de aprovechamientos no se encuentran en desarrollo.

México se ubica en la porción norte del continente americano, limitando al norte con Estados Unidos y

al sur con Guatemala y Belice. Posee una superficie continental aproximada de 1,960 millones de km², y está dividido administrativamente en 32 estados federales. Por su ubicación geográfica, se caracteriza por su alta biodiversidad natural y la riqueza de recursos energéticos renovables como el viento y el sol, además de importantes sistemas hidroeléctricos. En la actualidad, el 25.64% de la generación eléctrica del país está basada en energías limpias (SENER, 2021).

El objetivo de esta investigación se centra en determinar el potencial de generación del sistema fotovoltaico flotante (FPV, por sus siglas en inglés) en México. A su vez, analizar y examinar las perspectivas de implementación de los sistemas FPV en el país. Por tanto, se busca contribuir al conocimiento y a la toma de decisión en torno a estos temas.

CONTEXTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

De acuerdo con las cifras de la Agencia Internacional de Energía (EIA, por sus siglas en inglés) México registró en 2019 una generación total de 56,055.3 GWh en energías renovables, liderada por la energía hidroeléctrica con un 42.1% del total, la energía eólica con un 29.8% y la solar fotovoltaica con un 13.1%. La energía geotérmica, los biocombustibles y el biogás representaron los porcentajes menores en la participación (IRENA, 2019).

Hasta el momento se cuenta con un total de 731 centrales hidroeléctricas concentradas en 17 estados del país con una capacidad instalada total de 12,614 MW. En 2021, estas centrales generaron un total de 51,845.5 GWh, donde tan solo el sistema de presas del río Grijalva en el estado de Chiapas generó 10,690 GWh (OISE, 2021). El parque hidroeléctrico mexicano tiene una antigüedad de más de 30 años, enfocándose en aumentar la capacidad hidroeléctrica a través de la rehabilitación y modernización de las centrales y represas de riego.

A pesar de que la generación hidroeléctrica representa el mayor porcentaje de participación en energías renovables, la energía fotovoltaica ha mantenido una tendencia de crecimiento, incrementando su participación en un 19% del 2018 al 2021. En consecuencia, en la generación distribuida los sistemas fotovoltaicos son claves en la integración de proyectos de centrales eléctricas (CENACE, 2021). En este sentido, la política de Transición Energética de México ha avanzado en generación de energías renovables, permitiendo abastecer el suministro de electricidad de todos los sectores, garantizando el aprovechamiento de los recursos energéticos, así como la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), con el objetivo de preservar la soberanía y seguridad energética del país. En 2021 se reconoció un 29.5% de generación eléctrica a partir de fuentes limpias, como parte de las metas de la Ley de Transición Energética (Ley DOF 24-12-2015). Esta ley tiene como objeto “regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos”. Sin embargo, sigue siendo necesario la incorporación de nuevas tecnologías en la producción, transmisión y distribución de la electricidad, así como mejorar la eficiencia en los procesos que garanticen la confiabilidad del suministro eléctrico, logrando las metas en materia de energía limpia y eficiencia energética (CENACE, 2021).

En este sentido, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) han acordado que durante el sexenio de actual (2018-2024) se logre equipar 15 represas de riego para la generación de energía hidroeléctrica de 200 MW de capacidad instalada adicionales, con planes para incorporar 10 represas adicionales (IHA, 2021). En la actualidad, los planes de la administración federal actual (2018-2024) no contemplan la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas, centrándose en la modernización y rehabilitación de las centrales existentes.

Desde esta perspectiva, los proyectos de FPV han mostrado cierto crecimiento en países asiáticos principalmente (China, Corea, India, etc.), y algunos casos experimentales en Europa (Países Bajos) y Latinoamérica (Brasil). Sin embargo, en otros países latinoamericanos como México estos nacientes aprovechamientos no se han impulsado, en parte, debido a las limitaciones relativas al desarrollo de la fotovoltaica puesta en tierra.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó una revisión documental del tema y metodológica para determinar el potencial de generación de los proyectos FPV. En este contexto, se partió de los datos de ubicación de presas, embalses y cuerpos de agua para determinar el potencial de generación vinculado a esta tecnología.

Datos de ubicación de presas y embalses

Para este estudio se utilizó la base de datos de “México-Presas” obtenida a través de la plataforma *Humanitarian Data Exchange* v1.62.1, donde se encuentran de manera libre (Humdata, 2021). Esta base de datos contiene información referenciada geográficamente en formato shapefile sobre las presas en México, y de acuerdo con la metadata fue elaborada en octubre del año 2015 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y contiene 4,897 sitios con características (nombre, latitud, longitud, altura máxima de corona, nivel máximo ordinario, etc.) de presas, embalses y cuerpos lacustres, los cuales tienen como propósito el almacenamiento, la derivación conducción, regulación y control, protección contra inundaciones, recarga de acuífero, y otros fines. A su vez, estas se agrupan en diferentes usos como agua potable, riego, generación de energía, acuacultura y pesca, fundamentalmente.

A partir de esta base de datos, se seleccionaron los embalses y cuerpos de agua con mayor potencial de generación de energía, esto a partir de criterios como la disponibilidad del recurso solar, la

profundidad, el uso de la presa y la cobertura del área de la superficie del embalse, etc.

Determinación del potencial de generación

El potencial de generación corresponde al total de generación de energía que cada sitio representa, esto a partir de la ubicación y la radiación solar correspondiente.

Parámetros clave:

A partir de los datos obtenidos en la base de datos sobre los sitios con características de presas, embalses y cuerpos lacustres, se seleccionaron 429 sitios en todo el país mediante diferentes criterios y parámetros considerados relevantes para el establecimiento de proyectos FPV (Figura 1), como la disponibilidad del recurso solar, la profundidad, uso de la presa y cobertura del área de la superficie del embalse, detallados a continuación.

En primera instancia se aplicaron restricciones en embalses que puedan presentar sequía, empleándose solo en embalses de presas de riego, agua potable y generación eléctrica. Sin embargo, es necesario considerar las potenciales restricciones vinculadas a las fuentes de agua potable, pues su funcionamiento esencial es la provisión de este servicio.

Posterior a ello, según el estudio de Spencer et al. (2018) se utilizó como criterio una superficie mínima de 4,000 m² y profundidades mínimas de 2 m. De acuerdo con Kumar et al. (2021) se colocó un límite a la profundidad promedio del cuerpo de agua debido a que existen soluciones rentables para cuerpos de agua con una profundidad inferior a 80 m. La profundidad del embalse se tomó de la sección “altura de la cortina”, proporcionada en la base de datos antes mencionada, cotejado con el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) en el apartado

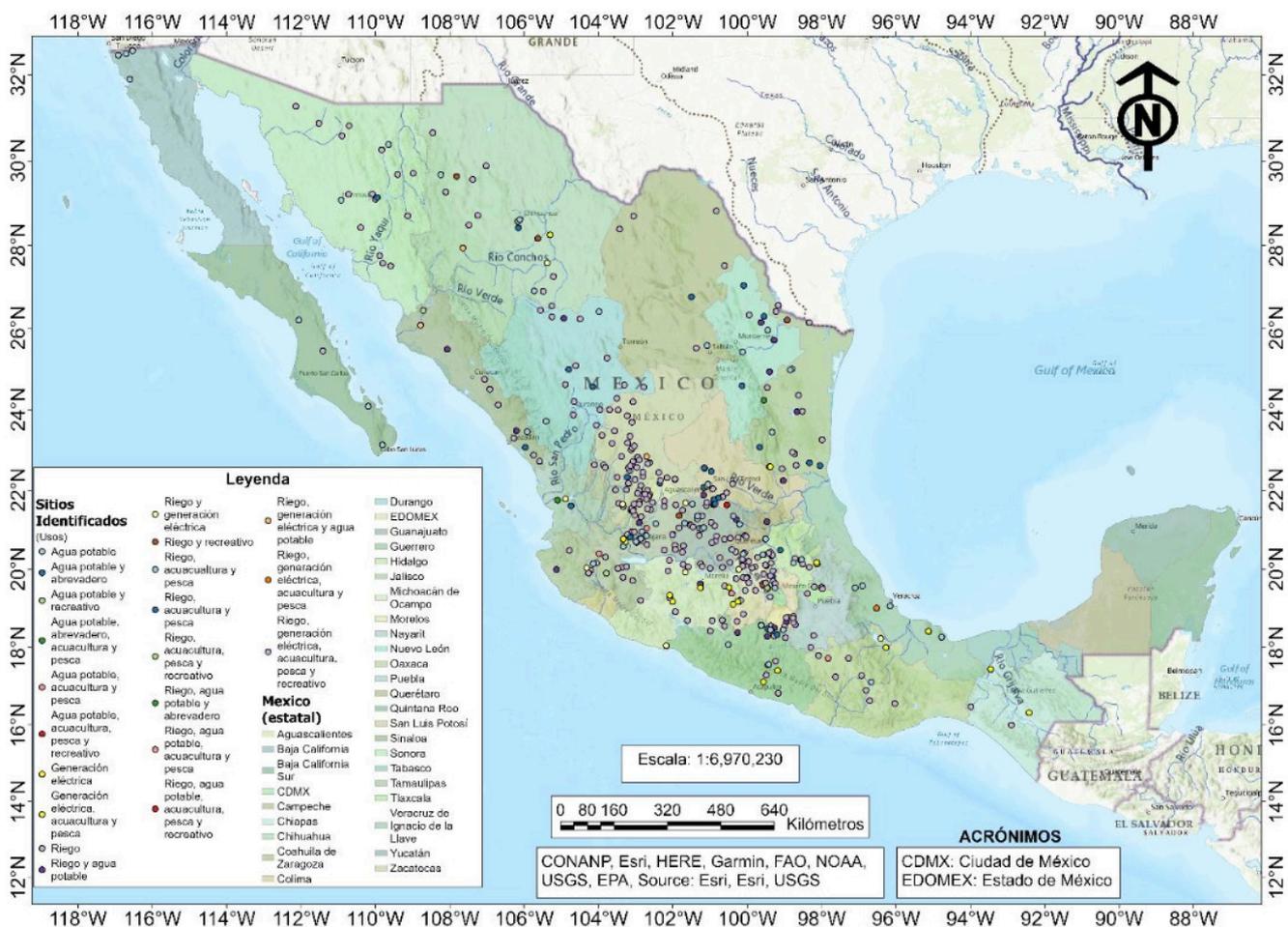
de Monitoreo de Presas Hidroeléctricas. Mientras que la superficie del embalse se determinó de forma manual mediante *Google Earth* para cada uno de los cuerpos de agua analizados. Por tanto, se advierte que deben tenerse en cuenta los errores de precisión que tiene *Google Earth*, siendo clave en futuros estudios estimaciones con mayor precisión para la determinación del potencial de generación de energía en los cuerpos de agua.

Subsecuentemente se consideraron los cuerpos de agua con una disponibilidad anual de Irradiación Global Horizontal (GHI,

por sus siglas en inglés) mayor o igual a 1,800 kWh/m² (Kumar et al., 2021). Estos datos fueron recabados de la base de datos del Atlas Solar Global (GSA, por sus siglas en inglés) mediante las coordenadas geográficas de cada embalse.

Por último, para determinar el potencial del despliegue de un sistema FPV se ha considerado una cobertura mínima de la superficie del embalse correspondiente al 10%, cifra establecida como punto de partida y área del embalse aprovechable considerada común en proyectos previos (Kim et al., 2019).

Figura 1. Área de estudio y sitios de interés.



La cantidad de sitios que cumplieron con los criterios y parámetros seleccionados fue de 429, distribuidos en 26 estados (Tabla 1).

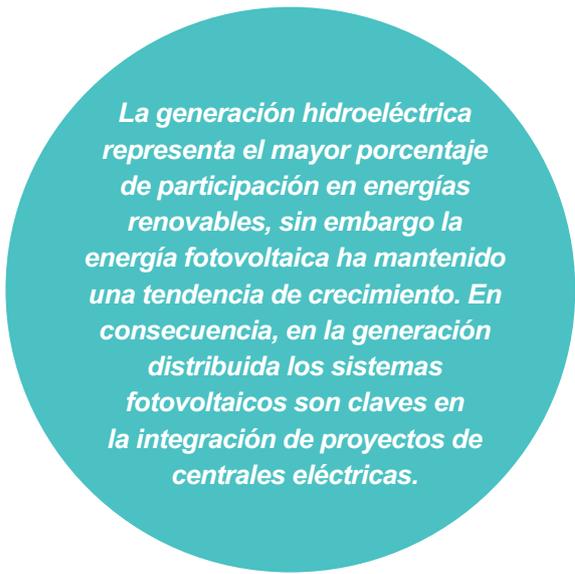
Tabla 1. Número de embalses por estado factibles para instalación FPV.

Estado	Sitios identificados				Superficie potencial (km ²)	Superficie aprovechable (km ²)
	Uso de la presa					
	Riego	Agua potable	Generación eléctrica	Total		
Aguascalientes	12			12	25.68	0.34
Baja California		4		4	47.56	0.24
Baja California Sur	1	3		4	99.60	0.09
Chiapas	2		2	4	62.42	2.57
Chihuahua	11	5	3	19	72.05	4.76
Coahuila	5	2		7	98.44	9.96
Durango	13	4		17	49.24	6.24
Estado de México	19	6	2	27	31.10	7.21
Guanajuato	29	13		42	73.61	9.84
Guerrero	11	9	2	22	101.44	4.92
Hidalgo	14	3	2	19	2.11	3.11
Jalisco	31	12	4	47	1.74	7.36
Michoacán	14		7	21	98.00	10.14
Morelos	12		1	13	524.72	0.21
Nayarit	1	1	1	3	1.05	0.17
Nuevo León	5	4		9	10.51	9.80
Oaxaca	8	1	2	11	6,931.25	52.47
Puebla	3			3	69.41	0.11
Querétaro	11	3		14	17.58	1.05
San Luis Potosí	7	9	2	18	581.40	693.12
Sinaloa	10	1	1	12	11.29	6.94
Sonora	15	3		18	5,769.89	1.76
Tamaulipas	13	6	1	20	46.25	58.14
Tlaxcala	4			4	14,733.04	1.13
Veracruz		4	3	7		576.99
Zacatecas	50		2	52	0.92	4.63
Total	301	93	35	429	0.92	1,473.30

Potencia del sistema FPV

De acuerdo con Kumar et al. (2018) el área requerida por MWp para los proyectos FPV es de aproximadamente 10,000 m². Esta también se conoce como la densidad de capacidad promedio del sistema, siendo determinada por Spencer et al. (2018) a partir de la evaluación de 51 proyectos en todo el mundo, considerándose mucho mayor a la de los sistemas terrestres.

Sin embargo, de acuerdo con Rodríguez et al. (2020) el 34% del área a cubrir debe destinarse al espacio entre los flotadores para el movimiento de los técnicos y no presentar factor de sombras entre los paneles. Así, el 66% de la superficie destinada a cubrirse del embalse estaría realmente ocupada por los paneles fotovoltaicos.



Por lo tanto, el potencial del sistema FPV sobre un cuerpo de agua se estimó a partir de la ecuación 1 ajustada a la propuesta por Kumar et al. (2018):

$$P_{FPV} = \text{área cubierta por el panel (\%)} \times \frac{\text{Superficie a cubrir del cuerpo de agua (m}^2\text{)}}{\text{Área del proyecto FPV (m}^2\text{/MWp)}} \quad (1)$$

Generación de energía del sistema FPV

Para determinar la generación de energía de un sistema fotovoltaico se requiere conocer la potencia de los paneles o del sistema completo (en Watts) y las Horas Pico Sol (HPS) del lugar. Las HPS son el promedio de horas al día o año donde se recibe energía bajo una radiación de 1 kW/m². Se estiman a partir de los datos de radiación del lugar mediante la ecuación 2.

$$E = W \times HPS \quad E = W \times HPS \quad (2)$$

Sin embargo, un sistema fotovoltaico presenta diferentes pérdidas y por ende su eficiencia disminuye, presentando un factor de degradación. En este proyecto de investigación se opta por considerar las pérdidas proporcionadas por el Atlas Solar Global (Tabla 2), ya que presenta una configuración de “sistemas flotantes a

gran escala” donde se realiza una simulación de sistemas fotovoltaicos cubriendo grandes instalaciones solares flotantes (Global Solar Atlas, n.d.).

Tabla 2. Pérdidas en el sistema FPV

Tipo	Pérdida (%)
Suciedad (DC)	6
Cableado (DC)	2.5
Mismatch (DC)*	6.5
Transformador (AC)	1
Cableado (AC)	2
Inversor	3

Fuente: Global Solar Atlas (n.d.). Nota. *El efecto Mismatching o de acoplamiento en fotovoltaica.

El desajuste (*mismatch*) entre los módulos de una cadena es alto ya que es inducido por las olas, así como las pérdidas por suciedad debido a los excrementos de pájaros y el polvo arrastrado por el aire y el movimiento del agua en los paneles. En la simulación se consideran los inversores de cadena con un parámetro de eficiencia europea (97%) utilizado en la simulación para las pérdidas de conversión de corriente directa (DC) a corriente alterna (AC), y el transformador de distribución (Global Solar Atlas, n.d.).

Sumando todas las pérdidas se tiene un total de 21%, por lo que el factor de degradación sería del 79%. Este factor se agrega a la producción de energía, teniendo como resultado (ecuación 3):

$$E = W \times HPS \times 0,79 \quad E = W \times HPS \times 0,79 \quad (3)$$

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La FPV está compuesta fundamentalmente por (Figura 2):

1. Pontón: es la estructura flotante donde se instala el sistema fotovoltaico, con la flotabilidad suficiente para aguantar carga pesada, diseñado para el número adecuado de módulos y disponibilidad del espacio. Los que se encuentran en el mercado son los flotadores con huecos de plástico, mayormente hechos de polietileno de alta densidad (*HDPE*, por sus siglas en inglés) (Sahu et al., 2016) o de polietileno de media densidad (*MDPE*, por sus siglas en inglés) (Solomin et al., 2021).

2. Sistema de amarre: este sistema se utiliza para mantener los paneles en la misma posición, evitando que giren o floten. El sistema de amarre se compone de una cuerda de amarre, anclaje y conexiones (Solomin et al., 2021). Se puede asegurar a un contenedor como muelles, boyas de anclaje y boyas de amarre, siendo su instalación un gran desafío en aguas profundas (Sahu et al., 2016). Por seguridad, la estructura flotante debería ubicarse en el medio del embalse, facilitando significativamente el sistema de amarre

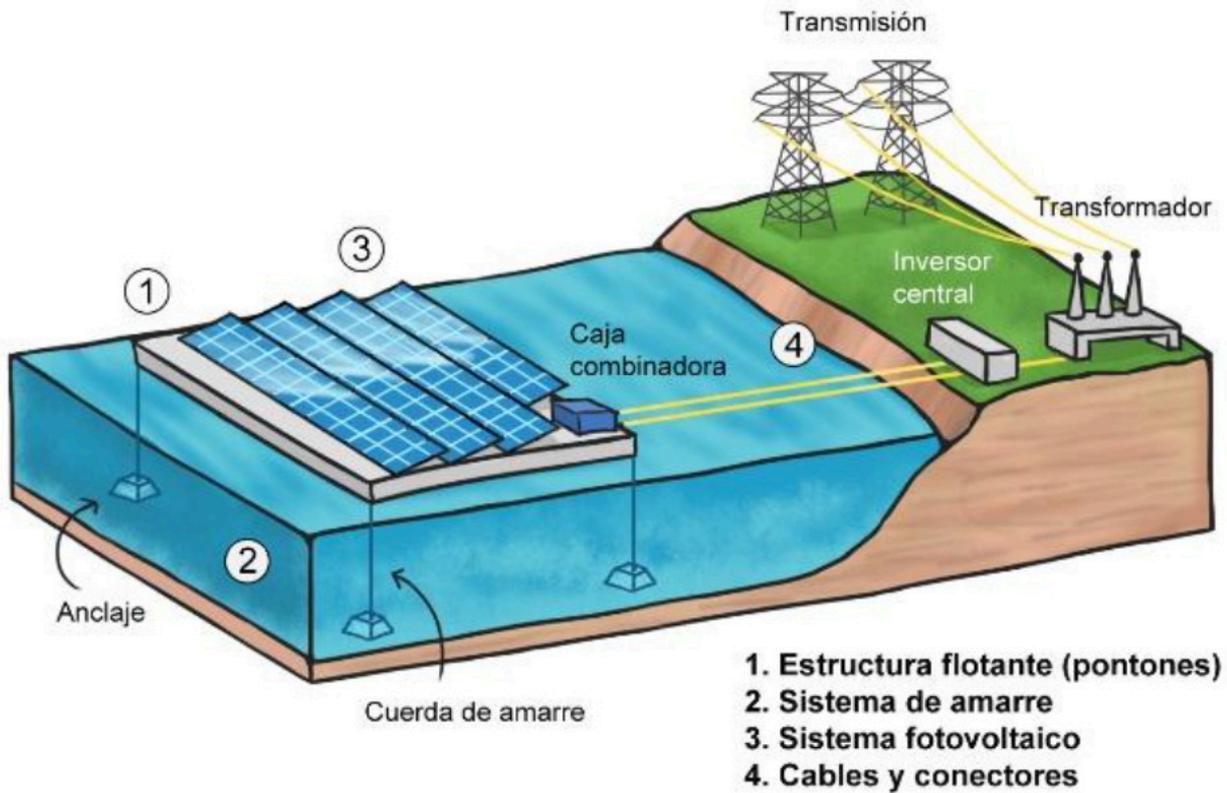
de la planta (Barbuscia, 2018), además el sistema de anclaje debe diseñarse con variaciones en el nivel del agua del embalse durante todo el año (Esteves-Galindo & de Almeida-Olivieri, 2017).

3. Sistema fotovoltaico: los paneles usados en estas instalaciones son de tipo estándar comercial (utilizados en sistemas terrestres), formando una matriz fotovoltaica montada en la plataforma flotante. Actualmente, la investigación solar-fotovoltaica también se ha aplicado a los sistemas flotantes con módulos fotovoltaicos flexibles y células solares mediante películas delgadas (Solomin et al., 2021).

4. Cables y conectores: la energía generada llega a la subestación mediante cables subterráneos, bajo agua o por flotadores (Solomin et al., 2021) los cuáles deben ser resistentes a altas temperaturas, impermeables y gruesos, con la clasificación adecuada junto a la caja de conexiones adecuada, ambos certificados con IP67, a prueba de agua. Elementos como el inversor o baterías se instalan en la costa, como los sistemas terrestres (Sahu et al., 2016).

Los proyectos de FPV pueden representar una variable adicional de diversificación de la matriz energética del SEN de México, al mismo tiempo que se protegen los recursos hídricos.

Figura 2. Esquema de un sistema FPV con sus componentes.



Los sistemas FPV se clasifican en tres grupos principales según sus estructuras de soporte. El primero es mediante arreglos de inclinación fija donde se requieren pontones rígidos. El segundo es con sistema de seguimiento, el cual se puede instalar con o sin pontón, y, por último, están los arreglos flexibles que, por su bajo peso, no se necesita una estructura de soporte en forma de pontón. También se pueden clasificar según la escala implementada; pequeña escala (kW), mediana escala (kW a MW) y gran escala (MW a GW) (Solomin et al., 2021).

RESULTADOS

El potencial total de generación de los sistemas FPV obtenido para México es de 145,307.96 GWh. El desglose a nivel estatal de este potencial se muestra en la Tabla 3, siendo San Luis Potosí con 69,363.94 GWh y Veracruz con 54,924.78 GWh

los estados de mayor potencial de generación al registrar el 85.5% del potencial total de generación FPV. A este liderazgo predominante, le siguen en tercer y cuarto lugar los estados de Tamaulipas con 5,719.83 GWh y Oaxaca con 5,097.65 GWh, respectivamente.

En detalles, cabe señalar que de los 429 sitios identificados se obtuvo una capacidad instalada de 97,238.06 MWp con un potencial de generación anual de 145,307.96 GWh. El estado con mayor generación es San Luis Potosí, con 18 sitios identificados tiene un potencial de 69,363.94 GWh, mientras que el estado con menor aportación es Baja California Sur con 4 sitios identificados para un potencial de 10.62 GWh. La presa con mayor aportación es la derivadora “El salto I”, con una generación de 69,278.05 GWh; ubicada en el estado de San Luis Potosí, cabe destacar que el uso de esta presa es para riego y generación eléctrica.

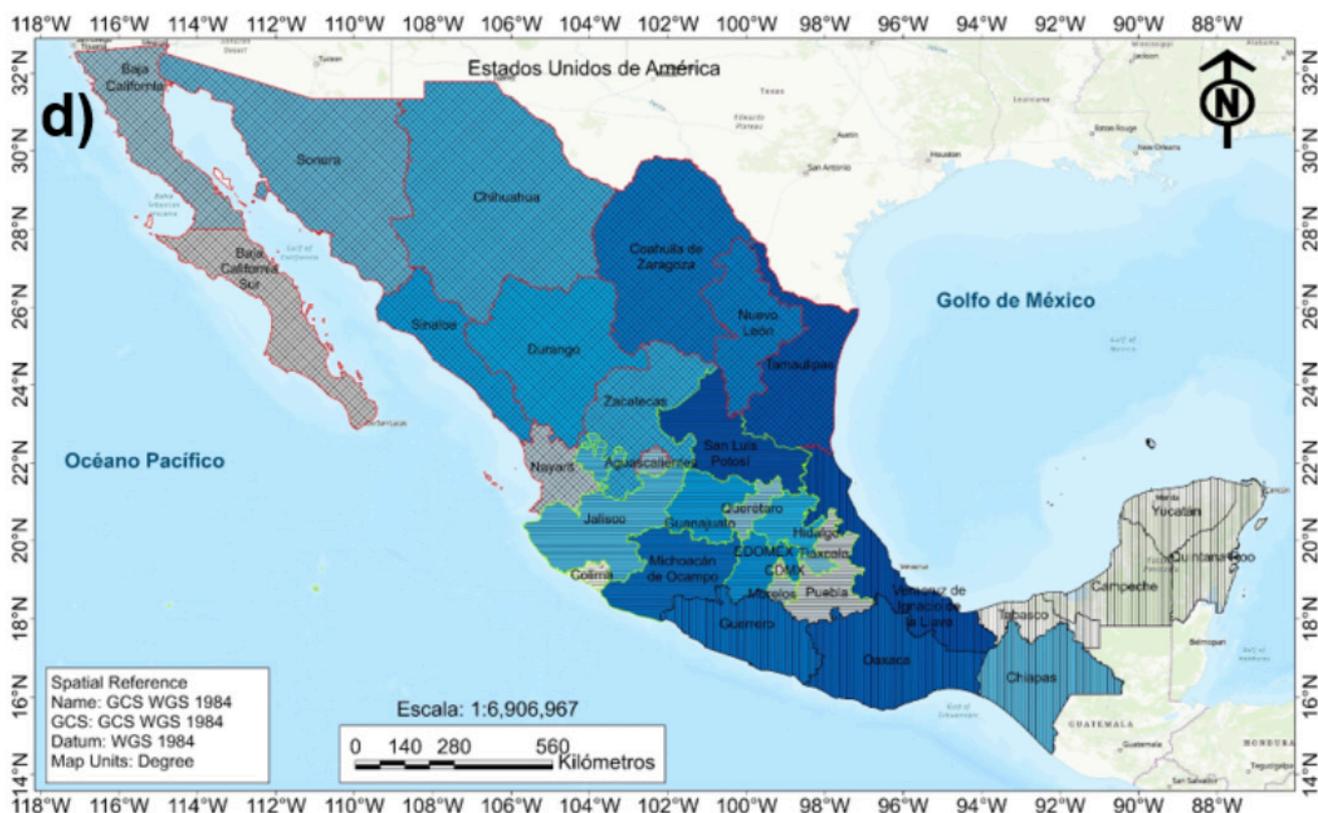
Tabla 3. Potencial de generación y capacidad instalada por estado.

Región	Estado	Capacidad instalada (MWp)	Generación FPV (GWh)	Sitios identificados
Centro	Aguascalientes	22.16	38.98	12
	Estado de México	475.53	807.21	27
	Guanajuato	649.73	1,143.43	42
	Hidalgo	205.25	345.77	19
	Jalisco	485.83	828.27	47
	Michoacán	669.50	1,145.21	21
	Morelos	13.93	25.07	13
	Puebla	6.93	12.55	3
	Querétaro	69.35	120.04	14
	San Luis Potosí	45,746.24	69,363.94	18
	Tlaxcala	74.51	130.80	4
Norte	Baja California	16.01	26.24	4
	Baja California Sur	6.05	10.62	4
	Chihuahua	313.92	535.98	19
	Coahuila	657.34	1,003.95	7
	Durango	411.97	717.77	17
	Nayarit	11.48	19.45	3
	Nuevo León	646.81	975.41	9
	Sinaloa	458.13	764.40	12
	Sonora	116.01	197.73	18
	Tamaulipas	3,837.23	5,719.83	20
	Zacatecas	305.25	537.42	52
Sur	Chiapas	169.47	254.57	4
	Guerrero	324.95	560.89	22
	Oaxaca	3,463.18	5,097.65	11
	Veracruz	38,081.30	54,924.78	7
Total		97,238.06	145,307.96	429

Los estados que presentan mayor potencial de generación se encuentran en el centro del país con 73,961.28 GWh (220 sitios) influenciado por el alto porcentaje del estado de San Luis Potosí. A su vez, le sigue la región sur con 60,837.89 GWh de generación (44 sitios), siendo influenciado por el alto potencial de generación del estado de Veracruz. Aunque se esperaría que los estados del norte dominen por la abundancia

del recurso solar o los estados del sur por la abundancia del recurso hídrico; los estados en el centro del país tienen un potencial de generación mayor como resultado de una mayor disponibilidad de superficie de cuerpos de agua factibles para el desarrollo de proyectos FPV. En detalle, se muestran en la Figura 3 los resultados obtenidos por estado y región.

Figura 3. Potencial de generación FPV: a) estatal; b) regional; c) total de sitios identificados por región; y, d) distribución espacial del potencial de generación.



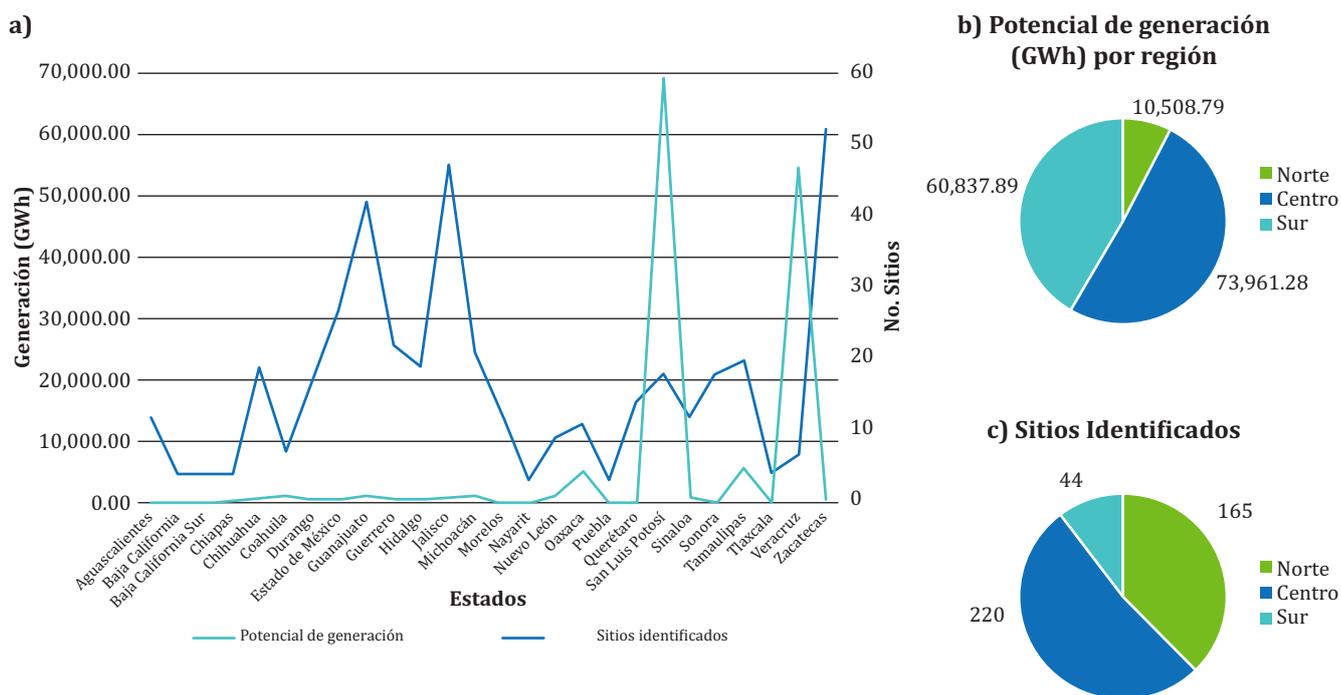
ACRÓNIMOS

CDMX: Ciudad de México
 EDOMEX: Estado de México

CONANP, Esri, HERE, Garmin,
 FAO, NOAA, USGS, EPA

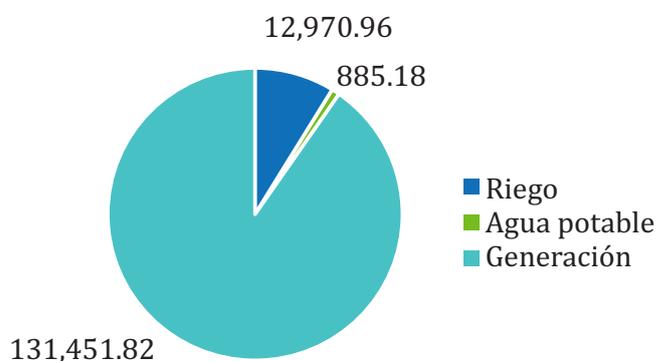
Leyenda

□ México (Estatal)	19.45	764.4
México (regiones)	25.07	807.21
Centro	26.24	828.27
Norte	38.98	975.41
Sur	120.04	1003.95
Potencial de Generación (GWh)	130.8	1143.43
10.62	197.73	1145.21
12.55	254.57	5097.65
	345.77	5719.83
	535.98	54924.78
	537.42	69363.94
	560.89	
	717.77	



La viabilidad de implementar tecnologías híbridas puede depender de los usos y propósitos principales que tengan las presas. El potencial de FPV de los embalses de riego como propósito principal se distribuyen de manera uniforme con 301 sitios identificados en todo el país, mientras que el potencial FPV de los embalses de suministro de agua potable (94 sitios) e hidroeléctricos (34 sitios), se distribuyen de manera más dispersa en el país. Sin embargo, en cuanto al potencial de generación FPV por usos y propósitos principales, la generación eléctrica lidera la generación con 90.5%, seguida por el riego con 8.9% y agua potable con 0.6% (Figura 4).

Figura 4. Generación FPV por uso de las presas.



DISCUSIÓN

El potencial total de FPV para los 429 sitios identificados en México registra una capacidad instalada de 97,238.06 MWp y una total de generación de 145,307.96 GWh, el cual se sitúa en niveles de potencial de aprovechamiento muy alto respecto a otras zonas del mundo. En particular, Kim et al. (2019) reporta que Corea del Sur se consideraron 1,134 embalses

(>100 kW o superior de capacidad instalada) con una capacidad instalada total de 2,103 MW y una generación de energía de 2,932 GWh. Por otra parte, Kumar et al. (2021) estimó en India un potencial de 111,900 MWp aplicando las condiciones de superficie aprovechable, profundidad y radiación máxima permitida presentadas en este proyecto. En cuanto al estudio de Spencer et al. (2018) realizado en Estados Unidos se seleccionaron 24,419 cuerpos de agua, teniendo

una capacidad instalada de 2,116,000 MW con una cobertura del 27% de la superficie de los embalses, produciendo 786,000 GWh. Por lo tanto, el aprovechamiento FPV en México, representa un potencial elevado para el crecimiento del sector eléctrico mediante la implementación de nuevas tecnologías que contribuyan a la generación de energía de forma limpia y sostenible.

En términos generales, la generación FPV adicional al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de México la electricidad necesaria para abastecer alrededor de 39 millones de hogares, y a su vez, podría impactar en el consumo de electricidad de sectores como la agricultura (p.ej.: bombeo en los distritos agrícolas) y el abastecimiento de agua potable a centros urbanos (p.ej.: bombeo y tratamiento de agua). En adición a ello, se tienen los beneficios ambientales que se obtendrían al dejar de emitir los GEI que se producirían al generar energía con otras fuentes más contaminantes. En particular, con el potencial de generación FPV se dejarían de emitir 64,153,910 toneladas al año de GEI en México, lo que equivale a las emisiones de GEI de 7 millones de vehículos, aproximadamente.

Cabe mencionar que los proyectos FPV presentan diversas ventajas, como el hecho de que son reversibles al no tener estructuras fijas como un anclaje terrestre (Rosa-Clot & Marco-Tina, 2020), además de tener una eficiencia de 10-15% mayor que los sistemas puestos a tierra (Solomin et al., 2021). En embalses hidroeléctricos, el sistema FPV permite reducir el estrés en las turbinas generadoras de energía y aumenta la vida útil de la central (Rauf et al., 2020). En temas ambientales previene el crecimiento de algas tóxicas al controlar la luz de manera adecuada (Rauf et al., 2020), mejorando la calidad del agua, además de disminuir la evaporación en el embalse (Esteves-Galindo & de Almeida-Olivieri, 2017). Un sistema FPV presenta mayor potencial en la disminución de emisiones de CO₂ que las plantas solares en tierra (Solomin et al., 2021). En cuanto a aspectos económicos reduce los costos en la integración a la red eléctrica debido

a que la energía generada hace uso de potenciales infraestructuras eléctricas existentes (Solomin et al., 2021). Sin embargo, entre sus desventajas se tienen factores climatológicos como el viento, olas, corrientes y nieves con efectos significativos sobre la estabilidad y rendimiento a largo plazo (Solomin et al., 2021), y si hay un exceso de sombra se podrían reducir los productores primarios (microalgas) del agua, impactando en su cadena alimentaria (Haas et al., 2020).

Ante ello, se presenta como una alternativa emergente para su desarrollo en los sitios que se consideren factibles económicamente, y con ello complementar los requerimientos crecientes de energía a nivel nacional. No obstante, cabe señalar que se tiene información limitada en aspectos como el impacto ambiental del sistema en los cuerpos de agua (Haas et al., 2020), instalación más especializada con un marco regulatorio que lo respalde (Solomin et al., 2021), lo cual representa una limitación importante para la toma de decisión en torno al desarrollo de estos proyectos. Por tanto, resulta relevante para el desarrollo de los proyectos FPV a corto plazo un mayor nivel de investigación y desarrollo centrado en el diseño, la elección y tamaño óptimo de la estructura flotante con un sistema de amarre eficiente y la dinámica en el cuerpo de agua de dicho sistema.

En este contexto de la tecnología, recientemente en España, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha sometido a consulta pública un proyecto de Real Decreto-Ley (6/2022 (RDL 6/2022)), publicado en el Boletín Oficial del Estado (BOE, 30/03/2022), para regular la instalación de plantas fotovoltaicas flotantes en el dominio público hidráulico (DPH). No obstante, las plantas fotovoltaicas flotantes estarán sujetas a la evaluación de impacto ambiental y a la modalidad de concesión, basándose en los principios de objetividad, transparencia, concurrencia y no discriminación y se otorgará con carácter temporal y plazo máximo de duración (incluye las prórrogas

<25 años). Igualmente, las autorizaciones de FPV estarán sujetas al marco normativo y a criterios técnicos del sector eléctrico (i.e.: sobrecarga en redes y nudos eléctricos). En consecuencia, si bien este Real Decreto-Ley busca impulsar las energías renovables y la integración de las FPV a la matriz de generación eléctrica, cabe mencionar que este incorpora un conjunto de previsiones ambientales y técnicas para una implantación prudente y armoniosa de estas tecnologías.

Desde esta perspectiva, los proyectos de FPV pueden representar una variable adicional de diversificación de la matriz energética del SEN de México, al mismo tiempo que se protegen los recursos hídricos; además, podría contribuir la política de Transición Energética del país, siempre que se tenga un marco normativo, la inversión, la planificación e investigación que apoye la implementación de esta tecnología. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta los impactos sobre el potencial ecológico de las masas de agua y sus ecosistemas asociados para un desarrollo armónico con el ambiente de los proyectos FPV.

CONCLUSIÓN

Este proyecto de investigación se centró en la revisión de literatura para conocer los aspectos fundamentales de un sistema FPV y de un sistema híbrido. Se estableció una metodología para estimar la generación de energía de un sistema FPV instalado en los embalses de diversas cuencas en todo el país. Los resultados obtenidos arrojan un total de 429 sitios para una capacidad total instalada de 97,238.06 MWp y un potencial total de generación de 145,307.96 GWh. Los estados de San Luis Potosí (69,363.94 GWh) y Veracruz (54,924.78 GWh) concentran el 85.5% del potencial total de generación FPV del país. Desde el punto de vista técnico, al tener un potencial de generación alto y aprovechando toda su capacidad instalada y superficie disponible, esta tecnología se muestra factible para su implementación.

Para estudios futuros se podría añadir la reducción de pérdidas por evaporación en el embalse y una evaluación ambiental respecto a la incidencia de la luz en el agua, el crecimiento de algas, la oxigenación y la vulnerabilidad hidrometeorológica. Igualmente, se podrían evaluar la implantación de las FPV en canales u otras obras hidráulicas. De igual forma, realizar un estudio de batimetría en el área de estudio ayudaría a la toma de decisión, y así determinar con mayor precisión la profundidad del embalse y sus variaciones a lo largo del año, además de estimar las distancias mínimas y máximas a la orilla del embalse, y la ubicación de las FPV. Continuar con la investigación de estos sistemas contribuye a la consolidación de este tipo de aprovechamiento y futura integración al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Además, se presenta como relevante identificar los sitios potenciales para la instalación piloto de este tipo de proyectos; además de considerar el uso primario de embalse ante cualquier impacto ambiental asociado a la calidad del agua.

Se estima necesario un marco normativo que permita un desarrollo armónico con el medio natural y de certezas y organización a los proyectos; además es clave tener instalaciones pilotos para evaluar los aspectos técnicos, económicos y ambientales asociados a la implantación de los FPV en las masas de agua. Por tanto, será necesario estudiar a fondo cada proyecto y los impactos ambientales asociados para validar sus efectos en el medio natural y el alcance de los beneficios de esta tecnología y la fiabilidad de su integración a SEN. ■

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A. C. (CCGS) por las facilidades durante la realización de esta investigación, así como a los revisores anónimos por los comentarios y recomendaciones.

REFERENCIAS

- Agostinelli, G. (2020, Mayo 01). *Emerging Energy Solutions: Floating Solar Photovoltaic on the Rise (English)*. World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/437981596176722170/Emerging-Energy-Solutions-Floating-Solar-Photovoltaic-on-the-Rise>
- Ahn, C.M.; Joo, J.C.; Kim, J.H.; Choi, S.H.; Jang, J.S.; and Go, H.W. (2021). Review of Installation Status and Major Environmental Issues of Floating Photovoltaic Power Plants (FPVs). *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 43 (4): 286-298. doi: 10.4491/KSEE.2021.43.4.286
- Barbuscia, M. (2018, Enero). Economic viability assessment of floating photovoltaic energy. *Research Gate*. https://www.researchgate.net/profile/Michele-Barbuscia/publication/322364592_Economic_viability_assessment_of_floating_photovoltaic_energy/links/5a561991aca272bb6963bd12/Economic-viability-assessment-of-floating-photovoltaic-energy.pdf
- BOE (Boletín Oficial del Estado). Real Decreto-ley 6/2022, de 29 de marzo, por el que se adoptan medidas urgentes en el marco del Plan Nacional de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la guerra en Ucrania. Jefatura del Estado, BOE, núm. 76, de 30/03/2022. Madrid, España. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rdl/2022/03/29/6/con>
- CENACE. (2022). Centro Nacional de Control de Energía. *Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2022-2036*. <https://www.gob.mx/cenace/documentos/programa-para-el-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2022-2036>
- Ciel & Terre. (2019, Octubre 15). Solar & hydro hybridization: ciel & terre's floating pv plant on sobradinho hydroelectric dam. Ciel & Terre. <https://www.ciel-et-terre.net/solar-hydro-hybridization-ciel-terres-floating-pv-plant-on-sobradinho-hydroelectric-dam/>
- Dixit, S. (2020). Solartechnologies and their implementations: a review. *Materials Today: Proceedings*, 28, 2137-2148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.134>
- Esteves Galindo, M. A., & de Almeida Olivieri, M. M. (2017). Some Remarks about the Deployment of Floating PV Systems in Brazil. *Journal of Electrical Engineering*. 10.17265/2328-2223/2017.01.002
- Farfan, J., & Breyer, C. (2018, Noviembre). Combining Floating Solar Photovoltaic Power Plants and Hydropower Reservoirs: A Virtual Battery of Great Global Potential. *Energy Procedia*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.038>
- Ferrer-Gisbert, C., Ferrán-Gozálviz, J. J., Redón-Santafé, M., Ferrer-Gisbert, P., Sánchez-Romero, F. J., & Torregrosa-Soler, J. B. (2013). A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs. *Renewable energy*, 60, 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.04.007>
- Gascueña, D. (2019, Junio 19). *Cuatro tecnologías que prometen revolucionar la energía solar fotovoltaica*. Open Mind BBVA. <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/cuatro-tecnologias-que-prometen-revolucionar-la-energia-solar-fotovoltaica/>
- Global Solar Atlas. (n.d.). *Methodology*. Global Solar Atlas. Retrieved Octubre, 2021, from <https://globalsolaratlas.info/support/methodology>
- Haas, J., Khalighi, J., de la Fuente, A., Gerbersdorf, S.U., Nowak, W., & Chen, P.-J. (2020). Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. *Energy Conversion and Management*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112414>
- HumData (Humanitarian Data Exchange v1.62.1). (2021). México – Presas. Elaborada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI). Disponible en: <https://data.humdata.org/dataset/mexico-presas>
- IHA. (2021). International Hydropower Association. Hydropower Status Report (2020). <https://www.hydropower.org/publications/2021-hydropower-status-report>
- IRENA. (2018). International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/>

- IRENA. (2020). International Renewable Energy Agency. <https://www.irena.org/>
- Kim, S.-M., Oh, M., & Park, H.-D. (2019). Analysis and Prioritization of the Floating Photovoltaic System Potential for Reservoirs in Korea. *Applied Sciences*, 9(3), 395. <http://dx.doi.org/10.3390/app9030395>
- Kumar, A., Purohit, I., and Kandpal, T.C. (2021) Assessment of Floating Solar Photovoltaic (FSPV) Potential in India. In: Bose M., Modi A. (eds) *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Energy Research*. Springer Proceedings in Energy. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5955-6_93
- Lee, N., Grunwald, U., Rosenlieb, E., Mirlletz, H., Aznar, A., Spencer, R., & Cox, S. (2020). Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assessment of technical potential. *Renewable Energy*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.080>
- Ma, C., Wu, R., and Su, H. (2021). Design of floating photovoltaic power plant and its environmental effects in different stages: A review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 13, 062701. <https://doi.org/10.1063/5.0065845>
- Muhammad, A., Muhammad, U., & Abid, Z. (2021). Potential of floating photovoltaic technology in Pakistan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43, 100976. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100976>
- OISE. (2021). Observatorio de Inteligencia del Sector Energético. *Energía Hidroeléctrica*. <https://www.oise.mx/hidraulica>
- Osborne, M. (2017, Julio 27). *First ever hydro-electric and floating solar project operating in Portugal*. PV Tech. <https://www.pv-tech.org/first-ever-hydro-electric-and-floating-solar-project-operating-in-portugal/>
- Patil, S.S.; Wagh, M.M.; Shinde, N.N. A. (2017). A review on floating solar photovoltaic power plants. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(6), 789. <https://www.ijser.org/researchpaper/A-Review-on-Floating-Solar-Photovoltaic-Power-Plants.pdf>
- Petrushevskaja, D. (2021, Junio 28). *Ocean Sun repairing damage to Statkraft's floating solar plant in Albania*. Renewables Now. <https://renewablesnow.com/news/ocean-sun-repairing-damage-to-statkrafts-floating-solar-plant-in-albania-745727/>
- Ramasamy, V. and Margolis, R. (2021). Floating Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2021 Installations on Artificial Water Bodies. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-7A40-80695. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/80695.pdf>
- Rauf, H., Shuzub Gull, M., & Arshad, N. (2020, Diciembre). Complementing hydroelectric power with floating solar PV for daytime peak electricity demand. *Renewable Energy*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.017>
- Redón-Santafé, M., Ferrer-Gisbert, P. S., Sánchez-Romero, F. J., Torregrosa Soler, J. B., Ferran Gozalvez, J. J., & Ferrer Gisbert, C. M. (2014). Implementation of a photovoltaic floating cover for irrigation reservoirs. *Journal of cleaner production*, 66, 568-570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.006>
- Rosa-Clot, M., & Marco Tina, G. (2020). Chapter 8 - Integration of PV Floating With Hydroelectric Power Plants (HPPs). *Floating PV Plants*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817061-8.00008-7>
- Rosa-Clot, M., & Marco Tina, G. (2020). Integration of PV Floating With Hydroelectric Power Plants (HPPs). *Floating PV Plants*, 12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817061-8.00008-7>
- Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 66, 815-824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>
- Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>

- SENER. (2021). *Secretaría de Energía. Balance Nacional de Energía 2020*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf
- Solomin, E., Sirotkin, E., Cuce, E., Selvanathan, S. P., & Kumarasamy, S. (2021, Mayo 11). Hybrid Floating Solar Plant Designs: A Review. *Energies*, 14(2751), 25. MDPI. <https://doi.org/10.3390/en14102751>
- Spencer, R. S., Macknick, J., Aznar, A., Warren, A., & Reese, M. O. (2018, Diciembre 11). Floating Photovoltaic Systems: Assessing the Technical Potential of Photovoltaic Systems on Man-Made Water Bodies in the Continental United States. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04735>
- Statkraft. (2020). *Banja floating solar plant*. Statkraft. <https://www.statkraft.com/about-statkraft/where-we-operate/albania/banja-floating-solar-plant/>
- Statkraft AS. (2021, Junio 3). *First floating solar plant in Albania starts commercial operations*. Intrade Globe Newswire. [globenewswire.com/news-release/2021/06/03/2240945/0/en/First-floating-solar-plant-in-Albania-starts-commercial-operations.html](https://www.globenewswire.com/news-release/2021/06/03/2240945/0/en/First-floating-solar-plant-in-Albania-starts-commercial-operations.html)
- Vinagre, C. J. (2019, Noviembre 6). *Una fotovoltaica sobre un embalse como experimento*. HOY Provincia Cáceres. <https://www.hoy.es/prov-caceres/fotovoltaica-sobre-embalse-20191106214858-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.hoy.es%2Fprov-caceres%2Ffotovoltaica-sobre-embalse-20191106214858-nt.html>
- Vo, T. T. E., Ko, H., Huh, J., & Park, N. (2021). Overview of Possibilities of Solar Floating Photovoltaic Systems in the OffShore Industry. *Energies*, 14(21), 6988. <http://dx.doi.org/10.3390/en14216988>
- World Bank Group, ESMAP, & SERIS. (2018). Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report - Executive Summary (English). *World Bank Group*, 1, 24. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/579941540407455831/floating-solar-market-report-executive-summary>
- Xingua. (2019, Agosto 6). *Brasil inaugura su primera planta solar fotovoltaica flotante*. América economía. <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/brasil-inaugura-su-primera-planta-solar-fotovoltaica-flotante>
- Yousuf, H., Khokhar, M. Q., Zahid, M. A., Kim, J., Kim, Y., Cho, E.-C., ... Yi, J. (2020). A Review on Floating Photovoltaic Technology (FPVT). *Current Photovoltaic Research*, 8(3), 67–78. <https://doi.org/10.21218/CPR.2020.8.3.067>