

# VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS TÉRMICOS EN PISCINA CLIMATIZADAS DE MURCIA

VERA GARCÍA, Francisco<sup>(1)</sup>; DELGADO MARIN, José Pablo<sup>(1)</sup>

RESTUCCIA, Brunella<sup>(1)</sup>; LORENZ FONFRIA, Sofia<sup>(2)</sup>

jose.mc.eng@gmail.com

<sup>(1)</sup>Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

<sup>(2)</sup>Ayuntamiento de Murcia, Agencia Local de la Energía y Cambio Climático de Murcia

## RESUMEN

En el presente trabajo se presenta el estudio de viabilidad técnica y económica realizado con el propósito de mejorar la eficiencia energética de 4 distintas piscinas existentes en la ciudad de Murcia. Tras una primera fase de análisis de las instalaciones, donde se evaluó el estado global de la eficiencia de las piscinas, se implementó y modeló cada piscina en el software TRANSOL 3.1, con el fin de obtener los resultados energéticos. El estudio permitió valorar las soluciones más adecuadas, en función del tipo de edificación, de la demanda energética, de la zona climática en el que se ubican los edificios y de las instalaciones ya presentes, disminuyendo los costes económicos y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Los sistemas alternativos que se emplearon fueron de recursos renovables (instalación solar térmica, instalación caldera de biomasa) u otros (cambio combustible de la caldera, uso de manta térmica, etc.). Finalmente se estudió la viabilidad económica de cada alternativa y de la combinación de alternativas, presentando un abanico de posibilidades técnicas de instalaciones energéticamente y económicamente viable.

**Palabras clave:** Piscina Climatizadas, Viabilidad Técnico-Económica, sistema térmicos.

## 1. Introducción

Este trabajo presenta un estudio de viabilidad técnica y económica sobre la mejora de los sistemas térmicos para la climatización de 4 piscinas municipales de Murcia: El Palmar, Infante, Mar Menor y Puente Tocinos. El consumo energético de este tipo de instalaciones puede ser superior a los 700 MWh al año y por lo tanto una pequeña mejora en la eficiencia energética se traduce en un gran ahorro. Para reducir este uso tan grande de energía, fomentar la mejora de la eficiencia energética y el uso de energías renovables en instalaciones de uso público, se trabajará optimizando el uso de las instalaciones existentes e incorporando tecnologías que, manteniendo las condiciones de confort, no consuman tanta energía y/o que el origen de esta energía sea del tipo renovable.

## 2. Objetivos

El trabajo realizado se han planteado los siguientes objetivos para ser capaz de llegar a las conclusiones y valorar cuales son las mejores alternativas para mejorar la eficiencia de los sistemas térmicos utilizados en las piscinas analizadas.

- Conocer el estado, coherencia y disposición de las instalaciones térmicas existentes.
- Estudio de los consumos energéticos para cubrir las cargas y las necesidades (ACS [1], calentamiento agua del vaso [1], calefacción aire del edificio [2]).
- Reducción del consumo energético.
- Introducción de nuevos sistemas energéticos, sustitución total o parcial de los existentes y combinación de una o varias de las alternativas de las contempladas.
- Valoración económica de las alternativas propuestas junto con un estudio de amortización para cada una.

## 3. Material y métodos

### 3.1. Descripción de las instalaciones

Se trata de cuatro instalaciones de piscina cubierta, El Palmar, El Infante, Puente Tocinos y Mar Menor. Cada una de ellas se hizo una toma de datos y se visitaron para conocer el estado real de las instalaciones. Pasamos a describir estas de forma resumida:

#### **El Palmar**

La piscina cubierta se encuentra protegida por una cubierta desmontable, constituida por una carpa de lona. Esto implica una serie de problemas de infiltración de aire, puentes térmicos, mala impermeabilidad, etc. que hacen variar tanto la temperatura que la humedad al interior del habitáculo que contiene la piscina. La variación continua de las condiciones internas compromete el correcto funcionamiento de la caldera y de los otros equipos de climatización. Al controlar la climatización con mezcla de corrientes de aire, este sistema hace que la demanda requerida sea superior de la necesaria en otros casos.

Las calderas y todos los equipos en la sala maquina se encuentran en buen estado. Se utilizan calderas de gasóleo lo que conlleva a un nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> alto debido al alto porcentaje de emisiones que tiene este combustible.

La piscina no tiene deshumectadora. La falta de este equipo no permite eliminar la humedad extra del ambiente procedente de la evaporación del agua del vaso de la piscina de forma eficiente. La eliminación de la humedad se realiza mediante el aporte de aire del exterior lo que lleva a tener una mayor demanda de climatización a la que se obtendría si se dispone de deshumectadora. En este sentido se ha de comentar que la deshumectadora también llevaría asociado un consumo energético y el balance entre la energía ahorrada en demanda térmica puede ser inferior a la demanda eléctrica de la deshumectadora, para hacer este balance correctamente se tendría que hacer un estudio más detallado.

La piscina cuenta de un sistema de captadores solares térmicos posicionado en la cubierta. En general no se han encontrado problemas aunque es aconsejable una limpieza de los cristales de los captadores debido a que se encuentran en las inmediaciones de la chimenea de las calderas.

Se recomienda realizar retorno invertido en la instalación solar térmica presente, ya que este equilibra hidráulicamente el sistema (no se tiene constancia de que la instalación disponga de retorno invertido).

En el caso de considerar la biomasa como combustible de las calderas, la piscina dispone de espacio suficiente para el depósito del material en la plaza adyacente al edificio, y de dos accesos privados. Pero hay que destacar que el acceso oeste está a una cota superior respecto a la zona de descarga, mientras el acceso este, más pequeño tiene problema de accesibilidad y sería oportuno, para su uso, una ampliación del mismo y la tala de un árbol que impide una adecuada circulación para los camiones.

### **Infante**

El estado general de la estructura, el cerramiento y los vasos de la piscina se puede calificar con carácter de bueno, no así el estado de las instalaciones térmicas, con deficiencias como las que se detallan en el documento y se resumen a continuación.

La piscina cuenta de un sistema de captadores solares térmicos estropeado posicionado en la cubierta pero sin posibilidad de que pase fluido a través de ellos. Dichos captadores además de desfasados y antiguos se encuentran en muy mal estado, con cristales rotos, tuberías dañadas y/o sin aislante. La eficiencia de la instalación es mínima o casi nula. De hecho la instalación solar está deshabilitada cuando se fue a visitar la piscina.

Las calderas se encuentran en buen estado aunque ya tienen más de 10 años de utilización y su eficiencia debe de ser menor a la nominal. Se utilizan calderas de gasóleo lo que conlleva a un nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> alto debido al alto porcentaje de emisiones que tiene este combustible.

De los cuatro depósitos que se encuentran en la sala máquina, únicamente uno está trabajando, y es de remarcar que trabaja en condiciones muy por encima de lo normal. La vida útil de este depósito se verá reducida si se sigue utilizando con el alto nivel de temperatura al que está trabajando.

En cuanto a los otros depósitos no se ha sabido la razón por la cual han dejado de usarse, se presume que será por la detección de alguna fuga en el pasado. Por lo tanto, antes de ponerlos en marcha de nuevo en funcionamiento habría que verificar la integridad de los depósitos inutilizados. Acciones de mantenimiento de medio-alto coste, dependiendo del estado real en el que se encuentran los depósitos.

La piscina dispone de una máquina deshumectadora para el control de la humedad. Esta permite la eliminación de la humedad extra del ambiente procedente de la evaporación del agua de los vasos de la piscina de forma eficiente. Este aspecto se hace notar en el porcentaje de la demanda térmica requerida para la climatización del edificio en comparativa con las otras piscinas analizadas. Es importante decir que no se disponen de las facturas eléctricas y porcentaje de estas que corresponderían al consumo eléctrico de las deshumectadoras.

La piscina dispone de una zona para la descarga de combustible y de espacio suficiente para la colocación de silos de almacenamiento para combustible de tipo biomasa.

### **Mar Menor**

El estado general de la estructura se puede calificar con carácter de bueno y adecuado. Esto es debido a que la piscina fue rehabilitada en el año 2013 cuando se instalaron las calderas de Gas Natural.

Según el informe técnico (Reparación de piscina cubierta Mar Menor- Murcia), en estos trabajos se ha renovado la cubierta que llevaba puntos de oxidación en la estructura tubular de la cubierta, más el sistema de ventilación y de acondicionamiento de aire.

Las calderas y todos los equipos en la sala máquina se encuentran en buen estado. Como se ha comentado se renovaron en el 2013 las calderas a calderas de Gas Natural, por lo tanto están casi nuevas y no hay razones para que su funcionamiento tenga un alto rendimiento.

La piscina no tiene deshumectadora. La falta de este equipo no permite eliminar la humedad extra del ambiente procedente de la evaporación del agua del vaso de la piscina de forma eficiente. La eliminación de la humedad se realiza mediante el aporte de aire del exterior lo que lleva a tener una mayor demanda de climatización a la que se obtendría si se dispone de deshumectadora. En este sentido se ha de comentar que la deshumectadora también llevaría asociado un consumo energético y el balance entre la energía ahorrada en demanda térmica puede ser inferior a la demanda eléctrica de la deshumectadora, para hacer este balance correctamente se tendría que hacer un estudio más detallado.

Es importante remarcar que la instalación térmica no dispone de apoyo solar. La principal razón es que las condiciones de la cubierta (no transitable) no permite la instalación de un sistema de captadores solares térmicos en ella. Por esta razón en este estudio se ha contemplado la posibilidad de poner una instalación solar térmica en la terraza sur del edificio que hasta el momento se encuentra sin uso.

La piscina dispone de una zona para la descarga de combustible y de espacio suficiente para la colocación de silos de almacenamiento para combustible de tipo biomasa.

### **Puente Tocinos**

El estado general de la estructura se puede calificar con carácter de correctas debido a que la piscina tiene menos de 10 años. Fue inaugurada en el 2008 y además algunas operaciones de mantenimiento y actualización fueron realizadas en el año 2010.

Las calderas y todos los equipos en la sala maquinas se encuentran en buen estado. Se utilizan calderas de gasóleo lo que conlleva a un nivel de emisiones de CO2 alto debido al alto porcentaje de emisiones que tiene este combustible.

La piscina no tiene deshumectadora. La falta de este equipo no permite eliminar la humedad extra del ambiente procedente de la evaporación del agua del vaso de la piscina de forma eficiente. La eliminación de la humedad se realiza mediante el aporte de aire del exterior lo que lleva a tener una mayor demanda de climatización a la que se obtendría si se dispone de deshumectadora. En este sentido se ha de comentar que la deshumectadora también llevaría asociado un consumo energético y el balance entre la energía ahorrada en demanda térmica puede ser inferior a la demanda eléctrica de la deshumectadora, para hacer este balance correctamente se tendría que hacer un estudio más detallado.

La piscina cuenta de un sistema de captadores solares térmicos posicionado en la cubierta. En general no se han encontrado problemas aunque es aconsejable una limpieza de los cristales.

Se recomienda realizar retorno invertido en la instalación solar térmica presente, ya que este equilibra hidráulicamente el sistema (no se tiene constancia de que la instalación disponga de retorno invertido)

Se puede resumir las características de las piscinas en las siguientes figuras resumen:

<b>EL PALMAR</b>	<b>INFANTE</b>	<b>PUENTE TOCINOS</b>	<b>MAR MENOR</b>
1 vaso= 25*12,5	2 vasos= 25*12,5 - 12,6*8	2 vasos= 25*12,5 - 12,5*8	2 vasos= 25*12,5 - 12,5*8
Nº bañistas diario = 280	Nº bañistas diario = 450	Nº bañistas diario = 400	Nº bañistas diario = 500
18 captadores térmicos	No captadores térmicos	18 captadores térmicos	No captadores térmicos
2 Calderas de gasóleo	2 Calderas de gasóleo	3 Calderas de gasóleo	2 Calderas de gas natural
No deshumectadora	Con deshumectadora	No deshumectadora	No deshumectadora

### **3.2. Medidas experimentales. Calculo de la demanda de cada una de las piscinas.**

Este dato ha sido calculado a través un análisis de los registros de facturación por el año 2015 proporcionados por el Servicio Municipal ALEM, para cada una de las piscinas, recopilados del consumo de combustible y algunos fueron estimados según los valores medios de los otros meses. Después fueron modeladas las piscinas para obtener la demanda de calefacción, ACS y del vaso de forma desglosada mediante los programas de calculo TRANSOL© y DPCLIMA ©. Cuando las piscinas disponían de instalación solar térmica, esta también era modelada para obtener el factor de aporte solar que se tiene para cada piscina.

La siguiente figura muestra el desglose en porcentaje de la Demanda energética térmica anual de las 4 piscinas desglosada en las fracciones: ACS, calentamiento agua de los vasos y calefacción del aire interior del edificio.

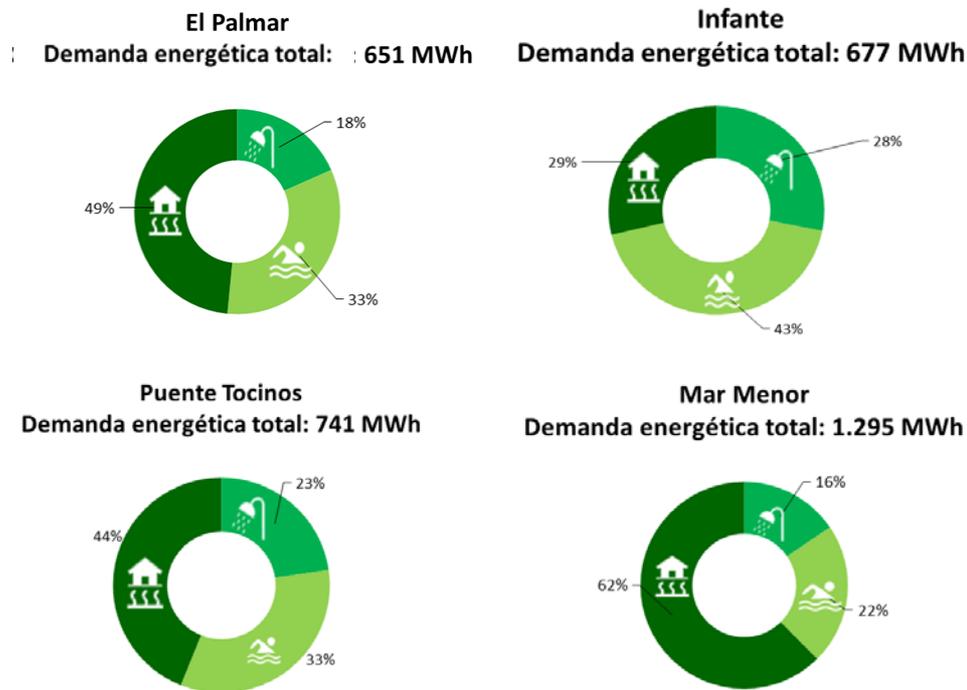


Figura 1. Demanda energética térmica anual de las 4 piscinas desglosada en las fracciones: ACS, calentamiento agua de los vasos y calefacción del aire interior del edificio.

### 3.3. Metodología de trabajo.

Para estudiar las posibilidades de mejora se han considerado varios escenarios o casos además del actual y se han introducido en el modelo desarrollado de la piscina. Además de escenarios base, se han considerado diferentes opciones de combinación entre los escenarios. Las posibilidades base son las siguientes:

- Cambio de preferencia de la instalación solar.
- Cambio de calderas de gasóleo con calderas de gas natural.
- Instalación de manta térmica.
- Instalación/sustitución de las calderas por caldera(s) de biomasa.
- Instalación o ampliación de la instalación solar térmica para apoyo al calentamiento de los vasos.

Cuyas ventajas e inconvenientes se pueden resumir en la siguiente tabla:

Opción	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento producción solar</li> <li>• Coste cero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminución de las emisiones de CO2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El gas natural no es una energía renovable</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción demanda térmica del vaso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminución de las emisiones de CO2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste elevado</li> <li>• Necesidad de espacio para almacenamiento y transporte</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento producción solar</li> <li>• Diminución de las emisiones de CO2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste elevado</li> </ul>

#### 4. Resultados alcanzados

En las piscinas que ya tienen una instalación solar térmica, El Palmar y Puente Tocinos, cambiando la contribución de la energía solar térmica que actualmente se dedica al ACS y destinarla al calentamiento de la piscina supone un ahorro en el consumo energético de un 1%, sin apenas coste.

La instalación de una manta térmica auto enrollable, es una medida de bajo coste (aprox. 5.000 €) y grandes ventajas: reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, ayuda a conservar la temperatura del agua, evita la evaporación, ahorrando grandes cantidades de agua y reduce el uso del deshumidificador.

Sustituir las calderas de gasóleo con calderas de gas natural supone un ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> (54-60 tn de CO<sub>2</sub>/año). Aunque el gas natural no es una energía renovable, es más limpio debido a la menor emisión de CO<sub>2</sub> por unidad de combustible quemado (relación H:C 4:1). La utilización de calderas de condensación resulta una alternativa eficaz. Además no requiere de tanques de combustible, evitando los costes de mantenimiento y no requiere de hacer el pedido periódicamente de combustible debido a su distribución continua por red de abastecimiento.

La instalación de una caldera de biomasa es la opción que más emisiones de CO<sub>2</sub> reduce (ciclo neutro). Sin embargo, el tiempo de retorno necesario para hacer rentable la inversión está entre 9 y 10 años (cambio gasóleo pellets) y llega hasta los 22 años en la piscina Mar Menor (cambio gas natural pellets).

Sin considerar otras combinaciones, la instalación de captadores térmicos representa comparativamente con las demás unas de las menos rentable desde el punto de vista del retorno de la inversión y de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En la siguiente figura se muestra la demanda energética de la instalación en función de los diferentes escenarios propuestos para la instalación del Mar Menor, para el resto de las instalaciones los resultados son similares

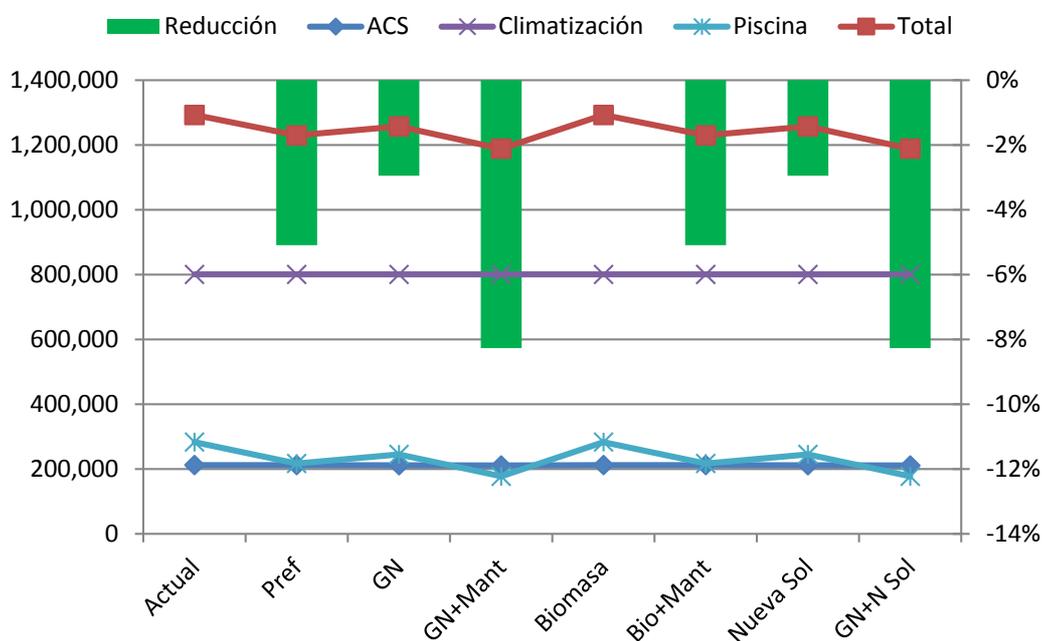


Figura 2. Demanda energética bruta de la piscina para cada caso estudiado en la piscina del Mar Menor.

Para cada una de las mejoras propuestas se ha realizado un estudio económico y de emisiones de CO<sub>2</sub> para ver cuánto sería el tiempo de retorno y cuánto sería la reducción de las emisiones a la atmósfera. La figura siguiente muestra el resultado para la piscina del Mar Menor, para el resto los resultados pueden ser parecidos en función de las características especiales de cada uno.

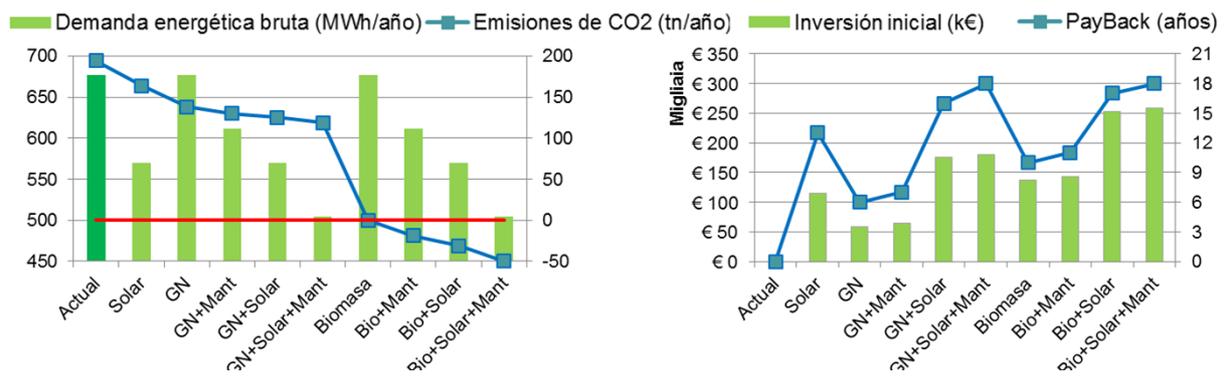


Figura 3. Demanda energética bruta, Emisiones de CO2 (izquierda). Inversión inicial y PayBack (derecha) de las instalaciones planteadas para la piscina de Puente Tocinos.

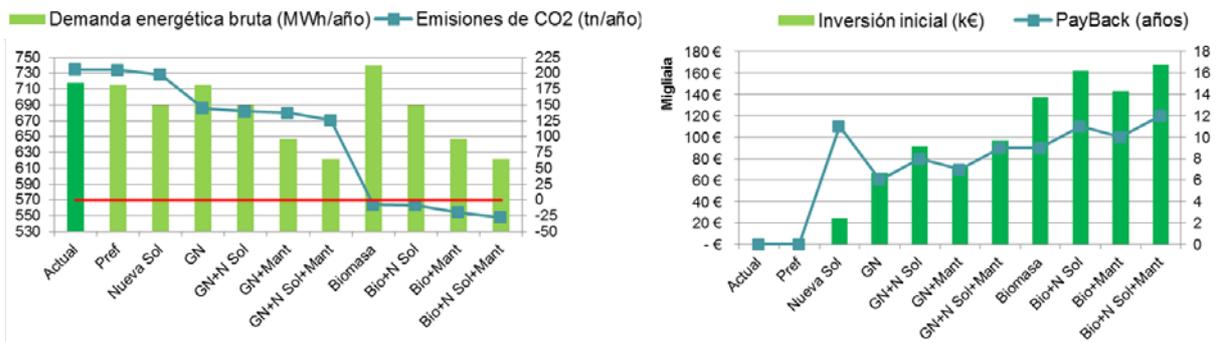


Figura 4. Demanda energética bruta, Emisiones de CO2 (izquierda). Inversión inicial y PayBack (derecha) de las instalaciones planteadas para la piscina de El Palmar.

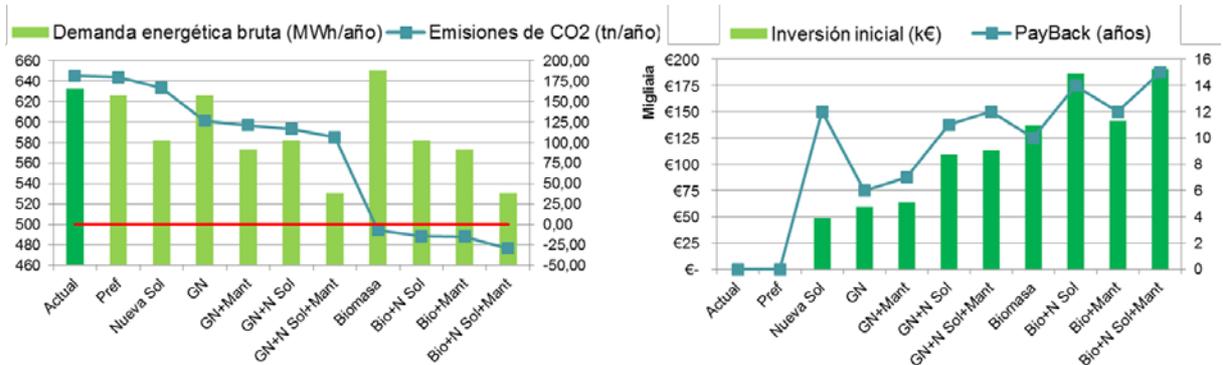


Figura 5. Demanda energética bruta, Emisiones de CO2 (izquierda). Inversión inicial y PayBack (derecha) de las instalaciones planteadas para la piscina del Mar Menor.

La siguiente figura muestra los mismos resultados pero para la piscina de Infante:

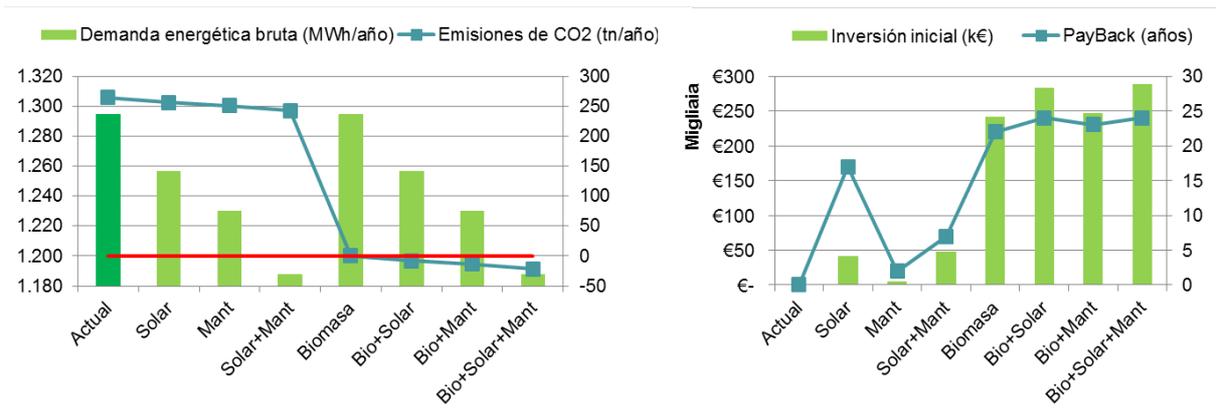


Figura 6. Demanda energética bruta, Emisiones de CO2 (izquierda). Inversión inicial y PayBack (derecha) de las instalaciones planteadas para la piscina de Infante.

Para las otras dos piscinas los resultados son similares a los obtenidos para la piscina de Mar Menor. Es de remarcar las diferencias que existen con la piscina de Infante debido a la existencia de una deshumectadora en la demanda de calefacción de la piscina se reduce bastante por la reducción en la renovación del aire que se tiene.

## 5. Conclusiones y trabajos futuros

El presente documento presenta las posibles acciones a realizar para reducir el consumo energético de 4 piscinas climatizadas de Murcia. El punto importante del estudio es obtener el máximo beneficio de la posible inversión a realizar desde dos puntos de vista, el económico y el medioambiental. Para valorar el puramente económico se han considerado dos parámetros, la inversión inicial y el tiempo de retorno de la inversión. Para el valorar la mejora medioambiental se han considerado la demanda total energética de la instalación y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que tendría para cada caso. En el estudio no se ha tomado en consideración la posibilidad de disminuir la demanda de calefacción de los edificios, ya que para esto son necesarios otros tipos de operaciones (cambio del envolvente térmico, de los cerramientos, etc.).

Como trabajos futuros se destacan los siguientes:

- 1) Decidir qué solución se toma para la reducción de la demanda energética en función de las posibilidades de inversión y los resultados obtenidos.
- 2) Monitorizar los sistemas térmicos de las piscinas y hacer una campaña de medidas detallada de los consumos y pérdidas energéticas que pueden tener cada piscina.
- 3) Modelar la nueva situación de la piscinas y desarrollar una estrategia de control para minimizar las pérdidas y aprovechar el máximo el aporte solar, a la vez que se intenta trabajar con las calderas en su punto máximo de rendimiento..
- 4) Dearrollar un sistema de control de calderas en función del pronóstico meteorológico de la zona para así minimizar el consumo de energía primaria.

## 6. Referencias

- [1] Manual de uso para simulación con el software *TRANSOL 3.1*.
- [2] Manual de uso para simulación con el software *vpCLIMA*.