

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2019

MEMORIA DEL PROYECTO Nº 10

1. DATOS DEL PROYECTO

Título: DEVELOPMENT OF A PHOTOVOLTAIC ENERGY FLOATING SUBSTRUCTURE (PV-FLOAT)

Investigador/a/es responsable/es: Mario López Gallego

Tfno: 985458015

E-mail: mario.lopez@uniovi.es

Otros investigadores:

- Zenaida A. Hernández Garrastacho
- Ángel Martín Rodríguez
- Javier Gracia Rodríguez

Empresas o instituciones colaboradoras:

- TSK
- Reenergy by asturmadi Group
- Desarrollo de Estampación SL (DEYMA)
- Faculty of Engineering of the University of Porto (FEUP)

2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

2.1 Resumen ejecutivo

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento muy importante en las últimas décadas. No obstante, una de sus debilidades es su uso extensivo de superficie terrestre. Por este motivo, surge la necesidad de aprovechamientos sobre superficies de agua, las cuales están infrautilizadas en muchos casos. Esto último es especialmente notable en las masas de agua artificiales o embalses, en los que el uso se limita a la regulación de avenidas o los aprovechamientos hidroeléctricos.

Con el fin de aprovechar la energía solar en masas de agua se utilizan instalaciones flotantes que presentan una gran ventaja: mayor producción eléctrica frente a las versiones terrestres. Esto último es debido al aumento de rendimiento energético de los paneles solares por el efecto refrigerante del agua, que reduce la temperatura operacional de las células fotovoltaicas. Por contra, estas instalaciones flotantes son masivas, intensivas en costes y sus estructuras son muy complejas (Lee et al., 2014). De hecho, uno de los principales retos tecnológicos en el campo es la reducción de costes de las plataformas de soporte (Cazzaniga et al., 2018). Otro reto es la mejora de las metodologías de predicción de la producción, lo cual permitirá valorar la viabilidad de los nuevos proyectos de forma más precisa.

En este marco, PV-Float se centra en el desarrollo de la tecnología solar fotovoltaica flotante, generando conocimiento que redundará en la mejora de la competitividad de empresas asturianas que trabajan en el sector. Con este fin se completó una exhaustiva revisión de las estructuras flotantes para paneles

fotovoltaicos existente atendiendo a criterios como los materiales o los sistemas de refrigeración, entre otros. Además, se ha evaluado el recurso energético solar disponible en todas masas de agua continentales de la España Peninsular y se ha estimado la producción eléctrica mediante sistemas flotantes. Para ello se recopilaron datos geospaciales como las características y las condiciones meteorológicas de todas las masas de agua existentes, información que ha sido tratada utilizando el software Quantum GIS (QGIS). Para todas estas tareas se ha contado con el apoyo y asesoramiento de las empresas colaboradoras, lo cual ha permitido abordar el proyecto desde un punto de vista aplicado.

De los resultados se han podido determinar las masas de agua con mayor potencial para el aprovechamiento solar fotovoltaico a nivel nacional y autonómico. A nivel nacional, la mayoría de las masas corresponden a comunidades autónomas de la mitad sur y este de la Península Ibérica. No obstante, no se deben desdeñar los recursos solares de las masas de agua asturianas, que en términos de potencia media permitirían producciones muy similares a las del resto. En este sentido, se ha concluido que la variabilidad del recurso solar fotovoltaico entre las masas de la Península Ibérica es reducida, siendo la cantidad de superficie disponible el factor más determinante de la producción total. Por este motivo, resulta necesario la exploración de masas de agua más allá de las aguas interiores continentales.

Como colofón del proyecto, se ha arrancado una línea de investigación relacionada con el desarrollo de sistemas flotantes para aprovechamientos solares fotovoltaicos en entornos marinos, los cuales no han sido desarrollados comercialmente todavía. Esta línea se ha iniciado en colaboración con el proyecto europeo PORTOS, que trabaja en busca de soluciones para la autosuficiencia energética de los puertos mediante el uso de energías renovables y en el cual participa la Universidad de Oviedo. En los océanos la cantidad de espacio disponible es inmensamente mayor, lo cual representan una oportunidad muy importante para el sector. Por contrapartida, las estructuras fotovoltaicas flotantes se verán sometidas a unas condiciones ambientales mucho más desfavorables, lo cual pondrá en riesgo la supervivencia de las estructuras.

2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo principal planteado para el proyecto fue desarrollar una estructura flotante para la instalación de paneles fotovoltaicos en masas de agua. La tecnología debía ser competitiva comercialmente teniendo en cuenta los costes de fabricación, instalación, mantenimiento y desmantelamiento. Este objetivo se estableció para 9 meses de trabajo. A fecha de elaboración de la presente memoria (tras los 6 meses de trabajo que han durado la contratación del becario de investigación) se han alcanzado los siguientes objetivos parciales:

- Se han revisado las tipologías de estructuras flotantes para la instalación de paneles fotovoltaicos en masas de agua, atendiendo a los siguientes criterios: la ubicación, flotabilidad y posición relativa a la lámina de agua, la configuración estructural, el sistema de seguimiento o *tracking*, los materiales de la estructura, el sistema de refrigeración y los sistemas de almacenamiento.
- Se ha evaluado el recurso disponible en el total de las masas de agua de la España peninsular (no solamente de Asturias).
- Se ha estimado el potencial de producción eléctrica mediante sistemas PV-FLOAT dispuestos en las masas de agua de la España peninsular y utilizando paneles fotovoltaicos rígidos cristalinos comerciales.
- Se ha realizado una propuesta del aprovechamiento del recurso solar fotovoltaico para el abastecimiento de puertos marítimos mediante sistemas PV-FLOAT.

En definitiva, se ha conseguido una consecución parcial de los objetivos del proyecto que permitirá el proyecto de aprovechamientos mediante tecnología solar flotante en masas de agua de toda España con un conocimiento a priori de la producción y de la tecnología necesaria. El reto actual es avanzar en el desarrollo tecnológico, el cual se ha de culminar con la fabricación de un sistema demostrador por parte de empresas de Asturias bajo el asesoramiento y colaboración de la Universidad de Oviedo.

2.3 Tareas realizadas

T1. Coordinación y gestión del proyecto.

Duración: 6 meses (mes 1 al mes 6).

La herramienta básica de coordinación ha sido el uso de aplicaciones de Office 365 que provee la Universidad de Oviedo, entre las cuales destacan Outlook, Calendar y el control de cambios de Word. Toda la información fue almacenada en OneDrive, por motivos de seguridad y para favorecer una mejor comunicación. Se programaron reuniones mensuales para realizar un seguimiento exhaustivo del trabajo avanzado y fijar objetivos a corto y largo plazo.

T2. Revisión del estado del arte.

Duración: 1 mes (mes 1 al mes 2).

Se realizó una búsqueda avanzada entre la bibliografía que se ha escrito en torno a la temática del proyecto: los sistemas fotovoltaicos flotantes. Para ello se emplearon plataformas especializadas como ScienceDirect, Scopus y Google Scholar. Una vez finalizada la recopilación de información, se seleccionaron y revisaron todas las publicaciones relevantes para el proyecto (más de 30 artículos científico-técnicos). Cabe destacar que se trata de un tipo de tecnología en desarrollo, de poca madurez. De hecho, una búsqueda en ScienceDirect de las palabras clave *floating* y PV (fotovoltaico), arroja tan sólo 12 resultados que incluyan las palabras clave en el título.

T3. Clasificación de tipologías.

Duración: 1 mes (mes 1 al mes 2).

Una vez revisada la documentación técnica relacionada con sistemas flotantes para aprovechamientos fotovoltaicos, se procedió a una clasificación de los sistemas existente. Esta clasificación se realizó atendiendo a los siguientes criterios: rigidez del palen fotovoltaico; localización de la masa de agua, posición del panel respecto a la lámina de agua y tipología estructural. Una vez realizada esta clasificación,

T4. Evaluación del recurso.

Duración: 2 meses (mes 2 al mes 4).

En esta tarea se determinó el recurso energético solar disponible en las aguas continentales de agua de la España peninsular. Para ello se recopilaron datos de dos fuentes principales.

Por una parte, se definieron las masas de agua en base a lo dispuesto en el Texto Refundido de la Ley de Aguas (RDL 1/2001, de 20 de julio). Los datos cartográficos correspondientes a esta información espacial se extrajeron en formato vectorial del portal del Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España.

Por otra parte, se recopilaron los valores de irradiancia correspondientes a cada masa de agua de la base de datos del proyecto Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) de la Comisión Europea. La

cartografía recogida en formato ráster contiene datos sobre la media mensual horaria de irradiación en plano horizontal en $W \cdot m^{-2}$ durante el periodo contenido entre los años 2005 a 2015.

Una vez recopilados los datos de las fuentes anteriores, para estimar el recurso disponible se utilizó la herramienta Quantum GIS (QGIS).

T5. Estimación de la producción eléctrica.

Duración: 2 meses (mes 4 al mes 6).

Una vez determinado el recurso aprovechable bruto, se estimó la producción eléctrica posible mediante tecnología solar flotante sobre masas de agua dulce de la España Peninsular. Para ello, se utilizó la herramienta Quantum GIS, en la cual se implementó un algoritmo basado en la metodología del National Renewable Energy Laboratory de los EEUU (NREL) para estimar la producción eléctrica de un panel solar dado bajo condiciones ambientales específicas. Esta metodología tiene en cuenta los siguientes parámetros: el rendimiento del panel solar, la potencia máxima o potencia pico del panel solar, la irradiancia horizontal en la zona de estudio, la irradiancia en condiciones estándar, el coeficiente de temperatura del panel a su potencia máxima, la temperatura operacional del panel fotovoltaico y la temperatura de referencia en condiciones estándar.

Para definir la temperatura operacional de los paneles fotovoltaicos se tuvo en cuenta la temperatura ambiente diaria y la velocidad del viento. Para ello se han obtenido cartografías en formato ráster de estos dos parámetros a través de la herramienta GES-DISC Interactive Online Visualization ANd aNalysis Interface (Giovanni) de la NASA.

Con los datos de irradiancia y masas de agua citados en la tarea anterior, se calculó la potencia media que desarrollaría una placa solar tipo en cada masa de agua y la energía generada por una instalación que ocupara toda la superficie de la masa de agua.

La potencia media que desarrollaría un panel tipo se calcula con el objeto de comparar el recurso solar en cada ubicación, sin tener en cuenta el tamaño posible de la instalación. La energía generada, añade el parámetro de la superficie de cada masa de agua. De esta manera, se consigue como resultado la máxima energía que se podría generar en cada masa de agua dadas las condiciones climáticas derivadas de su ubicación y su superficie.

T6. Evaluación de las posibilidades de uso para abastecimiento eléctrico a puertos.

Duración: 3 meses (mes 4 al mes 6).

Una vez desarrollada una metodología que permite estimar la producción de los paneles fotovoltaicos flotantes sobre masas de agua y teniendo en cuenta las condiciones ambientales específicas del emplazamiento, se realizó una primera investigación del potencial de la tecnología para masas de agua costeras.

Así, en colaboración con el proyecto europeo PORTOS, en el cual colaboran diferentes puertos del Espacio Atlántico, se realizó una zonificación de la ría de Vigo (uno de los casos de estudio del proyecto) para la instalación de estos sistemas. Con este propósito, se analizaron cuáles serían las superficies óptimas para la implantación de esta tecnología en base a restricciones como: los canales de navegación y acceso a las infraestructuras portuarias, zonas de acuicultura, zonas con protección medioambiental, zonas de baño y otras. Toda esta información cartográfica fue proporcionada en el marco de PORTOS por el Puerto de Vigo.

T7. Divulgación de los resultados.

Duración: 1 mes hasta la fecha de la memoria (mes 6), pero en ejecución todavía.

Para la divulgación de los resultados obtenidos durante este período de trabajo, en este último mes se ha comenzado la redacción y preparación de varios artículos. Un primer documento con los resultados obtenidos hasta la tarea T5 será enviado para publicar en una revista internacional indexada durante el primer semestre del año 2020. Adicionalmente, se presentará una ponencia en la conferencia internacional International Research Conference on Sustainable Energy, Engineering, Materials and Environment (IRCSEEME), que se celebrará en el mes de julio de 2020. En esta se presentarán adicionalmente los resultados de la tarea T6.

2.4 Resultados obtenidos

Tecnología.

Las tecnologías fotovoltaicas flotantes pueden clasificarse siguiendo diferentes criterios, entre los que se destacan los descritos a continuación:

- Tipo de panel: a grandes rasgos, se pueden clasificar los paneles empleados en rígidos o flexibles. Las segundas están todavía desarrollándose y deben su origen a la necesidad de afrontar las acciones propias del oleaje o los fuertes vientos, acciones que, en el caso de las aguas interiores, tienen menos relevancia. Por su parte, los paneles rígidos inorgánicos más habituales son los monocristalinos y policristalinos, ambos compuestos de silicio.
- Localización: estas tecnologías pueden emplazarse tanto en masas de agua continentales como marinas, siendo este último grupo de aplicación práctica residual dadas las dificultades técnicas y económicas que supone. Por lo tanto, la aplicación más viable actualmente de este sistema se localiza, generalmente, en lagos, embalse y balsas mineras.
- Posición respecto al nivel de la lámina de agua: aunque lo más habitual es disponer los paneles en estructuras flotantes de forma que éstos operen completamente secos, existen diseños que emplazan los paneles directamente sobre la lámina de agua, en un estado semisumergido. Esta característica dificulta la adaptación de la inclinación del panel a la latitud geográfica en la que se encuentra ubicado, pero maximiza aún más el rendimiento energético al aumentar la refrigeración del panel, optimizando la temperatura de funcionamiento de este.
- Tipología estructural: las estructuras que soportan los paneles varían sustancialmente tanto en complejidad como en materiales empleados. En cuanto a complejidad se refiere, estas estructuras van desde una enorme plataforma flotante con pasarelas para el mantenimiento donde los paneles se emplazan en su posición óptima e incorporan sistemas de seguimiento y almacenaje hasta estructuras mínimas que sencillamente mantienen los paneles a flote. En cuanto a materiales utilizados, la estructura metálica clásica comparte aplicabilidad con innovadoras estructuras de polietileno de alta densidad.

La mejor forma de aprovechar el recurso solar disponible mediante una tecnología flotante fotovoltaica sería en grandes masas de agua (lagos y embalses). Idealmente, la estructura debería permitir la implementación de un sistema de seguimiento solar, dada la latitud geográfica en la que se encuentra España y, particularmente en Asturias. La tipología de panel a emplear, dada la madurez de la tecnología y que la consideración inicial es proponer un sistema para, principalmente, lagos y embalses, sería del tipo panel rígido, como el que se muestra en la Figura 1. Respecto a la composición del panel, si se desea una elevada eficiencia, deberían utilizarse tecnologías monocristalinas de alta pureza, que usan semiconductores de silicio tipo N. La facilidad o dificultad con la que los paneles puedan ensuciarse, con su consiguiente pérdida de rendimiento, determinaría la necesidad o no de implantar un sistema de limpieza y enfriado aprovechando el agua circundante. En caso de no ser necesaria una limpieza intensa, la

refrigeración de los paneles se realizaría gracias al aire frío que descansa sobre las superficies lacustres y a las transferencias térmicas que se acontezcan entre el panel, la estructura flotante y la masa de agua.

Se debe hacer un especial hincapié en el funcionamiento sinérgico que se podría obtener al implantar estas tecnologías en embalses con aprovechamientos hidroeléctricos. La energía hidroeléctrica es, junto con la eólica, la energía renovable más productiva en España. Cubrir la superficie del embalse permite reducir la evaporación de las aguas, lo que implica tener más recurso hidráulico. Además, los costes de instalación y conexión a la red pueden verse muy reducidos al ya existir una infraestructura para ese fin. Lo mismo sucede con los gastos de mantenimiento, pues se pueden aprovechar ciertos recursos. Por otra parte, un gran número de centrales hidroeléctricas españolas han apostado por hacer uso de sistemas reversibles, que permiten almacenar en cierta medida el recurso y mitigar la variabilidad temporal entre recursos y usos habitual en las energías renovables. El sistema fotovoltaico podría hacer funcionar los sistemas reversibles para almacenar energía eléctrica en forma de energía potencial, maximizando eficiencias y modos de funcionamiento para un mejor aprovechamiento de ambos recursos renovables. Además, al interceptar calor y luz solar, se impide parcialmente la formación de termoclinas en embalses y se inhibe en cierta medida la proliferación de algas, atenuando la eutrofización de masas de agua y los efectos negativos asociados a este proceso.



Figura 1 - Instalación de paneles solares flotantes rígidos en Walden, Colorado (fuente: US Department of Energy).

Potencial solar fotovoltaico flotante.

Una vez determinada la mejor tecnología para la realización de los aprovechamientos, se ha realizado la evaluación del recurso disponible en las masas de agua superficiales de la España Peninsular. Para ello se ha considerado el panel rígido comercial Tallmax Plus TSM-D14A de 375 W de potencia de pico o máxima. A priori, el aprovechamiento del recurso solar en la España peninsular resulta especialmente interesante en las Comunidades Autónomas con mayores superficies de masas de agua disponibles y donde además las potencias medias de los paneles son las más elevadas. Entre todas Comunidades Autónomas destacan principalmente Extremadura y Castilla-La Mancha. No obstante, en comunidades del norte de España como

Asturias donde no sería de esperar un gran potencial de aprovechamiento, las potencias medias de los paneles no son desdeñables.

Una vez calculada la potencia media del panel, se estimó la producción de energía eléctrica que se produciría cubriendo de sistemas fotovoltaicos flotantes la superficie de la masa de agua. Los resultados se muestran en la Figura 2. Los mayores valores se obtuvieron para el embalse de la Serena (Extremadura), donde se alcanzaría una producción de 13.4 TWh al año, seguido del embalse de Almendra (Castilla y León) con 10.1 TWh y el embalse de Alcántara II (Extremadura) con 8.3 TWh.

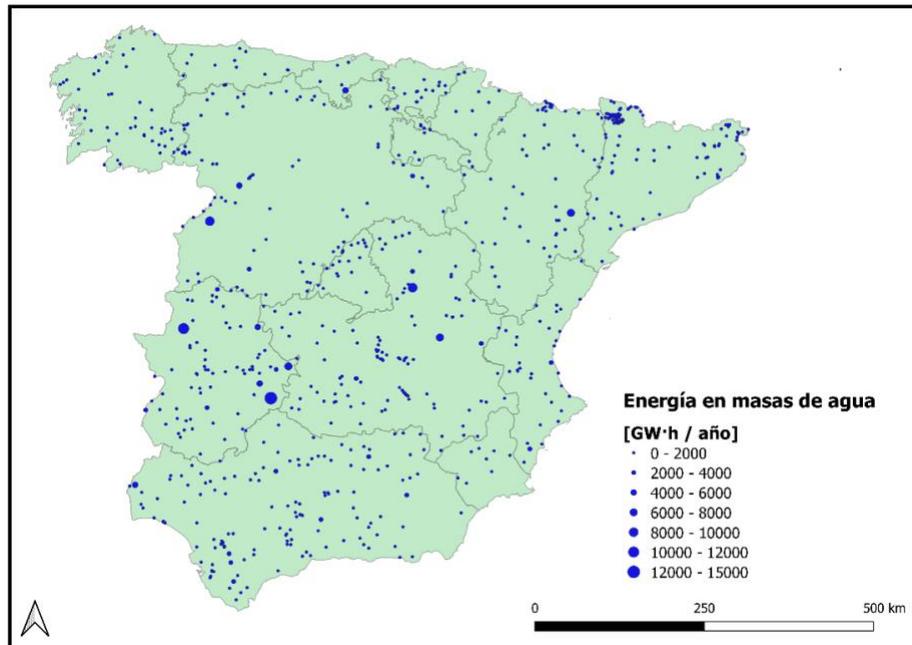


Figura 2 – Estimación de la producción eléctrica mediante sistemas solares flotantes en masas de agua superficiales (fuente: elaboración propia).

En Asturias, todas las masas de agua con una potencial destacable para el aprovechamiento fotovoltaico son embalses, los cuales se recogen en la Tabla 1. Al igual que para el resto de las masas de agua analizadas, la energía eléctrica total que podría ser producida depende principalmente de la superficie total de la masa de agua, mientras que los niveles de irradiación media no afectan demasiado, pues no varían significativamente de una ubicación a otra. La masa de agua en la que mayor generación de energía eléctrica podría obtenerse mediante estos sistemas sería el embalse de Salime, en el río Navia, en el cual podrían producirse hasta un máximo de 591 GWh al año. Le siguen ya a cierta distancia los embalses de doiras y de Arbón, con algo más de 200 GWh al año. En total, la producción eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos en aguas interiores de Asturias superaría los 1.3 TWh al año.

Tabla 1. Estimación de la energía eléctrica producida mediante sistemas solares flotantes si se ocuparan las principales masas de agua superficial del Principado de Asturias (fuente: elaboración propia).

Masa de agua	Energía generada [GW·h/año]
Embalse de Salime	591
Embalse de Doiras	259
Embalse de Arbón	201
Embalses de Tanes/Rioseco	143
Embalse de la Barca	123
Embalse de Trasona	44

Sistemas fotovoltaicos flotantes para abastecimiento eléctrico a puertos.

Por último, se realizó un análisis de las posibilidades del aprovechamiento solar fotovoltaico mediante tecnologías flotantes en puertos marítimos en colaboración con el proyecto PORTOS (portosproject.eu). A Los resultados han permitido determinar las zonas óptimas para llevar a cabo este aprovechamiento en un caso de estudio del proyecto: el Puerto de Vigo (España). Las restricciones consideradas para el estudio se muestran en la Figura 3. En este caso, hay áreas ocupadas para explotación acuícola, zonas reservadas para actividades portuarias y canales de navegación. Además, existen diversas restricciones ambientales, como zonas de especial protección de aves y lugares de interés cultural. Se considera que no todas las restricciones ambientales son contrarias a la instalación de un sistema de paneles fotovoltaicos flotantes. Las zonas óptimas para la implementación de la tecnología se muestran en la Figura 4.

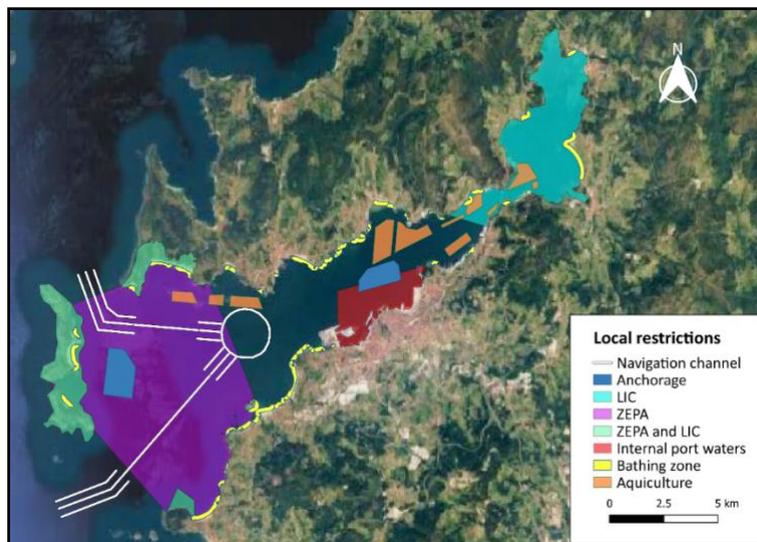


Figura 3 - Restricciones locales en la Ría de Vigo (fuente: elaboración propia).

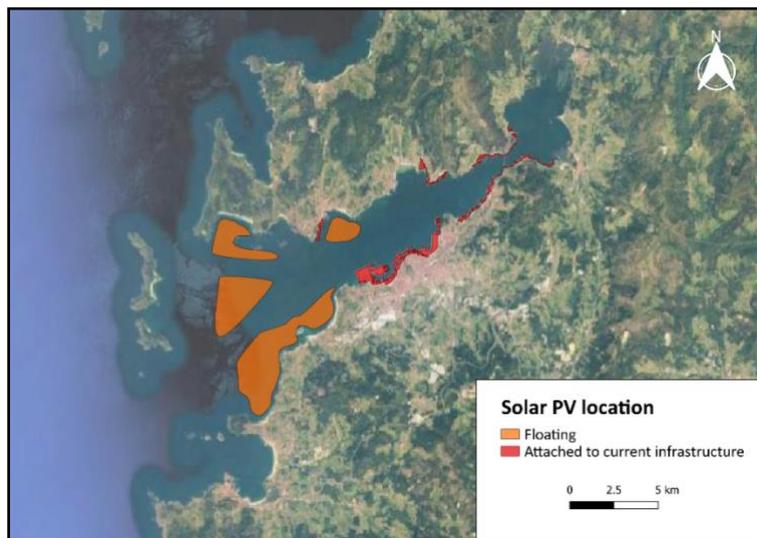


Figura 4 - Localización de posibles instalaciones de paneles fotovoltaicos flotantes (fuente: elaboración propia).

2.5 Trabajos o necesidades futuras

Teniendo en cuenta las diferentes acciones dinámicas a resistir por la estructura flotante fotovoltaica, principalmente referidas a la acción del oleaje, será necesario realizar ensayos de laboratorio en tanque de oleaje, por ejemplo, en las instalaciones de la Faculdade de Engenharia de la Universidade do Porto (FEUP), Portugal. Se cuenta con carta de apoyo al proyecto ya presentada junto a la convocatoria. De igual forma, se ve necesario el desarrollo de un prototipo de fabricación local y llevar a cabo un experimento piloto en una masa de agua ubicada en Asturias, lo que permita ganar experiencia en el diseño de este tipo de estructuras y en la predicción de su producción.

2.6 Divulgación de los resultados (publicaciones, artículos, ponencias...)

La divulgación de los resultados obtenidos en el proyecto se llevará a cabo en diferentes foros, entre los que se encuentran:

- Presentación de ponencia en la Conferencia Internacional: International Research Conference on Sustainable Energy, Engineering, Materials and Environment (IRCSEEME), que se celebrará en el mes de julio de 2020, en la Escuela Politécnica de Mieres, Universidad de Oviedo.
- Publicación de artículo en revista internacional indexada en el Journal Citation Reports (JCR), incluyendo revistas Q1 de la talla de Journal of Fluids and Structures, Renewable Energy o Energy Conversion and Management. Se prevé su presentación durante el primer semestre del año 2020.

3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-19-GIJÓN-1-10	4000.00 €			
Otras fuentes	Referencia proyecto/contrato				
Estudiante con ayuda a la investigación	Nombre	Fernando Soto Pérez			
	Tareas	Dirigido por el investigador principal y el resto del equipo del proyecto, el estudiante ha participado activamente en las siguientes tareas: <ul style="list-style-type: none"> - Coordinación y gestión del proyecto. - Revisión del estado del arte. - Clasificación de tipologías. - Evaluación del recurso. - Estimación de la producción. - Evaluación de las posibilidades de uso para abastecimiento eléctrico a puertos. - Divulgación de los resultados. 			
	Período	6 meses			

4. OTROS PROYECTOS Y CONTRATOS CON FINANCIACIÓN EXTERNA

Título del proyecto/contrato	PORTOS – PORTS TOWARDS ENERGY SELF-SUFFICIENCY
Referencia	UE-18-PORTOS-784
Investigador/a/es principal/es	Mario López Gallego
Equipo investigador	Mario López Gallego Eduardo Álvarez Álvarez Rubén Claus Fernández
Periodo de vigencia	01/04/2019 – 31/03/2022
Entidad financiadora	Unión Europea - Programa Espacio Atlántico - Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Cantidad subvencionada	2,625,180 €

