

# ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS OPS EN EL PUERTO DE CASTELLÓN

Diciembre 2019





# ÍNDICE

---

**01 | Contexto**

---

**02 | Escenario objetivo**

---

**03 | Análisis de tráfico**

---

**04 | Estimación de demanda**

---

**05 | Diseño e instalación OPS**

---

**06 | Estudio económico y ambiental**

---

**07 | Conclusiones**

---

## 01 | CONTEXTO

A día de hoy, el tráfico marítimo constituye una fuente especialmente importante de contaminación atmosférica, lo que supone una amenaza para la salud pública y el medio ambiente en las zonas costeras y ciudades portuarias. Además de CO<sub>2</sub>, los buques emiten elevados niveles de óxidos de azufre (SOX), óxidos de nitrógeno (NOX) y material particulado (PM), contaminantes altamente peligrosos para la salud humana.

Este problema, unido a las regulaciones internacionales cada vez más estrictas sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos, está obligando al sector del transporte marítimo a analizar la manera de reducir este impacto.

Una posibilidad es el uso de la tecnología OPS (Onshore Power Supply), también conocida como “Cold Ironing”. Esta técnica consiste en la conexión a la red general eléctrica de los buques atracados en puerto (Figura 1). Esto les permite apagar sus motores auxiliares, que de otra manera tendrían que utilizar para generar la energía requerida para satisfacer sus distintas necesidades a bordo. De esta manera, el OPS constituye para el transporte marítimo una alternativa a la quema de combustible durante su estancia en puerto, permitiendo reducir de forma significativa el ruido y las emisiones de los gases contaminantes.

El alcance de este estudio comprende un análisis completo de viabilidad para la implantación de un sistema OPS a buques en el Puerto de Castellón. Para ello, Inova Labs aplicó su metodología CLEOPS. Esta herramienta permite dar respuesta a las principales cuestiones que es necesario abordar para la implementación de sistemas OPS. A través de un estudio detallado, CLEOPS permite buscar la mejor alternativa técnica para cada caso particular, así como valorar la viabilidad económica del proyecto y el impacto ambiental asociado. Se han recibido datos de atraques del año 2018 y parte del 2019, que serán utilizados para obtener un año tipo en los cálculos.



### **Análisis de la demanda potencial:**

- Caracterización de la demanda.
- Número, frecuencia y duración de los atraques.
- Estimación de la energía demandada.



### **Estudio técnico de implementación OPS:**

- Análisis de alternativas, elección sistema óptimo.
- Dimensionamiento eléctrico.



### **Análisis económico-financiero del proyecto:**

- Simulación de coste eléctrico (mercado eléctrico).
- Rentabilidad del sistema conjunto (TIR, VAN, etc).



### **Análisis de impacto ambiental:**

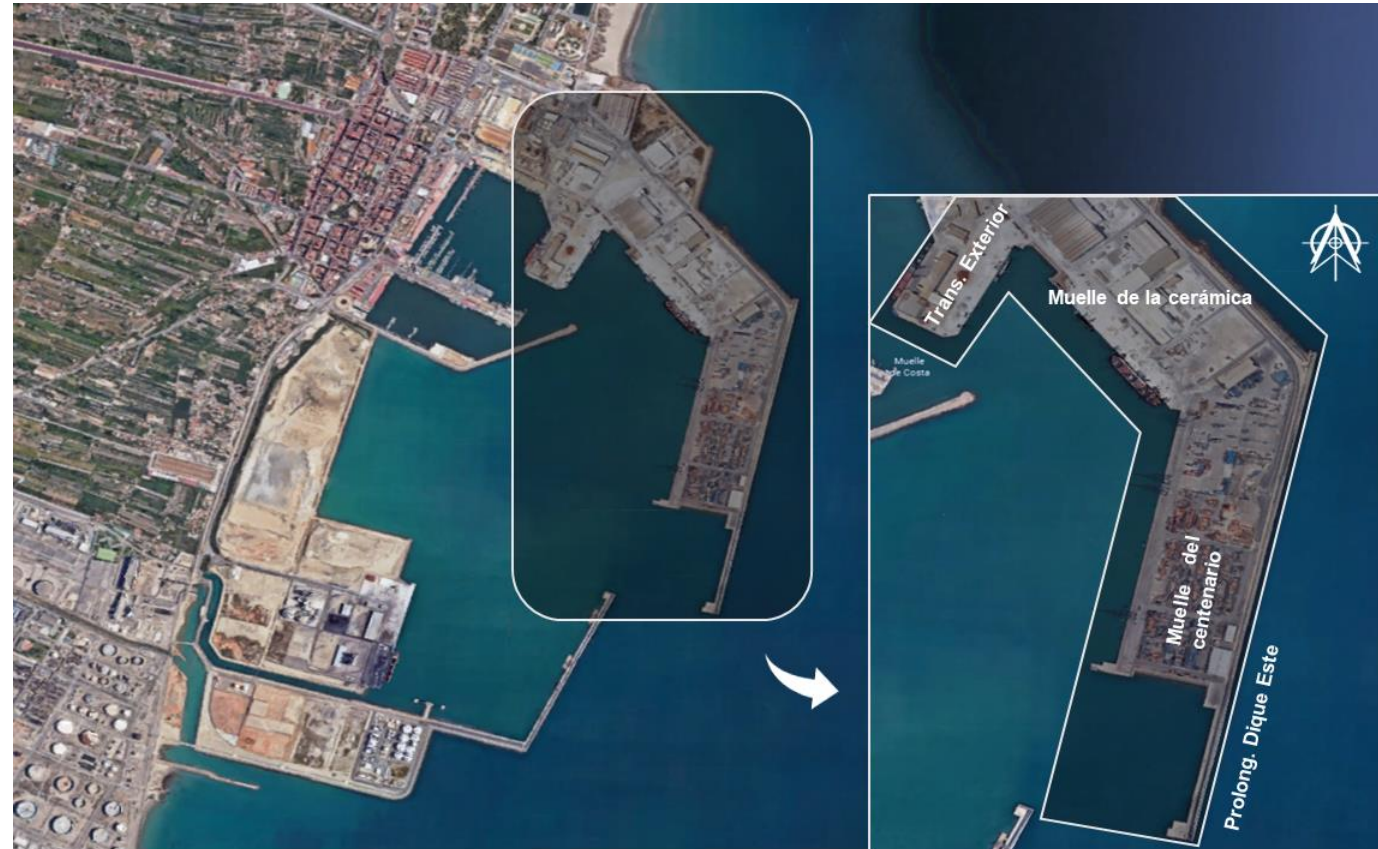
- Reducción de emisiones.
- Reducción de ruido.
- Eficiencia Energética.

## 02 | ESCENARIO OBJETIVO

Tras una primera visita realizada por Inova Labs a las instalaciones del puerto, se definieron de manera conjunta con la Autoridad Portuaria los muelles objetivo para la instalación de las tomas OPS.

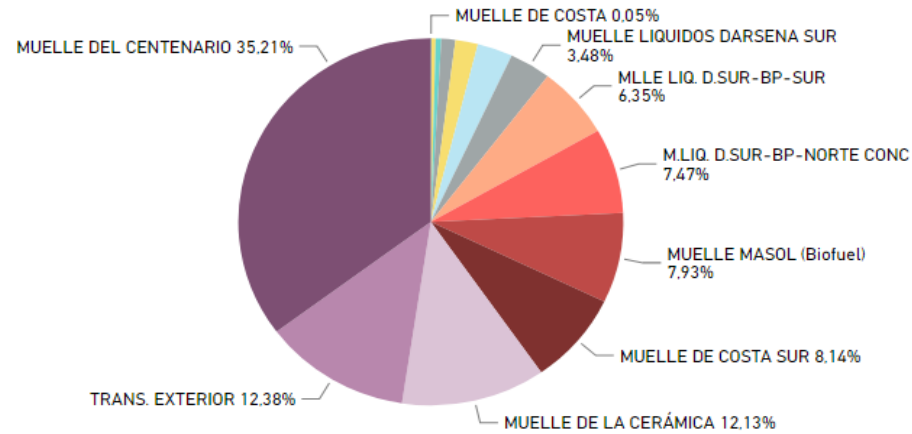
Se escogió la zona formada por los siguientes muelles:

- Traversal exterior
- Muelle del Centenario
- Muelle de la Cerámica
- Prolongación Dique Este



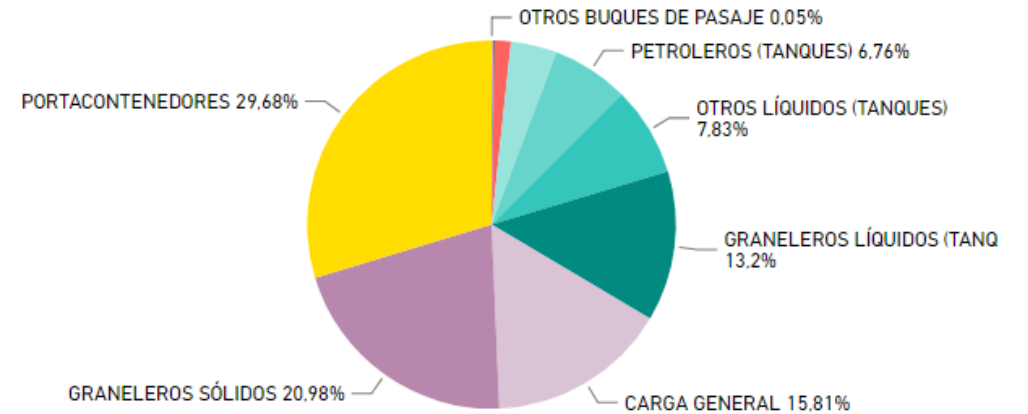
# 03 | ANÁLISIS DE TRÁFICO

Con el escenario objetivo definido, se realizó un completo análisis del tráfico:



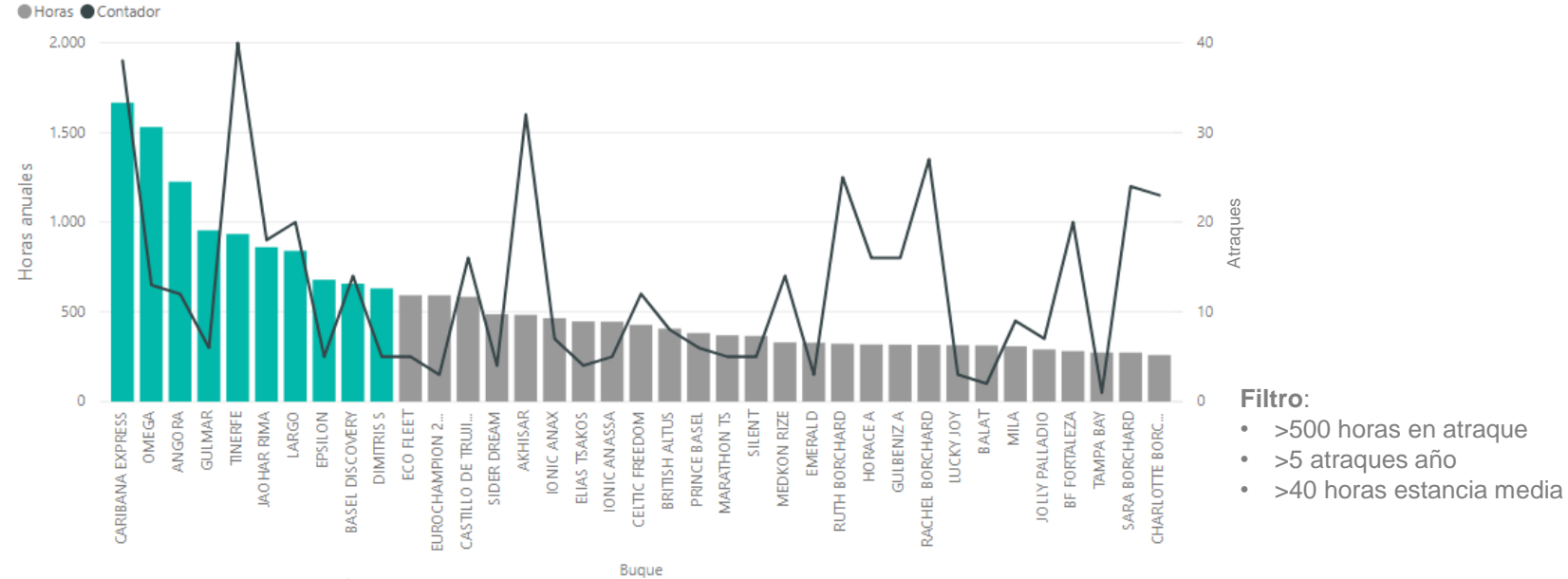
Entre los muelles objetivo (Muelle del Centenario, Trans. Exterior y Muelle de la cerámica) acumulan el **60% de los atraques** del puerto, destacando el Muelle del Centenario con más de un tercio de los atraques realizados.

Los buques que principalmente atracan en el Puerto de Castellón son Portacontenedores (30%), Graneleros Sólidos (21%) y buques de Carga General (16%), acumulando un **total del 67% de los atraques**, que además se realizan en su práctica totalidad en el escenario objetivo.

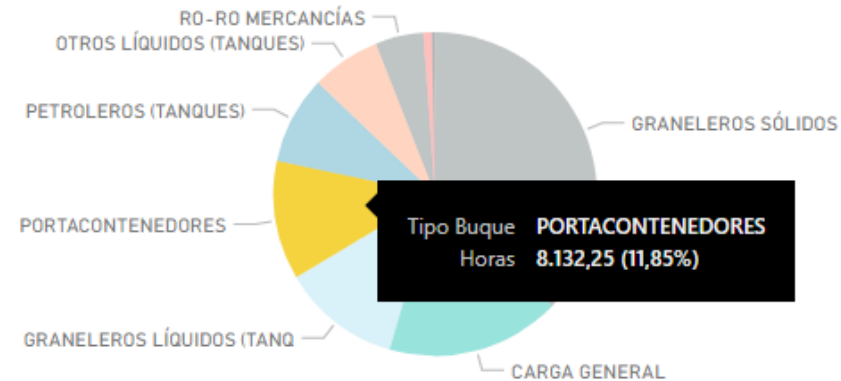


# 03 | ANÁLISIS DE TRÁFICO

Para conectarse a un sistema OPS **los buques deben estar adaptados** para poder realizar la conexión. Actualmente, ninguno de los barcos que atracan en el Puerto de Castellón cuenta con uno de estos sistemas. Por ello, se ha realizado un análisis con filtro para establecer aquellos que serían **más idóneos** para ser adaptados y atraquen en la zona objetivo:



A pesar de que **la categoría portacontenedores** cuenta con el mayor número de buques que atracan en el Puerto de Castellón, con una mercancía de 200.000 TEU anuales, no se han encontrado buques que cumplan los criterios para ser considerados atractivos en el estudio. **El número de horas totales en el puerto es de 8.132 horas anuales**, por lo que debido al creciente número de buques portacontenedores adaptados, **se consideró la opción de que existan tomas para los mismos.**



## 04 | ESTIMACIÓN DE DEMANDA

Se realizó una estimación de la **demanda eléctrica de los buques objetivo** cuya finalidad residió en realizar el correcto dimensionamiento de la instalación:

Buque	Potencia(kW)	Energía anual (kWh)
CARIBANA EXPRESS	1.425	2.373.474
OMEGA	3.058	4.678.790
ANGORA	2.612	3.200.015
GULMAR	3.089	2.948.723
JAOHAR RIMA	886	762.076
LARGO	1.372	1.152.223
EPSILON	2.760	1.873.613
BASEL DISCOVERY	1.395	916.292
DIMITRIS S	3.213	2.026.716

Además, el mismo análisis también se realizó para buques **portacontenedores** siendo la **demanda total mayor a la de los buques objetivo**, y la potencia también:

DEMANDA ELÉCTRICA TOTAL DE BUQUES OBJETIVO EN EL PUERTO DE CASTELLÓN	
Demanda media anual (MWh)	21.603
Potencia media demandada por buque (kW)	2200
Potencia media requerida en tierra (kVA)	2750
Potencia máxima demandada por buque (kW)	3213
Potencia máxima requerida en tierra (kVA)	4016

DEMANDA ELÉCTRICA TOTAL DE BUQUES PORTACONTENEDORES EN EL PUERTO DE CASTELLÓN	
Demanda media anual (MWh)	37.643
Potencia media demandada por buque (kW)	6.382
Potencia media requerida en tierra (kVA)	7.977
Potencia máxima demandada por buque (kW)	24.538
Potencia máxima requerida en tierra (kVA)	30.672

# 04 | ESTIMACIÓN DE DEMANDA

Además, se llevó a cabo un estudio de la simultaneidad de los atraques, pues a mayor cantidad de buques atracados a la vez, mayor será la potencia necesaria para realizar la instalación, resultando:

Muelle de la cerámica



Cargueros y Graneleros

	Buques atracados simultáneamente		
	1	2	3
Potencia máxima (kW)	3.213	6.302	6.587
Horas	4.073	726	29
% tiempo anual	84,36%	15,04%	0,60%
% ocupación anual	46,50%	8,29%	0,33%
Energía (kWh)	9.977.353	4.017.625	191.014
% Energía total	<b>70,33%</b>	28,35%	1,32%

Muelle del Centenario



Ro-Ros

	Buques atracados simultáneamente	
	1	2
Potencia máxima (kW)	1.425	2.850
Horas	2.301	128
% tiempo anual	94,73%	5,27%
% ocupación anual	26,27%	1,46%
Energía (kWh)	3.239.608	357.942
% Energía total	<b>90,05%</b>	9,95%



Portacontenedores

	Buques atracados simultáneamente			
	1	2	3	4
Potencia máxima (kW)	12.680	24.538	21.096	18.026
Horas	3.734	2.164	457	45
% tiempo anual	58,34%	33,81%	7,14%	0,70%
% ocupación anual	42,63%	24,70%	5,22%	0,51%
Energía (kWh)	17.778.832	5.647.169	667.604	45.408
% Energía total	<b>73,65%</b>	23,39%	2,77%	0,19%

Opción recomendada

**1 toma**  
86,65 % de cobertura

**1 toma**  
90% de cobertura

**1 toma**  
74% de cobertura

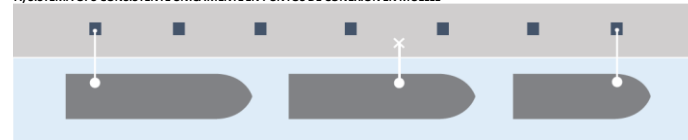


# 05 | DISEÑO E INSTALACIÓN OPS

Existen diferentes formas de realizar la conexión entre el buque y la red de puerto, dependiendo entre otras cosas del tipo de buque a conectar y la disponibilidad de espacio en puerto.

Se han propuesto **dos formas** de realizar esta conexión, de acuerdo a lo prescrito en la norma ISO 80005-1, según el tipo de buque.

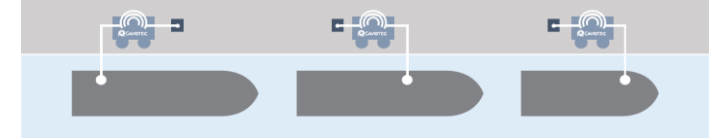
A) SISTEMA OPS CONSISTENTE ÚNICAMENTE EN PUNTOS DE CONEXIÓN EN MUELLE



**Grúa en ubicación fija** con conexión automatizada, ideal para conexión de buques Ro-Ro. La grúa conecta directamente el barco a la red.



B) SISTEMA OPS CONSISTENTE EN PUNTOS DE CONEXIÓN EN MUELLE Y GRÚA MÓVIL



**Carro de conexión con arquetas** distribuidas a lo largo del puerto. El carro realiza la interconexión entre las arquetas y el buque. Se recomienda para buques portacontenedores y graneleros.



# 05 | DISEÑO E INSTALACIÓN OPS

El sistema recomendado en el puerto de Castellón fue el compuesto por 3 tomas, para las que el suministro eléctrico a buques debe cumplir con los siguientes requisitos, cumpliendo también de este modo lo prescrito en la norma ISO 80005-1:

		Voltaje	Potencia	Tipo	Frecuencia
Muelle de la cerámica	 Cargueros y Graneleros	6,6 kV	2.137 kVA	Arquetas de conexión y carro	50 y 60 Hz
Muelle del Centenario	 Ro-Ros	11 kV	4.626 kVA	Grúa en punto fijo	50 y 60 Hz
	 Portacontenedores	6,6 kV	7.500 kVA	Arquetas de conexión y carro	50 y 60 Hz

## 05 | DISEÑO E INSTALACIÓN OPS

Respecto a la procedencia de la energía, se han contemplado 4 escenarios, dependiendo del sistema utilizado para proveer de energía eléctrica las tomas OPS.

### **Alternativa 1: Suministro OPS tradicional desde la red eléctrica de tierra.**

Se realiza la conexión directamente a la red eléctrica terrestre de manera que el buque puede consumirla. La energía debe ser comprada por el Puerto y este a su vez venderla a los buques.

Los costes de instalación suelen ser elevados debido a la dificultad de llevar la elevada potencia directamente al muelle.



### **Alternativa 2: Suministro OPS en base a energía renovable generada in situ.**

Los buques se conectan de igual manera que en las instalaciones OPS tradicionales, pero la energía proviene de generadores renovables instalados en el muelle.

La principal ventaja es que el puerto vende su propia energía a los buques libre de emisiones y puede consumir el excedente, pero por contra esta generación es volátil y su coste inicial elevado.



### **Alternativa 3: Suministro OPS generada in situ con gas natural.**

La energía generada con gas natural lleva asociadas unas emisiones mucho más bajas que la que generan los buques a bordo quemando diésel. La energía se puede generar en un contenedor portátil con un generador o una mini-planta generadora instalada en el puerto. El suministro de gas puede ser realizado desde la red de gas terrestre o desde camiones cisterna en caso de utilizar GNL (gas natural licuado).

Pese a no eliminar las emisiones in situ, el suministro es continuo y el puerto también generaría su propia energía. El coste de generación es menor al coste de la energía a la red de tierra.



### **Alternativa 4: Suministro OPS desde barcaza y energía generada con gas natural.**

Existen casos donde la generación con gas natural se puede embarcar en una barcaza y esta proveer de energía al buque. Esta tecnología ya ha sido testada con éxito en el puerto de Hamburgo para suministrar a grandes cruceros, y es una opción viable a día de hoy. Mantiene las ventajas de la generación con gas en tierra, y añade la flexibilidad de suministro, pues se puede desplazar el punto de conexión.





## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO

## ENERGÍA PARA OPS

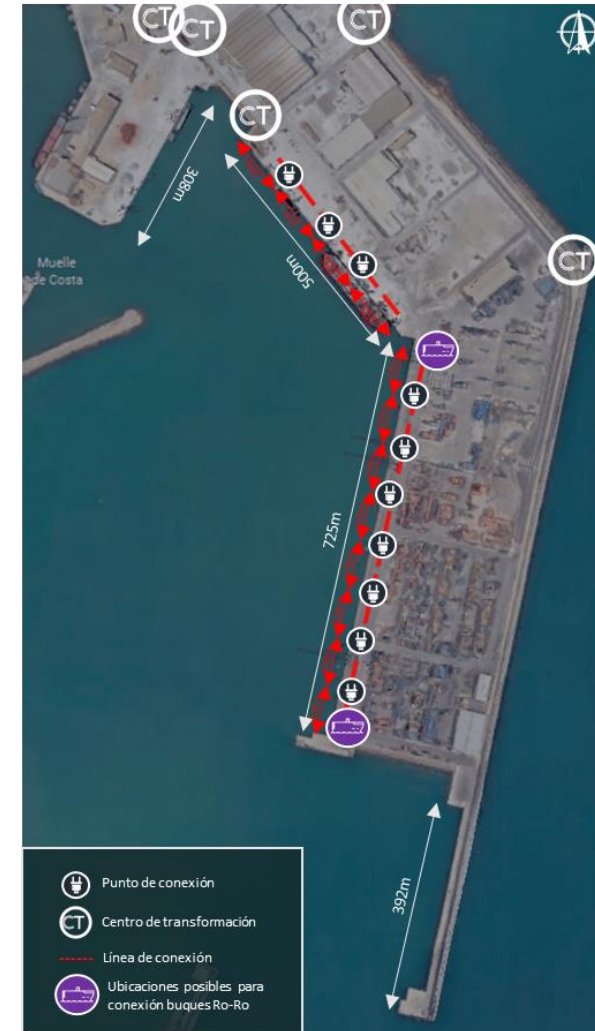
Alternativa 1: OPS tradicional ▶

Alternativa 2: OPS renovable

Alternativa 3: OPS gas natural

Alternativa 4: OPS barcaza

El diseño de la instalación de suministro de la Alternativa 1 ‘OPS tradicional’, servirá también para las 3 primeras alternativas. La principal diferencia será el origen de la energía, que en este caso debería ser uno de los Centros de transformación más cercanos a las tomas.





## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO

### ENERGÍA PARA OPS

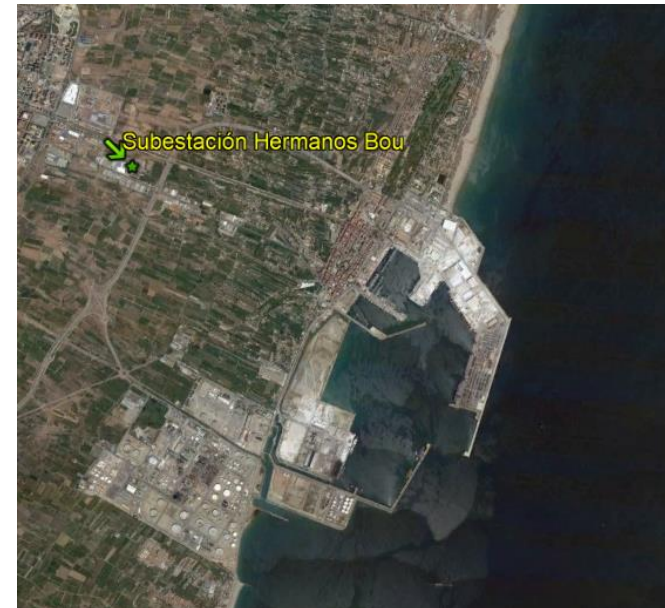
Alternativa 1: OPS tradicional ▶

Alternativa 2: OPS renovable

Alternativa 3: OPS gas natural

Alternativa 4: OPS barcaza

Debido a la **elevada potencia necesaria** en las tomas, es de prever la necesidad de una **ampliación de red**, que se realizaría previsiblemente desde la subestación eléctrica situada en la **Avenida Hermanos Bou**.



Las ampliaciones de red deben ser solicitadas a la empresa distribuidora de energía eléctrica en la zona. En este caso y **en previsión de la elevada demanda**, es probable que dicha ampliación se realice en alta tensión y su coste se incremente por encima de los **dos millones de euros**.



## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO

## ENERGÍA PARA OPS

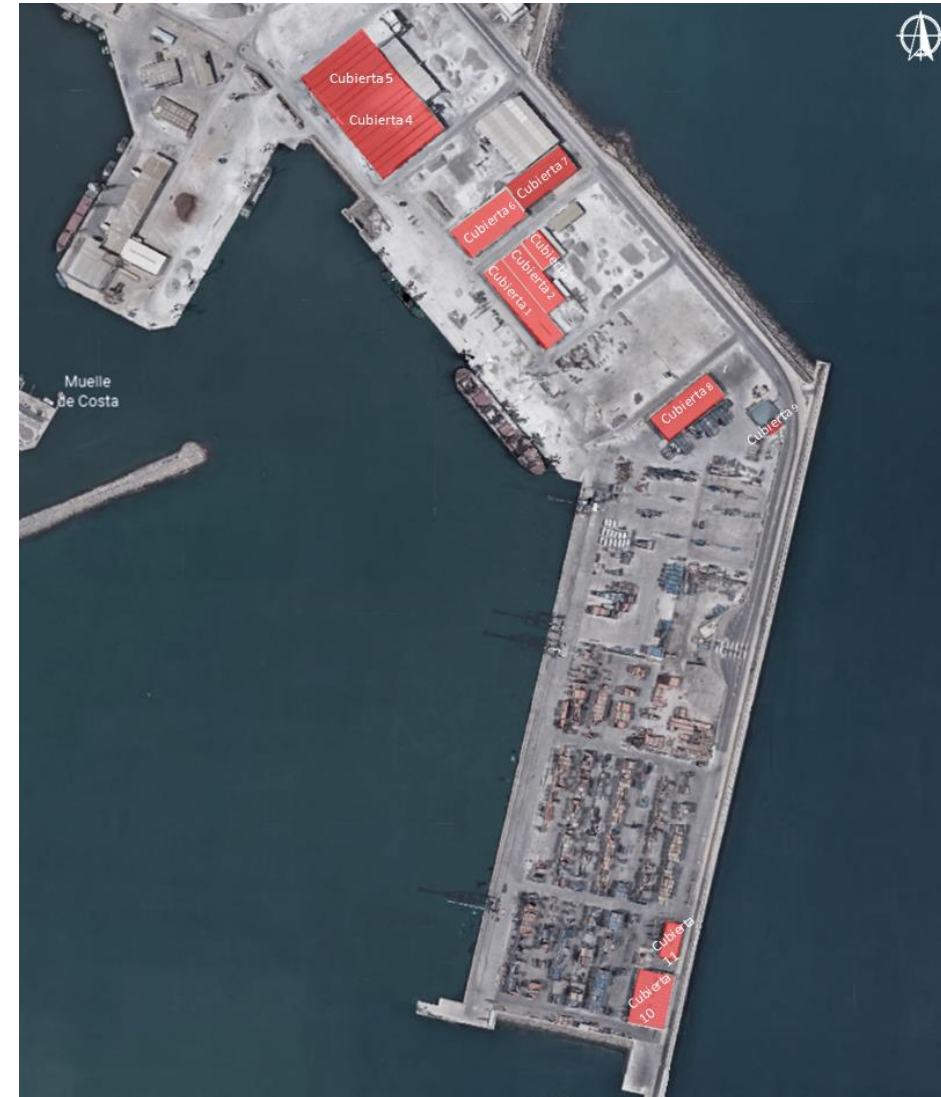
Alternativa 1: OPS tradicional

Alternativa 2: OPS renovable ▶

Alternativa 3: OPS gas natural

Alternativa 4: OPS barcaza

Se ha descartado la instalación de turbina eólicas debido al bajo potencial energético disponible. En cambio, **la fotovoltaica** dispone de **potencial suficiente en período diurno** con su instalación en diferentes cubiertas del puerto.





## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO

### ENERGÍA PARA OPS

#### Alternativa 1: OPS tradicional

#### Alternativa 2: OPS renovable

#### Alternativa 3: OPS gas natural

#### Alternativa 4: OPS barcaza

Las diferentes cubiertas seleccionadas, generarían en **total 6.960.000 kWh** con una potencia pico de **4.500 kWp**.

	CUBIERTA 1 Marítima del Mediterráneo, S.A.	CUBIERTA 2 Marítima del Mediterráneo, S.A.	CUBIERTA 3 Marítima del Mediterráneo, S.A.	CUBIERTA 4 Bulk Cargo Logistics, S.A.	CUBIERTA 5 Bulk Cargo Logistics, S.A.	CUBIERTA 6 Noatum Terminal Castellón,	CUBIERTA 7 Colorobbia España, S.A.	CUBIERTA 8 Noatum Terminal Castellón SA	CUBIERTA 9 Noatum Terminal Castellón SA	CUBIERTA 10 APM Terminals Castellón SA	CUBIERTA 11 APM Terminals Castellón SA
Orientación cubierta para PV	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
Largo cubierta (m)	140	100	50	116	104	100	92	102	26	80	50
Ancho cubierta (m)	30	34	34	90	90	50	43	40	12	50	22
Área cubierta (m²)	4.200	3.400	1.700	10.440	9.360	5.000	3.956	4.080	312	4.000	1.100
Inclinación cubierta (°)	6	6	6	8	8	6	6	6	3	6	6
Inclinación óptima (°) - $\beta_{opt}$	31.28	31.28	31.28	31.28	31.28	31.28	31.28	31.28	31.28	31.27	31.27
Azmut - $\alpha$ (°)	(+55)	(+55)	(+55)	(-37)	(-37)	(-43)	(-43)	(-38)	(-40)	(-77)	(-77)
Número de paneles estimados	2.538	2.000	1.000	3.132	2.808	1.500	1.196	1.224	78	1.200	300
Potencial de generación (kWh/año)	1.040.000	820.000	410.000	1.280.000	1.150.000	615.000	490.000	502.000	32.000	492.000	123.000

El mayor inconveniente de la instalación fotovoltaica es el **suministro en período nocturno**, por lo que se recomendó que la energía faltante se comprase a una comercializadora 100% renovable. El excedente podría ser autoconsumido en puerto o incluso vendido a la red,





## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO

### ENERGÍA PARA OPS

Alternativa 1: OPS tradicional

Alternativa 2: OPS renovable

Alternativa 3: OPS gas natural ▶

Alternativa 4: OPS barcaza

En el caso del Puerto de Castellón, la opción más factible parece la implantación de una **pequeña planta prefabricada** para alojar el grupo generador, conectada directamente a la red de gas de la ciudad (o con depósitos y suministro por camión), cuya potencia para las tres tomas debería situarse **entorno a los 15 MW**. La planta debería situarse lo más cerca posible de las tomas de conexión, y debería gestionarse el excedente energético de manera que se pudiese generar a potencia máxima el mayor tiempo posible para aumentar la rentabilidad de la instalación.



Fuente imagen: Wärtsilä





## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO

### ENERGÍA PARA OPS

Alternativa 1: OPS tradicional

Alternativa 2: OPS renovable

Alternativa 3: OPS gas natural

Alternativa 4: OPS barcaza 

Por último, se contemplo la opción de la barcaza de suministro como la utilizada en el Puerto de Hamburgo para suministro a cruceros (**potencia hasta 12 MW**). Se podría amarrar en puerto y utilizar en caso de atraque de un buque adaptado, y podría moverse dando **suministro en cualquier punto de atraque del puerto**. El suministro de gas se haría mediante camiones desde la terminal gasista de Sagunto, a priori.



© Hybrid Port Energy GmbH

Fuente imagen: LNG Hybrid Barge

# 06 | ESTUDIO ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Para cada una de las alternativas se realizó un análisis económico y de rentabilidad, con una estimación de costes y período de retorno. Para esto, se han tenido en cuenta las siguientes cifras relevantes:

- **La energía se compraría a red** al precio que la adquiere ahora mismo el puerto: **0,093€/kWh**.
- Si fuese **de origen renovable**, su precio se incrementaría hasta los **0,102 €/kWh**.
- El precio de **venta a buque** sería de **0,12 €/kWh**.
- El **precio de venta a red** sería de **0,062 €/kWh**.
- El **coste de generación con gas natural**, teniendo en cuenta el coste de suministro y la eficiencia del motor sería de **0,060 €/kWh**.

Además, no se han tenido en cuenta los efectos de la bonificación de la Tasa de atraque T-1 a los buques (50% por conectarse a un sistema OPS actualmente), por la incertidumbre de su mantenimiento en un futuro cercano.

Se realizó también una estimación de emisiones evitadas debido a la instalación de las diferentes alternativas, y por último un cálculo orientativo del impacto acústico de los motores auxiliares de los buques.

Buques objetivo	Emisiones (t)				
	CO2	NOx	SOx	PM10	PM2.5
Alternativa					
Escenario base actual (MGO)	23.500	219	13,6	10,7	11

El estudio ambiental también contempló el cálculo de la población afectada en diferentes rangos de distancia por las emisiones asociadas a la generación de energía a bordo en los buques que atracan en el Puerto de Castellón.



## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO COSTE, RENTABILIDAD E IMPACTO

### Alternativa 1: OPS tradicional ▶

### Alternativa 2: OPS renovable

### Alternativa 3: OPS gas natural

### Alternativa 4: OPS barcaza

El análisis económico para el suministro desde red, con el contrato actual, se dividió en las 3 diferentes tomas.

Destaca el caso de la **toma de Ro-Ros** pues la **inversión sería baja** debido a que probablemente no existiría necesidad de realizar una ampliación de la red de alta tensión para llevar energía al puerto por la baja potencia de la toma.

Sin embargo, la inversión se retornaría en un período más largo que para portacontenedores, debido a los escasos beneficios obtenidos por una cantidad menor de energía.

OPS desde red	Toma Ro-Ros	Toma graneleros	Toma portacontenedores
Inversión	833.448,00 €	4.236.078,00 €	4.514.259,75 €
Beneficios anuales	62.665,09 €	308.400,66 €	456.102,31 €
Retorno simple (años)	<b>13,30</b>	<b>13,74</b>	<b>9,90</b>

La **reducción de emisiones** se recoge a continuación para las 3 tomas y con los escenarios de compra a comercializadora actual o renovable:

Alternativa	Todos los buques				
	Reducción (%)				
	CO2	NOx	SOx	PM10	PM2.5
Escenario base (MGO)	-	-	-	-	-
OPS desde red (suministro actual)	-68%	-96%	-25%	-43%	-39%
OPS desde red (comercializadora renovable)	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%

Esto supondría unas emisiones evitadas de aproximadamente **23.500 toneladas** tan solo de CO2 en caso del **suministro renovable**.

En cambio, serían aproximadamente **16.000 toneladas de CO2** en caso de suministro con la **comercializadora actual**.

Lo que ocurriría en cualquier caso es que **se deslocalizarían estas emisiones** de las instalaciones de puerto a los puntos de generación de energía en la península.



## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO COSTE, RENTABILIDAD E IMPACTO

### Alternativa 1: OPS tradicional

### Alternativa 2: OPS renovable ▶

### Alternativa 3: OPS gas natural

### Alternativa 4: OPS barcaza

En el caso de la instalación de las tomas OPS suministradas desde una instalación fotovoltaica, la **inversión inicial sería elevada**, debido a la compra de los equipos, y además añadiría costes de mantenimiento a lo largo de la vida útil de los mismos.

Sin embargo, la generación de energía no conlleva ningún coste adicional, y por lo tanto los **beneficios anuales serían también altos**. Es importante recalcar, que en línea con la filosofía de respeto al medioambiente, este escenario ha contemplado que el faltante de energía se compre con certificado de origen renovable, de manera que las emisiones asociadas sean siempre 0.

OPS desde fotovoltaica( + red renovable)	
Inversión	10.050.036,50 €
Beneficios anuales	1.224.269,11 €
Retorno simple (años)	<b>8,21</b>

En lo referente a la **reducción de emisiones**, como se ha mencionado en el apartado anterior, estas se **eliminarían por completo**, y conllevarían añadida la gran ventaja del aumento de la independencia energética de la autoridad portuaria de Castellón, ya que en los momentos de **excedente de energía se podría autoconsumir** en las instalaciones del puerto.

Alternativa	Todos los buques				
	Reducción (%)				
	CO2	NOx	SOx	PM10	PM2.5
Escenario base (MGO)	-	-	-	-	-
OPS desde fotovoltaica	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%

De igual manera que en el OPS tradicional si el suministro es renovable, la instalación OPS desde fotovoltaica, conllevaría unas emisiones evitadas de aproximadamente **23.500 toneladas** tan solo de CO2 en caso del **suministro renovable**.



## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO COSTE, RENTABILIDAD E IMPACTO

### Alternativa 1: OPS tradicional

### Alternativa 2: OPS renovable

### Alternativa 3: OPS gas natural ▶

### Alternativa 4: OPS barcaza

Una de las opciones más interesantes analizadas fue la alternativa de generación de energía in situ en una planta prefabricada de gas natural. **La inversión inicial sería elevada** y similar a la del sistema fotovoltaico, pero la gran capacidad de generación de energía, aumentaría los beneficios notablemente y disminuiría el **período de retorno hasta el mínimo de los casos contemplados en el estudio.**

OPS desde Gas en tierra	
Inversión	10.119.038,50 €
Beneficios anuales	2.142.471,71 €
Retorno simple (años)	<b>4,72</b>

Es importante recalcar, que **para que esta opción sea realmente rentable**, la energía sobrante de las tomas OPS debe ser **consumida por el puerto y vendida a red** en el caso de que todavía hubiese excedente.

Sin embargo, en comparación con las anteriores opciones, **las emisiones no se eliminarían por completo ni se delocalizarían del puerto.**

Alternativa	Todos los buques				
	Reducción (%)				
	CO2	NOx	SOx	PM10	PM2.5
Escenario base (MGO)	-	-	-	-	-
OPS con gas natural	-48%	-52%	-100%	-100%	-100%

Pese a ello, la reducción es notable, llegando a las **11.280 toneladas de CO2**, a la **eliminación de las partículas y los SOx**, y reduciendo **166 toneladas de NOx in situ**, que es uno de los contaminantes más perjudiciales para la salud en los rangos de población afectados.



## ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO COSTE, RENTABILIDAD E IMPACTO

### Alternativa 1: OPS tradicional

### Alternativa 2: OPS renovable

### Alternativa 3: OPS gas natural

### Alternativa 4: OPS barcaza

La última opción analizada, el suministro desde una barcaza con un generador de GNL a bordo, es la opción menos atractiva de las contempladas en el estudio desde el punto de vista económico.

La inversión inicial sería la más alta de todas, y los beneficios anuales serían limitados pues solo se podría abastecer a un buque simultáneamente. Pese a ello, se ha considerado que en caso de simultaneidad, se suministraría energía al buque de más potencia, para así maximizar el rendimiento económico de la instalación.

OPS desde barcaza (GNL)	
Inversión	13.000.000,00 €
Beneficios anuales	1.041.730,04 €
Retorno simple (años)	<b>12,48</b>

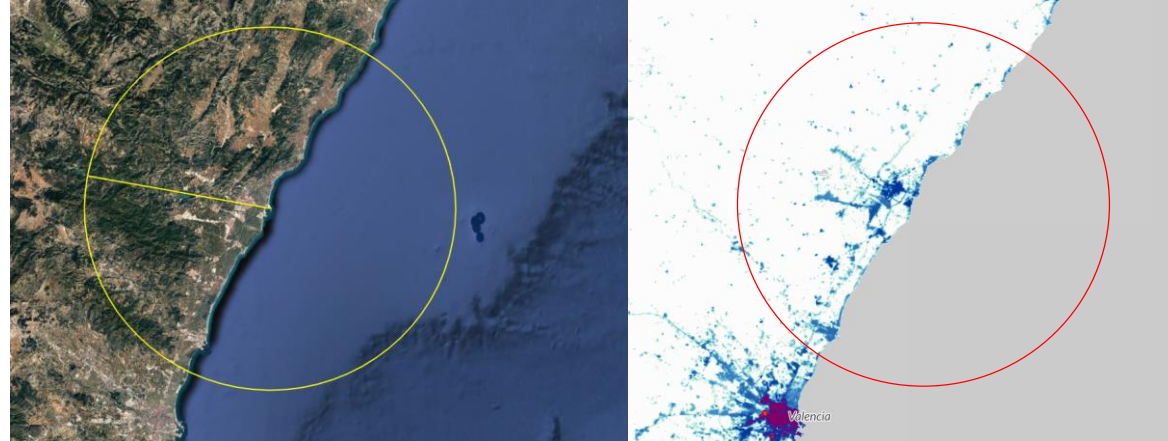
El retorno de la inversión sería de 12,5 años aproximadamente, lo que reduce la viabilidad de esta alternativa, al menos desde el punto de vista económico.

Alternativa	Todos los buques				
	Reducción (%)				
	CO2	NOx	SOx	PM10	PM2.5
Escenario base (MGO)	-	-	-	-	-
OPS con gas natural	-48%	-52%	-100%	-100%	-100%

En cuanto a la reducción de emisiones, los ratios serían los mismos que en la opción anterior pero al suministrar energía a tan solo un buque, las emisiones de CO2 eliminadas serían de aproximadamente **6.500 toneladas de CO2** y **80 toneladas de NOx** de la instalaciones de puerto.

# 06 | ESTUDIO ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Se realizó un análisis de los rangos de población en la zona de influencia de las emisiones generadas por los buques atracados en el Puerto de Castellón.



En los diferentes rangos estudiados, se encuentran poblaciones que van desde las 1.200 personas en el caso de 1 kilómetro de distancia, hasta 547.138 en el rango más amplio de entre los seleccionados, 50 kilómetros.

Distancia (km)	Población
50	547.138
15	317.362
5	29.005
2,5	6.712
1	1.200

Por último, el análisis de impacto de ruido, sin embargo, cifra en apenas 5,1 dBA (5,25%) la reducción máxima en caso de portacontenedores antiguos, por lo que no se considera tan relevante como las emisiones.

Tipo de buque	Niveles Potencia Sonora L <sub>WA</sub> (dBA)		Reducción sonora utilizando OPS (dBA)
	Motores auxiliares + Ventilación / reefers	Ventilación / reefers (solo)	
Ro-Ro Carga General	111	109	2,2
Portacontenedores (antes 2005)	97	92	5,1
Portacontenedores (después 2005)	94	92	1,7

## 07 | CONCLUSIONES

El último paso fue analizar todos los escenarios planteados de manera conjunta. De esta forma, se pudo obtener la opción más viable con una perspectiva global, para la instalación de OPS en el Puerto de Castellón.

	Alternativa			
	Red terrestre	Fotovoltaica	Gas tierra	GNL mar
Complejidad técnica	⬆️	⬇️	⬆️	⬆️⬆️
Madurez del sistema para OPS	⬆️⬆️	⬇️⬇️	⬇️	⬆️
Coste inicial	⬆️	⬇️	⬇️	⬇️⬇️
Rentabilidad	⬇️	⬆️	⬆️⬆️	⬇️
Independencia energética	⬇️⬇️	⬆️	⬆️⬆️	⬇️
Reducción de emisiones	⬆️	⬆️⬆️	⬆️	⬆️

Tras analizar todas las opciones desde los puntos de vista técnico, económico y ambiental, la opción más viable a día de hoy y por lo tanto la recomendada sería la siguiente:

- 1 toma para Ro-Ros, con grúa, en una de las dos rampas del Muelle del Centenario.
- 1 toma móvil en carro, para Graneleros, con 3 puntos de conexión, en el Muelle de la Cerámica.
- 1 toma móvil en carro, para Portacontenedores, con 7 puntos de conexión, en el Muelle del Centenario.

Respecto al **origen de la energía** existen más condicionantes que hacen la elección más complicada, pero la opción con **gas desde tierra**, y la opción de **OPS tradicional** parecen las más atractivas, por su **rentabilidad** y **madurez** respectivamente.

Por otro lado, **la opción de fotovoltaica sería una apuesta pionera en el mundo**, y pese a no ser del todo rentable y contar con el problema de la gestión del suministro en determinados períodos, podría ser viable.

En último lugar, la opción de suministro desde barcaza no parece una alternativa rentable por las características de los atraques en el Puerto de Castellón.



