



Actividad 2

- **Análisis del sector y de la cadena de valor vinculados a la eólica offshore y a la energía undimotriz.**

ENTREGABLE III: “Informe de análisis de las cadenas de valor vinculadas a la eólica offshore y undimotriz”

RESUMEN EJECUTIVO / EXECUTIVE SUMMARY

En el entregable III, "*Informe de análisis de las cadenas de valor vinculadas a la eólica offshore y undimotriz*", se proporciona una visión estructurada y global sobre las principales actividades industriales, productos (o componentes) y servicios que conforman las cadenas de valor vinculadas tanto a la eólica offshore como a la undimotriz.

El conocimiento sobre los diferentes sistemas para el aprovechamiento de la energía identificados en las etapas previas, ha permitido listar los equipos y componentes que los configuran e identificar las tecnologías involucradas en su fabricación.

La definición de ambas cadenas de valor ha servido de base para la preparación del entregable IV, "*Informe de capacidades de explotación de la industria gallega en eólica offshore y undimotriz*".

The deliverable III, "*Analysis of value chains related to offshore wind and wave power*," provides a structured overview of the main industrial activities, products (or components) and services that make up the value chains of both sectors.

The different systems for energy conversion identified in the previous stages have allowed listing either their main equipments or components. It also allowed identifying the related technologies for their manufacture.

The definition of both value chains was the basis for the development of the Deliverable IV, "*Operational capabilities of the Galician industry in offshore wind and wave power*".

Índice de Contenidos

1. CADENA DE VALOR EÓLICA OFFSHORE.....	5
1.1. PRINCIPALES ACTIVIDADES EMPRESARIALES	5
1.1.1 PROYECTO	6
Promoción y Estudios previos	6
Diseño de parques eólicos offshore	6
Gestión y planificación del proyecto.....	7
1.1.2 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE COMPONENTES DEL PARQUE OFFSHORE	7
Turbina	7
Cimentación.....	9
Conexión a red eléctrica.....	9
Telemando y telecontrol	10
Procesos industriales auxiliares.....	10
1.1.3 INSTALACIÓN	10
Servicios portuarios de premontaje.....	11
Instalación offshore	11
1.1.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	12
Operación de parques eólicos offshore.....	12
Mantenimiento de parques eólicos offshore	12
1.1.5 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS PARA INSTALACIÓN, O&M.....	13
Construcción naval.....	13
Otros equipos	14
1.1.6 ACTIVIDADES HORIZONTALES DE SOPORTE	14
Servicios de I+D e ingeniería	14
Ensayos y certificación	15
Servicios de asesoría	15
2. CADENA DE VALOR DE LA ENERGÍA EÓLICA UNDIMOTRIZ.....	16
2.1. PRINCIPALES ACTIVIDADES EMPRESARIALES	18
2.1.1 ESTUDIO DE LA UBICACIÓN Y DEL RECURSO.....	18
2.1.2 DISEÑO.....	19
Diseño de los parques marinos.....	19
Diseño de los convertidores	19
2.1.3. FABRICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES.....	21
Fabricación y Distribución de los convertidores.....	21
Fabricación y Distribución de elementos auxiliares e infraestructura de evacuación.....	21
2.1.4. INSTALACIÓN	22
2.1.5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	26
2.1.6. ACTIVIDADES HORIZONTALES	27

Índice de Figuras

Figura 1: Cadena de valor de la energía eólica offshore	5
Figura 2: Componentes torre eólica	8
Figura 3: Flujograma del proceso de instalación	10
Figura 4: Instalación de turbina offshore	11
Figura 5: Principales sistemas de acceso y grado de accesibilidad de los sistemas existentes...	13
Figura 6: Componentes básicos de un parque marino	16
Figura 7: Eslabones de la cadena de valor vinculada a la energía undimotriz	17
Figura 8: Características principales del Proyecto BIMEP.	24

Índice de Tablas

Tabla 1: Etapas de la instalación de la infraestructura marina BIMEP.	25
--	----

1. CADENA DE VALOR EÓLICA OFFSHORE

Durante las dos próximas décadas se espera que la industria de las energías renovables vinculadas al mar y muy especialmente la eólica offshore alcancen un nivel de madurez que lleve asociado una gran actividad económica, con una importante necesidad de generación de nuevos productos, servicios y procesos en los diferentes sectores industriales asociados.

El objetivo principal de este informe es identificar las principales actividades que conforman la cadena de valor de la eólica offshore, desde la fase de proyecto hasta la de operación y mantenimiento. Se destacan en el documento las oportunidades de negocio, en claro crecimiento, que se abren para el amplio sector marítimo, donde astilleros, industria auxiliar, armadores y puertos, etc., así como empresas de servicios (ingeniería, formación, certificación, seguros, etc.), tienen una gran oportunidad que no se debe desaprovechar.

1.1. PRINCIPALES ACTIVIDADES EMPRESARIALES

En la Figura 1 se representa la cadena de valor de la energía eólica marina desagregada en seis fases principales:



Figura 1: Cadena de valor de la energía eólica offshore. Fuente: EVE

Las actividades que comprenden cada una de las anteriores fases constituyen la cadena de valor, que se detallará en los siguientes apartados¹:

¹

1.1.1 PROYECTO

La fase de proyecto comprende todas las actividades que tienen lugar previamente a la instalación del parque, excluyendo la fabricación de sus componentes.

Promoción y Estudios previos

- Promoción de parques eólicos offshore: El promotor es responsable último de la viabilidad técnica, económica y medioambiental de la construcción y operación del parque. Entre sus funciones propias de promoción se encuentran la obtención de todos los permisos, licencias y autorizaciones para la construcción y operación de parques eólicos offshore en las zonas declaradas aptas para ello.
- Análisis socioeconómico: Análisis diversos para la identificación y valoración del marco regulatorio, legislativo y financiero de áreas candidatas al emplazamiento de un parque eólico offshore.
- Evaluación de impacto ambiental: Comprende la realización de diversos estudios y sondeos en campo para valorar el potencial impacto del parque offshore en su entorno a lo largo de todo su ciclo de vida e identificar los medios para mitigarlo. Entre los tipos de impactos a valorar se incluyen: ornitología, ecología marina, actividades pesqueras, seguridad del tráfico marítimo, efectos en costa, ruido e impacto visual.
- Estudios técnicos de soporte: El desarrollo del proyecto requiere una serie de informaciones de partida, que apoyarán las decisiones de diseño y pueden también ser útiles para el estudio de impacto ambiental. En este sentido se incluyen las tareas de monitorización y evaluación del recurso eólico (incluyendo la instalación en campo de torres anemométricas), estudios geotécnicos para apoyar el diseño de las cimentaciones, batimetrías del fondo marino, adquisición de datos oceanográficos (mareas, oleaje, corrientes, calidad del agua, etc.).

Diseño de parques eólicos offshore

- Diseño básico de parques eólicos offshore: Definición de la configuración general del parque offshore, incluyendo el diseño de su “lay out” y la elaboración de la especificación funcional de sus distintos elementos, como base para su diseño de detalle y para la selección de la turbina.
- Ingeniería de obra civil: Definición del proyecto de obra civil marina y terrestre.
- Diseño cimentación: Diseño de detalle del sistema de cimentación a partir de las directrices recogidas en el diseño básico del parque (incluye diseño estructural, simulación de condiciones de trabajo y esfuerzos, elección de materiales y condicionantes para los procesos de fabricación, etc.).

- Diseño conexión a red eléctrica: Definición del trazado eléctrico desde el parque a tierra y especificación de todos los equipos y componentes necesarios en la instalación eléctrica.

Gestión y planificación del proyecto

- Dirección y gestión del proyecto: Planificación, coordinación y ejecución del proyecto de construcción del parque eólico en su conjunto o de partes del mismo (fórmula más usual actualmente), asumiendo el riesgo y la financiación del mismo.
- Diseño logístico: Actividades relacionadas con la definición y planificación de la logística asociada a la construcción de parques eólicos offshore, considerando aspectos como la estructura y requerimientos para la cadena de suministro, los procesos y medios de transporte y almacenaje, la logística portuaria, etc.

1.1.2 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE COMPONENTES DEL PARQUE OFFSHORE

Turbina

1. Torre:

- Diseño e integración de turbina: Diseño conceptual e ingeniería de detalle de la turbina como conjunto, el desarrollo de las especificaciones para el diseño y fabricación de sus distintos componentes, y la integración final de los mismos.
- Estructura de torre: Elemento que soporta la góndola y eleva el rotor a la distancia precisa. En el offshore precisan de mayor envergadura. Tiene una altura media de unos 40m aunque ya llegan a más de 100m. Usualmente son fabricadas por secciones de acero curvado de 20-30 metros.
- Elementos interiores: Sistemas de elevación para acceso de personal y componentes y recambios, y accesorios interiores de la torre como barandillas, plataformas metálicas, escaleras de mano, etc. y sistema de alumbrado.
- Elementos de unión y fijación: Elementos cuya función consiste en unir las secciones entre sí y éstas a las cimentaciones. Las secciones se unen entre sí mediante bridas de acero laminado en caliente y pernos en su unión interior y se fijan a las cimentaciones mediante pernos de acero templado.



Figura 2: Componentes torre eólica. Fuente: Sodercan/Europraxis

No existen prácticamente instalaciones, salvo los astilleros que reúnan los criterios requeridos para abordar este tipo de construcción: cercanía al mar, capacidad de elevación, tecnología constructiva, etc.

2. Rotor:

- Palas: Las palas captan el viento y transmiten la potencia al buje, generalmente son fabricadas con una combinación de resina epoxy y fibra de vidrio. Los últimos desarrollos de palas offshore alcanzan los 60 metros y cerca de 20 toneladas de peso.
- Buje: Es una pieza cuya función es mantener las palas en posición mientras giran por lo que es sometido a una gran tensión. Se fabrica normalmente a partir de fundición de hierro esferoidal grafitica.
- Sistema pitch: Sistema que ajusta el grado de apertura de las palas para aprovechar mejor el viento. Puede ser electromecánico, formado por el sistema de control eléctrico de apertura, un motor de bajo par, y un encoder o posicionador. O electrohidráulico, formado por la unidad central de suministro y control hidráulico y el brazo hidráulico.
- Sistema yaw: Sistema electromecánico que orienta el giro rotacional de la nacelle sobre la torre. Está compuesto por 6 elementos fundamentales: el controlador de posición, el motor de bajo par de giro, un sistema de engranajes para la transmisión de movimiento, un encoder de posicionamiento, un rodamiento y la carcasa exterior del sistema.

3. Góndola:

- Carcasa de la góndola: Pieza exterior que sustenta y protege los componentes del aerogenerador. Se componen de dos piezas estructurales, un cono que protege el buje del

rotor, varias trampillas para el acceso al interior de la góndola y una estación meteorológica. En su mayoría son fabricados en resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio

- Cuerpo principal: Elemento estructural cuya función es soportar el peso de la góndola. Generalmente se fabrica en acero o mediante fundición nodular.
- Caja de transmisión (multiplicadora): Conjunto que convierte la energía mecánica de alto par y baja velocidad del rotor en la energía mecánica de bajo par y alta velocidad apta para el generador. Se compone principalmente de carcasa exterior, sistema de engranajes, ejes de transmisión, y sistema de acoplamiento.
- Generador: Convierte la energía mecánica en eléctrica. A diferencia de un generador estándar debe ser capaz de trabajar con la energía mecánica fluctuante suministrada por palas. Pueden ser síncronos, asíncronos o permanentes
- Convertidor: Convierte la energía continua en alterna para su conexión a red Transformador Convierte la energía a altos voltajes adecuados a la red (de 690V a 20.000V).
- Sistema de frenado: Permite regular y detener el giro del rotor. Se compone de dos sistemas independientes. Un sistema de parada hidráulico que se compone de: una unidad hidráulica de presión, un sistema de freno de disco y una unidad de bloque hidráulico y un sistema mecánico de bloqueo en el rotor para mayor seguridad.

Cimentación

- Cimentación: Supone la base y anclaje de las torres al suelo marino. Incluye una pieza de transición sobre la que se coloca la torre y una estructura de acero u hormigón fijada al fondo marino.

Conexión a red eléctrica

- Equipo eléctrico offshore: Equipos diversos (celdas, cuadros, etc.) y aparellaje eléctrico integrados en los aerogeneradores o en la subestación offshore que capta la energía producida en el parque para intensificarla y enviarla a la costa.
- Cable submarino inter array: Cables de conexión internos del parque eólico. Suelen tener una potencia de 33-36 kV, a pesar de que algunos operadores están considerando la posibilidad de utilizar cables de 66kV.
- Cable submarino export: Cables de conexión de la subestación eléctrica offshore a la subestación onshore. Suelen tener una potencia de 100 - 220 kV. Actualmente se utilizan los cables HVAC pero la tendencia es a utilizar HVDC.
- Equipo eléctrico onshore: Equipos y aparellaje eléctrico incluidos en la subestación terrestre a la que se evacúa la energía de los parques eólicos offshore para su posterior distribución.

Telemando y telecontrol

- Controlador principal de la turbina: Controlador central encargado de la operación de toda la turbina (curva de potencia, sistema pitch, etc.).
- Monitorización de condiciones de la turbina: Sistema independiente respecto del controlador central responsable del control de fallos en la turbina mediante el uso de sensores.
- SCADA control de parque: Sistema de gestión del parque que aglutina todos los sistemas y componentes del mismo permitiendo las actividades de operación y mantenimiento.
- Estación meteorológica: Sistema de recopilación y predicción de datos meteorológicos de interés para la operación del parque.

Procesos industriales auxiliares

- Procesos industriales auxiliares: Subcontratistas de procesos complementarios como tratamientos térmicos y superficiales, uniones y soldaduras, etc.

1.1.3 INSTALACIÓN

La ubicación de los parques, las complejas condiciones de trabajo en el entorno marino y la dimensión de los elementos a transportar y montar hacen crítica la fase de instalación, tanto es así, que esta etapa representa alrededor del 5-10% del total del mercado offshore. El principal coste del proceso de instalación de una turbina es el alquiler de los barcos necesarios para la logística y la instalación, ya que su precio alcanza los 150.000\$ por día.

Típicamente, el ratio de instalación es de 1 turbina cada día y medio, aunque este ratio (y los costes) puede aumentar debido a las condiciones marinas o meteorológicas.

En la siguiente figura se muestra el flujograma del proceso de instalación.

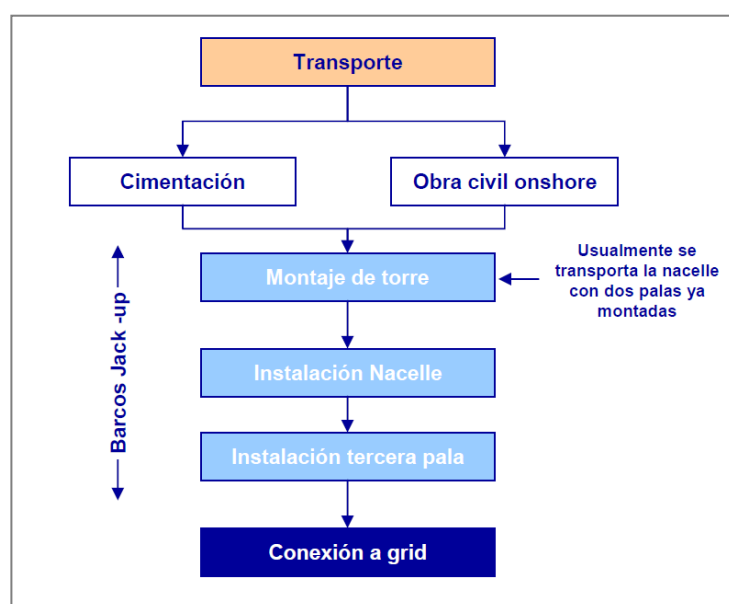


Figura 3: Flujograma del proceso de instalación. Fuente: Sodercan/Europraxis

En la industria se están presentando tres necesidades en relación con la instalación. En primer lugar, la instalación de las turbinas se ha realizado tradicionalmente en un único proceso de montaje, pero debido al importante aumento del tamaño de los aerogeneradores se hace necesario el desarrollo de nuevos métodos más económicos. La segunda necesidad tiene que ver con las grúas –embarcadas en barcos- con las que se instalan las turbinas. Las turbinas de mayor tamaño podrían requerir mayores grúas de las que están disponibles en la actualidad. Por último, comentar que esta actividad actualmente está limitada a un número reducido de empresas, en posesión de los barcos adecuados².

Servicios portuarios de premontaje

- Espacio portuario: Puertos con condiciones adecuadas y disponibilidad de espacio para acopio, almacenamiento y/o premontaje de elementos de la instalación offshore. Los espacios portuarios son necesarios como centro de operaciones para las propias tareas de instalación del parque (situados por lo tanto en sus cercanías) y, en su caso, dependiendo del tipo de piezas, como puntos logísticos y de suministro de la cadena de valor (con un radio de cobertura geográfico mayor).
- Servicios portuarios: Oferta de servicios auxiliares en puerto para apoyo a la instalación y operación de parques offshore (grúas, alquiler de embarcaciones, servicios de transporte, etc.).

Instalación offshore

- Instalación de turbina y cimentación: Servicios de transporte desde puerto y montaje final en el emplazamiento marino de los elementos de la turbina y su cimentación. Requiere manipulación compleja de piezas de grandes dimensiones y trabajos de perforación en el fondo marino por lo que es necesaria la utilización de barcos específicamente diseñados o adaptados para estas operaciones.



Figura 4: Instalación de turbina offshore. Fuente: E.ON

² Clúster Marítimo Español (CME), “Oportunidades de negocio de la energía eólica marina en el sector marítimo español”, 2012

- Instalación de cable submarino: Servicios de instalación de cable submarino requiriendo para ello barcos especiales “cable plough” y equipos para trabajos submarinos (ROVs, etc.)
- Instalación subestación eléctrica offshore: Servicios de instalación y conexión de subestaciones eléctricas offshore que requieren de la combinación de capacidades de instalación eléctrica con las propias del trabajo en medio marino y submarino.
- Instalación eléctrica en tierra: Servicios tradicionales de instalación eléctrica para la parte del proyecto en tierra, que incluye la instalación de cable, equipos de conexión a red en media o alta tensión, y en su caso, la instalación de subestación eléctrica en tierra.
- Obra civil: Construcción de infraestructuras integradas o asociadas al parque eólico tanto en mar como en tierra (trabajos de adecuación del fondo marino para cimentación, edificios de control en tierra, muelles de carga, etc.).
- Servicios auxiliares a la instalación: Servicios diversos de apoyo a las actividades de instalación; seguridad marítima, grúas, plataformas, equipos de manipulación de piezas, buzos y trabajos submarinos, etc.

1.1.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Durante el funcionamiento operativo de los parques eólicos offshore se requieren actividades y servicios que deben conjugar capacidades de la eólica tradicional con otras asociadas al entorno marino.

Operación de parques eólicos offshore

- Servicios de operación del parque: Servicios de control del sistema (órdenes de marcha y paro, gestión de alarmas, etc.), monitorización de los activos del parque, gestión y reporting de indicadores de funcionamiento, coordinación y planificación de las tareas de mantenimiento y reparación, etc.
- Servicios meteorológicos: Servicios de información de predicciones meteorológicas (vientos, mareas, etc.) para facilitar la gestión de parques eólicos offshore.
- Reciclaje y desmantelamiento: Actividades relativas a la etapa de fin de vida de parques eólicos offshore incluyendo servicios y estudios en los ámbitos de planificación, logística, desmontaje, reciclaje y recuperación medioambiental.

Mantenimiento de parques eólicos offshore

- Mantenimiento y reparación de equipo mecánico: Servicios de inspección, mantenimiento y reparación de elementos mecánicos de parques eólicos offshore.
- Mantenimiento y reparación de equipo eléctrico: Servicios de inspección, mantenimiento y reparación de elementos eléctricos de parques eólicos offshore, incluyendo tanto los sistemas

eléctricos integrados en el aerogenerador, los equipos de subestaciones offshore y el tendido eléctrico submarino.

- Servicios auxiliares para las tareas de operación y mantenimiento: Servicios para el transporte de materiales y acceso del personal de operación y mantenimiento al parque offshore (barcos de servicio, botes hinchables, flotas de helicópteros, etc.).



Figura 5: Principales sistemas de acceso y grado de accesibilidad de los sistemas existentes. Fuente: Sodercan

1.1.5 DISEÑO Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS PARA INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Construcción naval

- Barcos de sondeo y prospección: diseño y construcción de barcos utilizados para la realización de los estudios previos de impacto ambiental y para el reconocimiento y análisis del fondo marino con objeto de preparar la instalación de parques eólicos offshore.
- Barcos para instalación de turbina y cimentación: diseño y construcción de barcos utilizados para el transporte y montaje en emplazamiento marino de las turbinas y cimentaciones de parques offshore. Si bien hasta ahora se han utilizado barcos del sector petróleo y gas, la tendencia apunta hacia barcos específicamente diseñados para el segmento eólico offshore.
- Barcos para instalación de cable submarino: Diseño y construcción de barcos para instalación de cable submarino. En la actualidad existen en el mundo alrededor de 20 barcos especializados en esta actividad que cubren las necesidades de diferentes industrias (comunicaciones, petróleo y gas, etc.)

- Barcos y plataformas de apoyo: Diseño y construcción de barcos auxiliares para labores de instalación de parques offshore. En esta categoría se incluyen barcasas “jack up”, barcasas, pontoons y plataformas
- Otras embarcaciones auxiliares: Diseño y construcción de embarcaciones destinadas al apoyo de los trabajos del resto de barcos, realizando tareas de suministro de herramientas y materiales y transporte de personal.

Otros equipos

- Sistemas de acceso: Diseño y fabricación de soluciones para facilitar el acceso seguro de personas al aerogenerador desde los barcos de transporte.
- Equipos para trabajos submarinos: Diseño, fabricación y/o comercialización de equipos y materiales utilizados en tareas subacuáticas, fundamentalmente asociados a la instalación del cable: equipos para la preparación del fondo marino (limpieza, allanado, cavado de zanjas, etc.), ROVs (Remotely Operated Vehicles), etc.
- Dispositivos de sondeo y balización: Diseño, fabricación y/o comercialización de dispositivos para la señalización y balizamiento de parques offshore y para actividades de sondeo y prospección marina y meteorológica durante el diseño, instalación y operación de parques offshore.

1.1.6 ACTIVIDADES HORIZONTALES DE SOPORTE

Una oferta de conocimiento y servicios tecnológicos en las disciplinas clave para el desarrollo de la eólica offshore:

Servicios de I+D e ingeniería

- Nuevos conceptos: Desarrollo de nuevos conceptos que permitan optimizar el negocio de la energía eólica offshore (Modelos bipala, eje vertical, cimentaciones para mayor profundidad etc.)
- Nuevos materiales: Capacidades relacionadas con el desarrollo de nuevos materiales para el entorno marino, esto es, con mayor resistencia a la corrosión, materiales ligeros que soporten gran peso, etc.
- Diseño estructural: Servicios de desarrollo de diseño estructural enfocados a obtener una mayor robustez y reducción de peso (torres, etc.).
- Lubricantes y recubrimientos: Actividades relacionada con el desarrollo de recubrimientos y lubricantes para proteger frente a la corrosión marina y mejorar el comportamiento tribológico de los elementos del aerogenerador.
- Procesos: Capacidades de aplicación de métodos y procesos alternativos más rentables y fiables que sustituyan a los ya existentes.

- Simulación y modelos CFD: Servicios que permiten analizar distintas variables como las cargas dinámicas, la estabilidad de la frecuencia y la tensión, así como todo tipo de variaciones aerolásticas y aerodinámicas.
- Algoritmos de control: Actividades relacionadas con el desarrollo de algoritmos de control avanzados que permitan optimizar las técnicas de control de cargas y fatigas.
- Sensórica avanzada: Desarrollo de sistemas de sensórica avanzada para optimizar el control y medición de las diversas variables (SODAR, LIDAR).
- Microelectrónica: Capacidades de desarrollo de microelectrónica, especialmente con el fin de monitorizar a través de sensores los parámetros de control básicos: temperatura, activación para mantenerlos en su rango óptimo, etc.
- Electrónica de potencia: Actividades relacionadas con la electrónica de potencia. Este campo va cobrando especial importancia con la incorporación de sistemas de evacuación HVDC.
- Control satélite: Servicios relacionados con el control remoto mediante el uso de satélites. Sistemas de monitorización remota por satélites.
- Medio ambiente marino: Capacidades de evaluación ambiental con el fin de minimizar el impacto de las actividades offshore y evitar accidentes relacionados con el ecosistema.

Ensayos y certificación

- Ensayos y certificación: Ensayos en canales hidrodinámicos, servicios de ensayo y certificación de componentes en ámbitos como corrosión, fatiga, etc.

Las sociedades de clasificación han publicado estándares de diseño y calidad específicos para la eólica marina, tanto en su conjunto como para los principales componentes del mismo. Su actuación en este caso, es la de verificar que el fabricante o instalador cumple con dichos estándares. Por su parte, las entidades certificadoras procedentes del campo terrestre, realizan esa misma función a partir de otros estándares reconocidos.

Servicios de asesoría

- Asesoría legal y de tramitación de permisos: Servicios de asesoramiento legal y regulatorio, y de tramitación de permisos
- Asesoría financiera y de negocio: Servicios de project finance, aseguradoras, planes de negocio, prevención de riesgos laborales, acuerdos de venta de electricidad, etc.
- Asesorías de formación, recursos humanos, marketing y comunicación: Servicios de contratación y gestión de personal, formación (técnica, PRL, etc.) o específicos de marketing y comunicación para el sector marítimo.

2. CADENA DE VALOR DE LA ENERGÍA EÓLICA UNDIMOTRIZ

Este apartado tiene por objetivo presentar las actividades económicas implicadas en la cadena de valor asociada a la puesta en marcha de un parque marino, que no contempla únicamente la fabricación y distribución de equipos y componentes de instalación, sino que se amplía a servicios relacionados con la puesta en marcha, explotación y mantenimiento de dichos parques.

La estructura que presenta de manera común un parque marino para el aprovechamiento de la energía undimotriz, consta de tres partes principales, correspondientes al convertidor, la infraestructura de evacuación y la subestación, aunque puede variar ligeramente en función del tipo de convertidor seleccionado.



Figura 6: Componentes básicos de un parque marino. Fuente: Clúster Energía, EVE-Ente Vasco de la Energía

Para llevar a cabo un proyecto de esta envergadura se precisa de una cadena de valor bien definida. En este caso se ha establecido en base a 5 etapas: 1) Estudio de la ubicación y del recurso. 2) Diseño. 3) Fabricación y distribución. 4) Instalación. 5) Operación y mantenimiento.



Figura 7: Eslabones de la cadena de valor vinculada a la energía undimotriz. Fuente: Clúster Energía, EVE-Ente Vasco de la Energía

2.1. PRINCIPALES ACTIVIDADES EMPRESARIALES

2.1.1 ESTUDIO DE LA UBICACIÓN Y DEL RECURSO

En la primera etapa de la cadena de valor, Estudio de la ubicación y del recurso, generalmente participan consultoras e ingenierías con competencias en impacto ambiental, prospección marina y/o terrestre y evaluación del recurso natural.

Consta de las siguientes actividades:

- Evaluación del recurso: Estudios del entorno marino (potencial de las olas, corrientes, etc.) orientados a seleccionar la localización óptima para la implantación del parque marino.
- Prospección marina y terrestre: Estudios de caracterización del suelo marino (profundidad, relieve, materiales, etc.) para la cimentación, definición de la ruta del cableado y posicionamiento de los convertidores.
- Estudios de impacto y monitorización ambiental: Estudios para evaluar el impacto potencial en el Medio Ambiente causado por la instalación y operación del parque, y análisis de las medidas para su eliminación o mitigación.
- Equipo auxiliar en estudios de ubicación y de recurso: Fabricación, distribución o alquiler de equipo auxiliar en estudios de ubicación.

Desde un punto de vista genérico, el proceso para definir las ubicaciones óptimas contempla las siguientes subactividades:

- Obtención de los datos de parámetros oceanográficos a gran escala (altura de las olas, período de pico espectral, dirección media de la procedencia y de la velocidad del viento, etc.). Estos parámetros se consiguen a través de las redes de medida disponibles, tanto de medidas reales como de resultados de modelización numérica.

Entre las bases de datos de interés disponibles en España destacan: REDEXT (medidas procedentes de la *Red de Boyas de Aguas Profundas - Red Exterior*), REDCOS (medidas procedentes de la *Red de Boyas Costeras de Puertos del Estado*), SIMAR44 (series temporales de parámetros atmosféricos y oceanográficos procedentes del modelado numérico realizado por *Puertos del Estado*).

- Realización de estudios de propagación hasta la costa mediante modelización numérica, para obtener información con más detalle en la zona de interés.

Los modelos más recientes son los denominados de tercera generación, entre los más utilizados por la comunidad científica destacan WAM, WAVEWATCH III y TOMAWAC para aguas profundas y SWAN, STWAVE y MIKE21 Spectral Wave (SW) para aguas superficiales.

- Definición de las zonas de interés y realización de mapas del recurso para lo que se deben tener en cuenta factores como la distancia a puertos, distancia a las líneas eléctricas de distribución, así como factores ambientales y socioeconómicos. Una herramienta muy empleada en esta etapa son los Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS y GVSig).
- Medición directa de las olas y otros parámetros oceanográficos en el área identificada. Para llevar a cabo esta etapa se emplean generalmente dos tipos de equipos:
 - Boyas: equipos sofisticados y completos de medición de parámetros oceanográficos situados en la superficie. Existen boyas escalares de tipo Waverider (Datawell) y boyas direccionales de tipo Triaxys (Axis).
 - Sensores de fondo: equipos de medición que se colocan en el fondo marino. Algunos ejemplos comerciales son: MIDAS DWR de Valeport o TWR de RBR.

2.1.2 DISEÑO

Le sigue la etapa de Diseño, tanto de los parques marinos como de los convertidores y sistemas de generación energética.

Diseño de los parques marinos

- Dirección del proyecto: Planificación, organización y gestión de los recursos para la puesta en marcha del parque marino.
- Ingeniería civil: Ingeniería asociada a la construcción de infraestructuras ya sean terrestres (por ejemplo, situación de los convertidores en el rompeolas) o marinas (cimentación en casos puntuales de convertidores).
- Diseño de evacuación eléctrica submarina y terrestre: Diseño de la infraestructura de evacuación eléctrica desde la interconexión con el convertidor hasta tierra, tanto en lo que se refiere a componentes como a la ruta submarina.

Diseño de los convertidores

- Diseño conceptual: Definición conceptual del convertidor undimotriz (mecanismos de extracción de la energía de las olas, sistema PTO, sistema de amarre y fondeo, etc.).
- Diseño de componentes estructurales: Ingeniería de detalle asociada al diseño de la estructura del convertidor y su estabilización en el mar.
- Ingeniería mecánica: Ingeniería mecánica de detalle asociada al diseño del convertidor.
- Ingeniería eléctrica: Ingeniería eléctrica de detalle asociada al diseño del convertidor.
- Ingeniería electrónica y de comunicaciones: Ingeniería electrónica y de comunicaciones de detalle asociada al diseño del convertidor.

- Ingeniería naval e hidrodinámica: Actividades relacionadas con los análisis hidrodinámicos y ensayos en canales.

Dentro de esta etapa de diseño, existen una serie de parámetros esenciales marcados por la definición conceptual del convertidor undimotriz que engloba mecanismos de extracción de la energía de las olas, sistema PTO (Power Take Off), sistema de amarre y fondeo, etc. Durante la fase de diseño se emplean modelos computacionales de dinámica de fluidos (CFD), que permiten simular los flujos multifásicos. Destacan programas como ANSYS-FLUENT, STAR-CCM+ de CD-Adapco, OpenFOAM, etc.



El diseño de componentes estructurales se centra en la ingeniería de detalle asociada al diseño de la estructura del convertidor y a su estabilización en el mar, principalmente relacionada con la selección de materiales y procesos de fabricación de la envolvente del convertidor, así como del amarre y fondeo.

En lo referente a la ingeniería mecánica asociada al diseño del convertidor, se centra principalmente en el desarrollo del sistema PTO, ya sea turbina de aire (convertidores OWC), turbina de agua (rebose), mecánico, hidráulico o mediante generador lineal (cuerpos oscilantes).

Entre los programas empleados en el diseño de las estructuras y componentes de los convertidores destacan: Solid Works 2D/3D CAD/ CAE Software CAE soldadura, SYSWELD, Cosmos Works, ABAQUS, Sistema de CAD/CAM.

En cuanto a la ingeniería electrónica y de comunicaciones llevada a cabo en el diseño de dispositivos de energía marina, está relacionada principalmente con la electrónica de potencia, automatismos, control y comunicaciones. Algunos ejemplos de componentes empleados son inversores, protecciones, sistemas SCADA, sensores, data loggers, etc.

2.1.3. FABRICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES

Un tercer eslabón es el correspondiente a la Fabricación y Distribución de los convertidores, los elementos auxiliares y la infraestructura de evacuación de la energía. Esta actividad incluye desde empresas de calderería, suministradores de equipos mecánicos, hasta fabricantes de equipos eléctricos, electrónicos y de comunicaciones.

Fabricación y Distribución de los convertidores

- Abastecimiento de materiales: Suministro o distribución de materiales principalmente para la estructura del convertidor (acero, hormigón, composites, etc.)
- Procesos de fabricación de elementos estructurales: Procesos para la fabricación de la estructura global del convertidor y componentes concretos (mecanizado, calderería, soldadura, transformación de plástico).
- Equipos mecánicos: Los equipos mecánicos utilizados en los dispositivos de energía undimotriz hacen referencia a turbinas (hidráulicas o de aire), canalizaciones y válvulas, sistemas hidráulicos, componentes neumáticos, sistemas de transmisión mecánica y elementos auxiliares.
- Equipos eléctricos: Fabricación o distribución de equipos y componentes eléctricos como generadores (síncronos, de inducción, lineales), baterías, etc.
- Equipos electrónicos y de comunicación: Fabricación o distribución de equipos y componentes electrónicos como equipos de electrónica de potencia o elementos de comunicación.
- Componentes de otros sistemas auxiliares: Fabricación o distribución de componentes de otros sistemas auxiliares como refrigeración, lubricación, aislamiento térmico, tratamientos, revestimientos o pinturas anticorrosión o anti-fouling.
- Construcción naval y montaje: Tareas de montaje y ensamblaje del convertidor. Fundamentalmente llevada a cabo en astilleros.

Fabricación y Distribución de elementos auxiliares e infraestructura de evacuación

Para finalizar con el tercer eslabón, Fabricación y Distribución, no se deben olvidar los elementos auxiliares y la infraestructura de evacuación de la energía:

- Fabricación y distribución de elementos auxiliares:
 - o Elementos de fijación, cadenas: equipos para el amarre y fondeo de la estructura ya sea fija al suelo o flotante (cadenas, pesos, elementos de fijación, etc.)

- Elementos flotantes para balizamiento, defensas: boyas de balizamiento, boyas de marcaje, defensas.
- Fabricación y distribución de estructuras de evacuación:
 - Componentes submarinos de evacuación de energía: cableado submarino (estático, dinámico, umbilical), sistemas de interconexión y cajas de conexiones.
 - Equipos terrestres de T&D eléctrica: transformadores, interruptores, aislamientos, etc.

2.1.4. INSTALACIÓN

Secuencialmente se lleva a cabo la fase de Instalación de los elementos constituyentes del parque, etapa en la que participan instaladoras de cables submarinos y otras empresas relacionadas con las actividades auxiliares de puesta en marcha (instaladoras de máquinas y equipos industriales y de instalaciones eléctricas).

Esta fase abarca las siguientes actividades:

- Instalación del captador y elementos auxiliares, logística marina y terrestre: Actividades de logística de transporte terrestre y marítimo del convertidor y elementos auxiliares.

Entre los servicios que ofrecen las empresas especializadas en esta actividad son las de transporte de cargas especiales, utilización de embarcaciones específicas para la instalación en mar del convertidor o alquiler de grúas.

- Instalación de cable submarino: Instalación y enterramiento del cableado submarino.

Esta actividad es llevada a cabo, generalmente por empresas que disponen de embarcaciones especiales de apoyo, ROV (Remotely Operated Vehicle) y equipos específicamente diseñados para realizar este servicio.



El equipo ROV es un robot submarino no tripulado, el cual está enlazado con un centro de control en la superficie por medio de un cable de múltiples conexiones llamado umbilical.

- Obra civil terrestre y marina: Las actividades relativas a la obra civil terrestre y marina corresponden a la puesta en marcha de las infraestructuras de soporte, ya sean terrestres (localización de convertidores en rompeolas) o marinas (cimentación en casos puntuales de convertidores).
- Otras actividades auxiliares a la puesta en marcha: Hacen referencia a servicios como la seguridad marítima, navegación, posicionamiento o predicción meteorológica.

- Equipo auxiliar en tareas de instalación: Fabricación, distribución o alquiler de equipo auxiliar.

Las etapas que contemplan el proceso de instalación de un parque de energía undimotriz varían en función del tipo de convertidor utilizado. Con el objetivo de especificar en mayor detalle las fases de instalación, se ha tomado como referencia el proyecto BIMEP (Biscay Marine Energy Platform), infraestructura marina para la investigación de la energía procedente de las olas. Los detalles técnicos que la caracterizan se muestran en la siguiente figura:

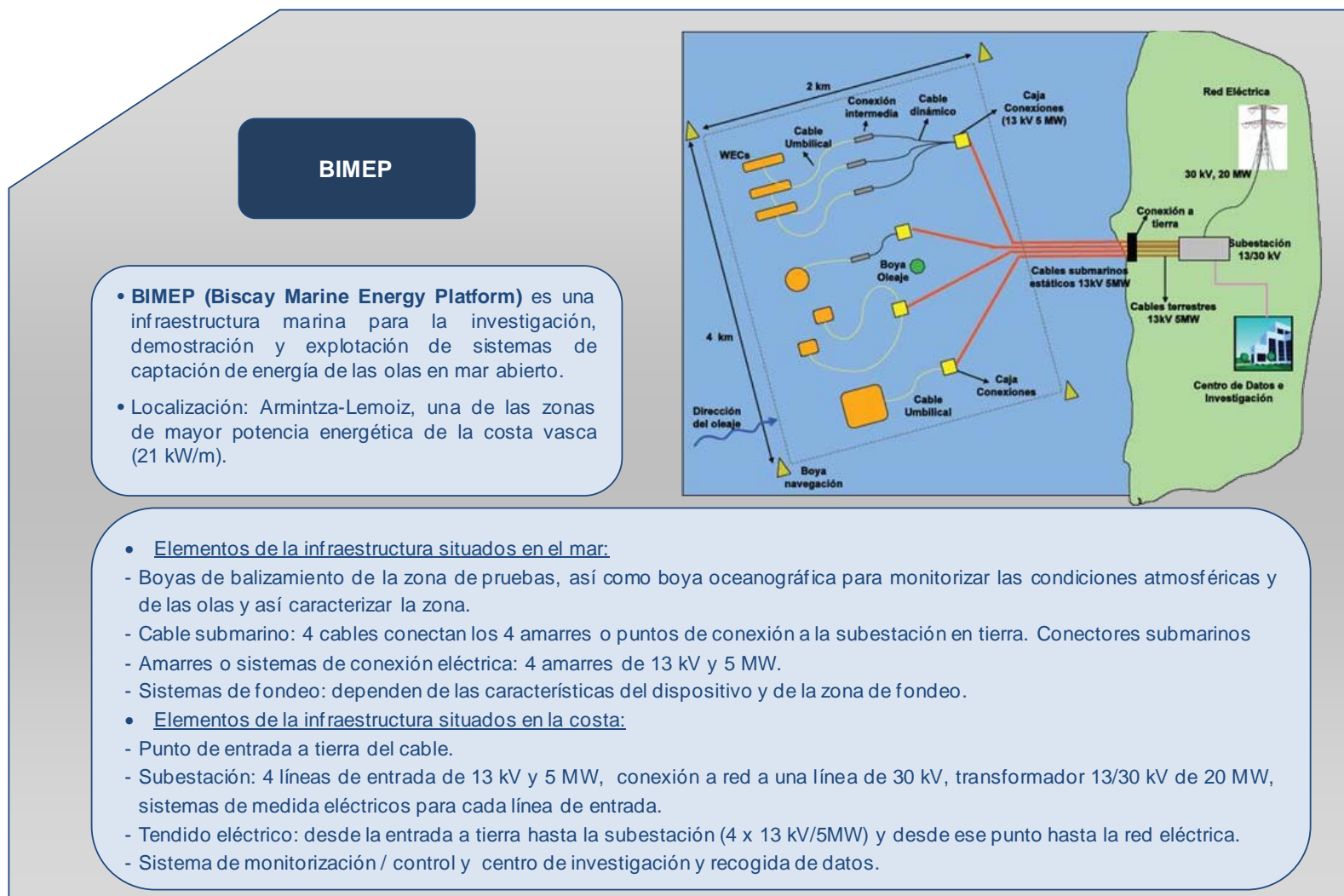


Figura 8: Características principales del Proyecto BIMEP. Fuente: EVE (Ente Vasco de la Energía).

En la siguiente tabla se muestran las diferentes etapas de la instalación de la infraestructura marina BIMEP:

Etapas de la instalación	Características
 <p>Transporte y fondeo del convertidor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Un barco remolca el convertidor de energía undimotriz hasta la zona de fondeo seleccionada dentro del área circular que corresponde a cada amarre y que está balizada con una boya de marcado. Posteriormente se realiza el fondeo del convertidor.
 <p>Instalación cable umbilical - punto interconexión - cable dinámico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se reflota el extremo libre del cable dinámico, en el cual está el punto de interconexión. Se conecta el cable umbilical del convertidor con el cable dinámico y se sitúa en el fondo nuevamente.
 <p>Instalación de la caja de conexiones y de los cables estáticos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Varios cables dinámicos confluyen en una caja de conexiones (13 kV 5 MW) que transmite la energía a través de un único cable estático (13 kV 5 MW). Este cable transporta la energía eléctrica por el fondo marino y antes de llegar a tierra es enterrado hasta alcanzar la costa.
 <p>Instalación de la arqueta y de los cables terrestres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Posteriormente una arqueta (Beach manhole) es la encargada de llevar a cabo la transición del cable submarino al cable terrestre (13 kV 5 MW).
 <p>Instalación de la subestación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El cable terrestre (13 kV 5 MW) conducirá la energía hasta la subestación (13/30 kV), donde se eleva el nivel de tensión y se inyecta la energía en la red eléctrica general.

Tabla 1: Etapas de la instalación de la infraestructura marina BIMEP. Fuente: EVE (Ente Vasco de la Energía).

2.1.5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Una vez el parque entra en funcionamiento, participan empresas de servicios de operación, inspección y mantenimiento de las instalaciones, encargadas de ejecutar las siguientes actividades:

- Servicios de operación: Actividades englobadas en la operación del parque como control, gestión de la integridad y fiabilidad, prevención, etc.
- Servicios de inspección, reparación y mantenimiento: Actividades englobadas correspondientes a inspección, mantenimiento preventivo, reparación de equipos y componentes, etc.
- Predicción de la sucesión de las olas y meteorológica: Servicios de predicción de la sucesión de las olas para estimar el potencial de la energía producida y las ventanas de operación.
- Desmantelamiento, reciclaje y tratamiento de residuos: Actividades relacionadas con el fin de vida del parque como desmantelamiento de los convertidores, reciclaje, tratamiento o reutilización de los materiales.
- Equipo auxiliar en tareas de operación y mantenimiento: Fabricación, distribución o alquiler de equipos auxiliares en tareas de operación.

Dentro de los servicios de operación y mantenimiento del parque se incluyen actividades como el control de la planta, gestión de la integridad y fiabilidad, análisis del rendimiento, implantación de un sistema de prevención, inspección (mediante ROVs y buzos), revisiones / reparaciones y sustituciones de componentes, etc.

Es importante tener en cuenta el lugar donde se realizan las operaciones de mantenimiento: onshore u offshore. Tanto el acceso del personal como la reparación del dispositivo resulta aparatosa en zonas offshore y se encuentra condicionada por el estado del mar. En la costa la reparación y mantenimiento es más eficaz ya que se puede realizar de un modo más exhaustivo.

La frecuencia y duración de las operaciones de mantenimiento se establecen haciendo un balance entre las operaciones previstas (llevadas a cabo cuando el estado del mar está en calma) y las que no están planeadas (el período de ejecución puede ser mayor si las condiciones del mar no son las idóneas e implican un cierto riesgo).

En esta fase de operación y mantenimiento es necesario realizar una predicción de las olas y meteorológica para estimar el potencial de energía producida. Para ello, se lleva a cabo un monitoreo de las citadas condiciones y se estudian tanto el funcionamiento como comportamiento del dispositivo.

Entre los diferentes cambios que se pueden llevar a cabo en los convertidores de energía undimotriz durante esta etapa, destacan:

- Cambios en el tamaño del dispositivo, incrementando la energía extraída mediante el aumento de la escala del dispositivo.
- Cambios en la calibración del generador: si se encuentra calibrado muy alto para absorber pequeñas cantidades de energía sería ineficiente, mientras que si está calibrado muy bajo no será capaz de captar las condiciones más extremas y energéticas de las olas. Es importante mantener un balance de manera que el dispositivo genere una cantidad razonable de electricidad de manera continuada.

Por otra parte, los tipos de embarcaciones necesarias para realizar las operaciones de inspección, mantenimiento y reposición suelen ser barcos remolcadores, pequeñas embarcaciones de apoyo, ROVs, etc. Estas embarcaciones pueden ser propias, en el caso de un parque marino, alquiladas o directamente subcontratar los servicios de mantenimiento e inspección.



2.1.6. ACTIVIDADES HORIZONTALES

Entre las actividades horizontales destacan los servicios de I+D, así como los de ensayo y certificación, dado el nivel de madurez de la tecnología:

- Ensayo y certificación: Ensayos en canales hidrodinámicos, servicios de ensayo y certificación de componentes en ámbitos como corrosión, fatiga, etc.
- Infraestructuras y servicios de I+D: Infraestructuras y servicios destinados a la investigación y desarrollo de convertidores en sus distintas fases, laboratorio, prototipo y precomercialización.
- Promotores de parque marinos: Obtención de financiación, permisos, licencias y autorizaciones que permitan la construcción y puesta en servicio de un parque marino y sus infraestructuras de evacuación
- Asesoría legal y de tramitación de permisos: Servicios de asesoramiento legal y regulatorio, y de tramitación de permisos.
- Asesoría financiera y de negocio: Servicios de project finance, aseguradoras, planes de negocio, prevención de riesgos laborales, acuerdos de venta de electricidad, etc.

- Asesorías de formación, recursos humanos, marketing y comunicación: Servicios de contratación y gestión de personal, formación (técnica, PRL, etc.) o específicos de marketing y comunicación para el sector marítimo.
- Servicios navales y otros servicios auxiliares: Otros servicios de soporte como alquiler de naves, alquiler de buzos, etc.