



L'ÉNERGIE CITOYENNE ET SOLIDAIRE  
HERRITARREN ENERGIA



INSTITUTE OF TECHNOLOGY

# Instalaciones de acuaponía en el contexto de la piscicultura de montaña

---

RESUMEN : ESTUDIO DE LA GESTION ENERGETICA

Interreg  
POCTEFA  
ORHI



*Cet accompagnement s'inscrit dans le cadre du projet ORHI qui se déroule sur trois ans, entre 2018 et 2020, co-financé par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) à travers le POCTEFA. Il rassemble 9 partenaires de Navarre, de la Rioja, d'Euskadi, de Nouvelle Aquitaine et de Midi Pyrénées.*

Bixente MATEO-LEKUMBERRI

I-ENER | LUTXIBORDA, 64220 Saint-Jean-le-Vieux

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>2</b>
2.1.	Características de una piscifactoría de salmón en la montaña (Pirineos Atlánticos) .....	2
2.2.	Integración del sistema de acuaponía .....	3
<b>3</b>	<b>OPTIMIZACION DE LA GESTION ENERGETICA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.</b>	<b>Hidroelectricidad .....</b>	<b>4</b>
3.1.1.	Aspectos técnicos .....	4
	Turbina Pelton (Soft Energy, n.d.) .....	5
	Turbina Francis (Soft Energy, s.f.) .....	6
	Turbina Kaplan (Wikipedia, s.f.) .....	7
	Hélices (Turbiwatt, s.f.) .....	8
	Banki-Mitchell (Enseeiht, s.f.) .....	9
	Rueda de paletas (Gratia-hydro, s.f.) .....	10
	Tornillo hidrodinámico (Enseeiht, s.f.) .....	11
	Turbina VLH (Formatis, s.f.).....	12
	Sistemas de vórtices (Turbulent, s.f.).....	13
	SÍNTESIS DE TECNOLOGÍAS .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
	Turbinas adaptadas a la zona de estudio .....	14
3.1.1.	Aspecto legal .....	15
3.1.2.	Aspecto financiero .....	15
	Estimación de lo producible .....	15
	Viabilidad de un proyecto hidroeléctrico.....	16
3.1.3.	Solución para sitios sin espacio libre (Wikiwand, s.f.) .....	17
3.1.4.	Ejemplo: piscifactoría existente con producción hidroeléctrica .....	17
<b>3.2.</b>	<b>Fotovoltaica: lugares sin potencial hidroeléctrico .....</b>	<b>19</b>
3.2.1.	Aspecto técnico.....	19
3.2.2.	Aspectos jurídicos .....	19
3.2.3.	Aspecto financiero .....	20
	Estimación de lo producible.....	20
	Sostenibilidad del proyecto .....	20
<b>4</b>	<b>ESTUDIO DE CASO: FUTURA GRANJA EN LA REGION .....</b>	<b>21</b>
4.1.	Descripción del proyecto.....	21
4.2.	Potencial hidroeléctrico .....	23
4.3.	Potencial fotovoltaico .....	24
<b>5</b>	<b>CONCLUSION:.....</b>	<b>27</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>28</b>
	Tabla de ilustraciones .....	28
	Referencias.....	29

# 1 Introducción

Este estudio forma parte del proyecto ORHI, que forma parte del programa POCTEFA. Este último es un programa europeo de cooperación transfronteriza en el que participan Francia, España y Andorra. Su objetivo es apoyar y contribuir a la evolución de los sectores agroalimentarios territoriales promoviendo la innovación, el crecimiento y el desarrollo sostenible, y centrándose en proyectos de economía circular.

Este estudio fue encargado por la escuela de ingeniería ESTIA, en el marco de un proyecto de aplicación de los principios de la acuaponía a los sectores de la piscicultura y la horticultura en todo el departamento de los Pirineos Atlánticos.

También presenta oportunidades para el sector piscícola, como la recuperación de energía (fotovoltaica, hidroeléctrica), el agroturismo en el sector de la acuicultura, etc.

El departamento de los Pirineos Atlánticos tiene un potencial único en Francia. Los torrentes de montaña, los gaves y las masas de agua se unen para formar una red hidrográfica especialmente densa, propicia para la existencia de una considerable diversidad de peces. Consciente de la fragilidad de esta riqueza medioambiental y piscícola, así como de lo que está en juego en relación con el agua, el enfoque de ORHI se inscribe en el objetivo de preservar estos cursos de agua y mejorar el sector.

Tras varias entrevistas, se encargó el estudio de la valorización energética de las instalaciones de acuaponía en el contexto de la piscicultura de montaña a I-ENER, una empresa ciudadana del País Vasco que trabaja en el desarrollo de las energías renovables hacia la soberanía energética del territorio.

## 2 Estado del arte

### 2.1. Características de una piscifactoría de salmón en la montaña (Pirineos Atlánticos)

Los Pirineos Atlánticos, por su posición geográfica y su morfología, están sometidos a fuertes influencias oceánicas, lo que se traduce en un invierno riguroso, heladas tardías, veranos calurosos y tormentosos y abundantes precipitaciones. La niebla es frecuente en los valles de montaña y los fuertes vientos pueden barrer los primeros relieves de los Pirineos.

Los piscicultores del departamento prefieren dos métodos de abastecimiento de agua: la derivación del río y los manantiales. Se pueden utilizar otros métodos de abastecimiento en función de las posibilidades hidrogeográficas de las explotaciones, como la perforación y el bombeo en los ríos, pero en general se utilizan muy poco los lagos y los embalses.

*Figura 1: Pirineos Atlánticos*

Las 20 piscifactorías de los Pirineos Atlánticos producen un total de **2.123 toneladas** de salmónidos, principalmente truchas grandes (de 2 a 5 kg). Siete de estas piscifactorías están situadas en un mismo brazo del Nive, el Nive des Aldudes, y nuestro estudio se basará esencialmente en las características de estos lugares, que se alimentan exclusivamente de la derivación del río.

Las piscifactorías en desvío de los ríos se componen de una presa o un embalse, de un canal de traída, de los estanques de explotaciones y de un canal de

*Figura 3: Funcionamiento en serie*

*Figura 2: Funcionamiento en paralelo*

restitución. Existen entonces 2 sistemas de explotación de las cuencas que se pueden distinguir en las imágenes anteriores: en serie o en paralelo. Una operación paralela permite tener una calidad de agua equilibrada en toda la operación (oxígeno en particular) pero hace que el desarrollo hidroeléctrico del sitio sea más complejo porque el flujo se divide en varias partes.

## 2.2. Integración del sistema de acuaponía

Un sistema de acuaponía consiste en una unidad de acuicultura, unida a la producción de plantas sobre el suelo. Los residuos disueltos (amoníaco y fósforo) resultantes del metabolismo de los organismos acuícolas son una fuente de nutrientes fácilmente asimilables por las raíces de las plantas. Esto suele implicar un paso previo de eliminación de partículas mediante filtración mecánica. En efecto, las materias sólidas presentes en el agua de cultivo presentan riesgos importantes de proliferación de bacterias anaerobias, potencialmente nocivas. A continuación, se produce una etapa de degradación microbiana de los compuestos de amoníaco con la ayuda de las bacterias nitrificantes. Se trata de una filtración biológica durante la cual los compuestos se degradan en nitritos y luego en nitratos. Este último es la forma de nitrógeno que pueden asimilar las plantas.

Así, el agua puede ser conducida al compartimento hortícola para ser fito-purificada y asegurar el crecimiento de las plantas. Estos sistemas permiten un reciclaje de agua de más del 90%. De este modo, el impacto sobre el recurso hídrico externo es mínimo, al tiempo que permite una calidad físico-química del agua recirculada perfectamente saludable para los tres compartimentos del sistema acuapónico. Algunos sistemas acuapónicos pueden estar completamente libres de residuos, ya que la materia sólida es transformada por un lombrifiltro cuyo té de compost (el único residuo) se utiliza en los circuitos de las plantas.

*Figura 4: Hidroponía*

Investigaciones recientes en diferentes continentes han demostrado que no hay diferencia en el rendimiento entre un sistema hidropónico y un sistema acuapónico en el lado de las plantas, y a veces incluso un mejor rendimiento en la producción de plantas de hoja en la acuaponía.

*Figura 5: Funcionamiento general de la acuaponía*

La acuaponía es un sistema virtuoso que tiene muchas ventajas, es :

- Reduce la contaminación de los ríos.
- Valoriza los residuos de la piscicultura.
- Diversifica las actividades de la granja con la acuicultura.
- Reduce la cantidad de agua necesaria para la operación.

Sin embargo, toda esta instalación está compuesta por filtros mecánicos y bombas hidráulicas para mantener la circulación del agua en este circuito cerrado, por lo que requiere un aporte energético adicional. Por lo tanto, este estudio propondrá diferentes formas de producir la energía necesaria para el funcionamiento de toda la explotación.

## 3 Optimización de la gestión energética

### 3.1. Hidroelectricidad

La energía hidroeléctrica, o hidroelectricidad, es una energía eléctrica renovable que se deriva de la conversión de la energía hidráulica en electricidad. Sus ventajas son que es renovable, tiene un bajo coste de explotación, es responsable de pocas emisiones de gases de efecto invernadero, es local y, por tanto, conduce a la descentralización de la energía, no puede deslocalizarse y también puede almacenarse en determinados casos.

Nuestra región, muy montañosa, cuenta con multitud de ríos de escaso caudal y poca altura. La instalación de centrales hidroeléctricas lacustres o de gran altura con energía almacenable es, por tanto, imposible, pero la llamada tecnología de pasada sigue siendo relevante. Esta categoría también se denomina "pequeña hidroeléctrica" y produce electricidad de forma continua, ya que la retención máxima de agua es inferior a 2 horas, con una potencia de hasta 10MW. Dado que el caudal del río Aldudes varía principalmente entre 1 y 7m<sup>3</sup>/s con una altura de entre 1 y 10 m, la potencia instalada difícilmente puede superar los 100kW; en nuestro caso hablaremos de "microcentrales", o incluso de "picocentrales", ya que los caudales que circulan por las piscifactorías son limitados.

#### 3.1.1. Aspecto técnico

Hoy en día, existen diferentes tecnologías para transformar la fuerza motriz del agua en energía mecánica rotativa, antes de su conversión en energía eléctrica mediante generadores. Las tecnologías actuales para esta primera conversión, más comúnmente llamadas "turbinas", se resumirán en esta sección.

Algunas de las turbinas existen desde hace varias décadas (turbinas Pelton, Francis, Kaplan, Banki-Mitchell...) mientras que otras son tecnologías más recientes con datos naturalmente menos fiables (sistema vortex, tornillo hidrodinámico).

Es importante saber que las turbinas están diseñadas para una altura y un caudal nominal específicos para cada instalación (Q<sub>max</sub>). Sin embargo, en regiones como el País Vasco, donde el caudal de los ríos es muy variable, es interesante disponer de una turbina que pueda ser eficaz también para caudales inferiores a Q<sub>max</sub>.

Como primera aproximación, he aquí un diagrama que muestra la adaptabilidad de las turbinas "clásicas" y su rendimiento para caudales inferiores al nominal de la instalación.

*Figura 6: Adaptabilidad de las turbinas a los caudales variables*

## *Turbina Pelton (Energía blanda, s.f.)*

### Principio de funcionamiento

Esta turbina transforma la energía potencial del agua procedente de una tubería forzada en energía cinética, por la acción de un chorro de agua sobre las palas de la rueda. Este tipo de turbina no tiene un difusor (o aspirador) a la salida del agua, el agua fluye libremente a presión atmosférica. Se trata de una turbina de "acción" porque el rodete está al aire libre, la presión de entrada de la tubería es igual a la de salida.

Según el cálculo de la velocidad específica, estas turbinas son adecuadas para saltos de agua altos y bajos.

### Composición

- Rueda de cangilones
- Inyector(es): ajuste de entrada
- Deflector: desviación del chorro de agua (emergencia)
- Cubierta : contra las proyecciones de agua

### Precios y especificaciones

- $10\text{m} < H < 1000\text{m}$
- $20\text{l/s} < Q < 1000\text{l/s}$
- $500\text{rpm} < N < 1500\text{rpm}$  (sin caja de cambios)
- Eficiencia máxima = 90%.
- Regulación del suministro de agua mediante inyector

*Figura 7: Turbina Pelton*

### Beneficios

- Adecuado para caudales variables bajos
- Sin multiplicador
- Muy buen rendimiento

### Desventajas

- Requiere una gran caída
- 0% de posibilidades de supervivencia para los peces que entran en la tubería.

## *Turbina Francis (Energía blanda, s.f.)*

### Principio de funcionamiento

La turbina Francis es del tipo de reacción, ya que utiliza la presión del agua además de su energía cinética para crear la fuerza de rotación. El impulsor fijo está montado en el centro de una "carcasa en espiral" dentro de la cual se encuentra el distribuidor. Esta cubierta es una tubería en forma de espiral de sección transversal progresivamente decreciente conectada, por un lado, al extremo aguas abajo de la tubería forzada y, por otro, a la sección de entrada del distribuidor. El tanque está dimensionado para que el caudal que lo atraviesa se mantenga constante.

Esta tecnología es adecuada para cabezas y caudales medios.

*Figura 8: Turbina Francis*

### Precios y especificaciones

- $10\text{m} < H < 200\text{m}$
- $0,1\text{m}^3/\text{s} < Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$
- Alta velocidad:  $N = 1000 \text{ rpm}$
- Eficiencia  $> 80\%$ .
- Caída de la eficiencia con  $P_{\text{min}} < 60\% \times P_{\text{nom}}$
- Tubo flexible necesario (con salida de aire)

### Beneficios

- Adecuado para alturas medias y caudales bajos/medios
- Buen rendimiento
- Robusto

### Desventajas

*Figura 9: Funcionamiento de la turbina Francis*

- Malo para caudales muy variables (tener 2 turbinas:  $2/3 P_{\text{max}} + 1/3 P_{\text{max}}$ )

## *Turbina Kaplan (Wikipedia, s.f.)*

### Principio de funcionamiento

Las turbinas Kaplan (tipo de reacción) se caracterizan por su hélice, que es similar a la de un barco con palas ajustables.

El agua se dirige hacia el centro de la rueda mediante un círculo de válvulas oscilante (de doble ajuste) o fijo (de ajuste simple). En la salida, un aspirador limita los efectos de las turbulencias.

Son los más adecuados para turbinar cabezas bajas y caudales altos.

### Precios y especificaciones

- $H < 20\text{m}$
- $2 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 800 \text{ m}^3/\text{s}$
- Varias orientaciones (vertical, horizontal, inclinado, bulboso, silbido...)
- Velocidad baja:  $50 \text{ rpm} < N < 250 \text{ rpm}$
- Multiplicador necesario
- Eficiencia nominal = 90%.
- $P_{\text{min}} = 20\% \times P_{\text{nom}}$
- Diámetro:  $1\text{m} < D < 10\text{m}$

*Figura 10: Turbina Kaplan*

### Beneficios

- Adecuado para las caídas bajas
- Adecuado para caudales variables
- Buen rendimiento
- Robusto

### Desventajas

- Fenómeno de cavitación que provoca erosión prematura, vibración y pérdida de rendimiento
- Se requiere un alto rendimiento

*Figura 11: Funcionamiento de la turbina Kaplan*

## Hélices (Turbiwatt, s.f.)

### Principio de funcionamiento

Las turbinas de hélice son turbinas Kaplan con palas fijas y sin radio de giro. La orientación óptima de las palas se determina durante el diseño de la turbina, en función de la altura y el caudal del emplazamiento estudiado. Por tanto, las turbinas tienen un coste de fabricación menor.

Estas turbinas también son adecuadas para alturas bajas y caudales bajos (constantes).

### Precios y especificaciones

- $H < 10\text{m}$
- $0,5 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 5 \text{ m}^3/\text{s}$
- Varias orientaciones (vertical, horizontal, inclinada...)
- Eficiencia nominal = 80%.
- $P_{\text{min}} = 90\% \times P_{\text{nom}}$

### Beneficios

- Adecuado para las caídas bajas
- Adecuado para caudales bajos
- Bajo coste
- Bajo mantenimiento
- Instalación sencilla
- Ingeniería civil simple

### Desventajas

- Malas prestaciones con caudal variable
- Estructura a menudo ligera

*Figura 12: Turbina de hélice*

## *Banki-Mitchell (Enseeiht, s.f.)*

### Principio de funcionamiento

Se trata de una turbina de acción, con flujo pasante. La relativa sencillez de la turbina radica en el flujo bidireccional del agua. El agua pasa dos veces por los álabes de la turbina, lo que le confiere varias ventajas: instalación sencilla, mayor eficacia, limpieza de la turbina y ausencia de mantenimiento.

Esta turbina es adecuada para caudales bajos, así como para caudales variables si la turbina tiene dos compartimentos ( $2/3 P_{max} + 1/3 P_{max}$ ).

### Precios y especificaciones

- $3m < H < 150m$
- $20l/s < Q < 7m^3/s$
- Válvula de dirección
- Posible carga parcial (si la imagen)
- Eficiencia máxima = 85%.
- $P_{min} = 15\% \times P_{nom}$
- Asociado a un multiplicador de velocidad
- Diseño simplificado: turbina económica
- Bajo mantenimiento

*Figura 13: Turbina Banki-Mitchell*

### Beneficios

- Adecuado para caídas de poca altura con bajos caudales
- Adecuado para caudales variables
- Buen rendimiento
- Sistema de bajo coste
- Mantenimiento minimizado
- Robusto

### Desventajas

- No es ictiocompatible

*Figura 14: Banki-Mitchell 2 compartimentos*

## Rueda de paletas (*Gratia-hydro, s.f.*)

### Principio de funcionamiento

La rueda de paletas equipaba la mayoría de los molinos antes del siglo XIX, luego fue sustituida progresivamente por las turbinas de nueva generación (Fontaine, Francis...) más rentables. Sin embargo, al ser esta rueda totalmente inofensiva para los peces y respetuosa con la continuidad ecológica, actualmente se están desarrollando versiones más modernas de la rueda de paletas.

Este impulsor se utilizó por primera vez "de corrido", con el flujo entrando por la parte inferior, y luego vio aumentar su eficacia cuando se dispuso para que el flujo entrara por el lateral o por la parte superior.

*Figura 15: Rueda de paletas*

Se trata de un tipo de turbina activa con un sistema muy sencillo y poca obra civil. Es adecuado para cabezas bajas y caudales bajos.

### Precios y especificaciones

- Eficiencia:  $80\% < \eta < 90\%$ .
- $H < 12\text{m}$
- $Q < 3\text{m}^3/\text{s}$
- Diseño sencillo del sistema
- Baja velocidad de rotación
- $P_{\text{min}} = 0,2 \times P_{\text{nom}}$

### Beneficios

- Adecuado para cabezas bajas y caudales bajos
- Adecuado para caudales variables
- Ictiofílico debido a la baja velocidad de rotación
- Pequeña ingeniería civil
- Bajo mantenimiento

### Desventajas

- Eficiencia inferior a la de las turbinas convencionales
- Versión moderna en desarrollo
- Poca información técnica

## *Tornillo hidrodinámico (Enseeiht, s.f.)*

### Principio de funcionamiento

Las turbinas de tornillo (tipo activo) son similares a los gusanos de las bombas de sumidero. La turbina de tornillo consiste en un rotor colocado en el canal de flujo y conectado a un generador asíncrono mediante un mecanismo de transmisión.

Esta turbina es adecuada para alturas y caudales bajos.

### Precios y especificaciones

- Baja velocidad de rotación
- $P_{min} = 10\% \times P_{nom}$
- Eficiencia máxima = 87%.
- Asociado a un multiplicador de velocidad

*Figura 16: Tornillo hidrodinámico*

### Beneficios

- Paso de peces posible (ictiocompatible)
- Adecuado para cabezas bajas y caudales bajos
- Adecuado para caudales variables
- Buen rendimiento
- 40% menos de ingeniería civil

### Desventajas

- Sistema bastante caro

*Figura 17: Detalle del tornillo hidrodinámico*

## *Turbina VLH (Formatis, s.f.)*

### Principio de funcionamiento

La turbina "Very Low Head" (patentada en 2003) es una evolución de la turbina Kaplan de apertura variable (por tanto de tipo activo), diseñada para proteger la fauna piscícola durante la migración aguas abajo.

La turbina puede compararse con un simple Kaplan inclinado, de gran diámetro y de rotación lenta.

Esta turbina es adecuada para bajas alturas y altos caudales.

### Precios y especificaciones

- $1,5\text{m} < H < 5\text{m}$
- $10 \text{ m}^3/\text{s} < Q < 30 \text{ m}^3/\text{s}$  por máquina
- Velocidad del flujo = 1 m/s
- Velocidad:  $30 \text{ rpm} < N < 50 \text{ rpm}$
- Eficiencia = 90%.
- Diámetro:  $3\text{m} < D < 5\text{m}$
- Inclinación de unos  $40^\circ$ .
- Funcionamiento por inercia esencialmente
- Alternador integrado con convertidor de frecuencia
- Cuchillas ajustables

*Figura 18: Turbina VLH*

### Beneficios

- Adecuado para alturas bajas y caudales variables
- Reducción de la ingeniería civil
- Bajo nivel de ruido y molestias visuales
- Instalación rápida
- Baja velocidad de rotación (Ichthyophile)
- Impermeabilización sencilla para el mantenimiento
- Control automático

*Figura 19: Sistema completo de BVS*

### Desventajas

- Se requiere un alto rendimiento
- Se requiere una potencia mínima de 100kW para encontrar la rentabilidad

## Sistemas de vórtice (Turbulent, s.f.)

### Principio de funcionamiento

La entrada de agua tangente a la cámara de forma circular y la salida vertical, situada en el centro de la cámara de agua, provocan la creación de un vórtice. Este tipo de turbina activa es, en definitiva, una hélice con palas orientadas de una manera determinada.

Esta turbina es adecuada para alturas y caudales bajos. Sin embargo, como la tecnología es todavía nueva, por el momento faltan datos técnicos.

### Precios y especificaciones

- $1,5 < H < 5\text{m}$
- $1 < Q < 8 \text{ m}^3/\text{s}$

### Beneficios

- Adecuado para cabezas bajas y caudales bajos
- Ictiocompatible
- Instalación sencilla
- Ingeniería civil simple

### Desventajas

- Pérdida de altura (sin aspiración)
- La tecnología aún no está madura

### Referencias

- <https://www.turbulent.be/homepage>

Figura 20: Sistema de vórtice turbulento

## *Turbinas adaptadas a la zona de estudio*

Como el estudio se realiza en una zona geográfica bien definida, podemos filtrar las soluciones existentes y determinar cuáles serían las más adecuadas para las características del territorio. En el valle de Aldudes, zona montañosa del País Vasco, el caudal medio del río es de unos 7m<sup>3</sup>/s en Baigorri, 5m<sup>3</sup>/s en Banca y 1m<sup>3</sup>/s en Urepel. Por lo tanto, el caudal autorizado para las piscifactorías es también muy limitado, sobre todo porque el río se considera estratégico para los peces migratorios. Además, el relieve del valle limita considerablemente el tamaño de la piscifactoría, lo que reduce la cantidad de agua necesaria para el buen funcionamiento de la misma.

El caudal máximo permitido para algunas de las piscifactorías del valle es el siguiente:

- Piscifactoría Ispeguy en Baigorri: 1200l/s
- Granja de truchas en Banca : 300l/s
- Piscifactoría Harispe en Aldudes: 800l/s
- Piscifactoría Arraina en Urepel: 150l/s

Por lo tanto, la turbina instalada debe adaptarse a **caudales bajos de entre 50m<sup>3</sup>/s y 1500m<sup>3</sup>/s**. También hay que tener en cuenta que un sistema acuapónico reduciría mucho el caudal de agua necesario para el cultivo. Ya podemos eliminar las tecnologías que requieren demasiado caudal: la turbina Kaplan, el tornillo hidrodinámico, la turbina VLH y el sistema de vórtice turbulento.

La elección de la turbina también dependerá de la cabeza existente en el lugar. La mejor solución sería turbinar la cascada a la **salida de la piscifactoría**, el agua filtrada y ya utilizada por la piscifactoría, que no perturbará la cría de las truchas. Conociendo los saltos existentes a nivel de la restitución del agua de las piscifactorías del valle y definiendo una altura mínima de 1m para pretender una producción hidroeléctrica interesante, la turbina debe adaptarse a alturas de los saltos entre **1m y 6m**.

El precio de la turbina también será un criterio muy importante, ya que las instalaciones no podrán tener una alta productividad en vista del débil caudal que circula por las piscifactorías. Con un volumen de negocio bajo, es necesario elegir un sistema sencillo para **reducir al máximo los costes y tener un retorno de la inversión aceptable**. Al ser el caudal de una piscifactoría casi constante a lo largo del año, no es necesario montar una turbina "flexible" y adaptable a la variación del caudal, lo que implicaría un coste adicional a la compra de la turbina con un mantenimiento complejo.

Por lo tanto, las turbinas preferidas para la autonomía energética de un sistema de acuaponía en una piscifactoría en una zona montañosa son :

- El Banki-Mitchell con 1 compartimento.
- La rueda de agua.
- La hélice.

### 3.1.1. Aspecto legal

Cualquier modificación del lecho de un curso de agua requiere una aprobación administrativa. En la actualidad, la construcción, ampliación o renovación de un azud es muy complicada dada la problemática existente en los ríos en relación con la biodiversidad acuática y la continuidad ecológica.

Como nuestro estudio se refiere a los equipos de las piscifactorías que ya tienen derechos de agua, la autorización administrativa se obtiene más fácilmente, siempre que no se aumente el caudal desviado en la captación. Sin embargo, se requiere un expediente administrativo en el caso de que la futura turbina quiera instalarse en el cauce del río o en el canal (tipo de turbina hidráulica). La autorización administrativa es finalmente necesaria para cualquier modificación prevista en lugares accesibles a la vida acuática, así hasta la red de una explotación.

Por lo general, el impacto ecológico de una salida de la piscifactoría es muy leve, por lo que la autorización administrativa es una formalidad.

### 3.1.2. Aspecto financiero

#### *Estimación de la producibilidad*

El dimensionamiento del proyecto es el primer paso para la instalación de una central hidráulica. Permite evaluar la potencia óptima a instalar para tener la mejor productividad posible. Esta potencia se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = Q \times h \times G \times \rho$$

P : potencia recomendada (kW)

Q: caudal medio disponible (m<sup>3</sup>/s)

h : altura de caída (m)

G : aceleración de la gravedad = 9,81 m/s<sup>2</sup>.

ρ : rendimiento de la turbina

La altura y el rendimiento de la turbina elegida son datos que pueden recogerse rápidamente, mientras que el módulo es un parámetro más sutil que requiere un método muy específico.

En efecto, el caudal es muy variable a lo largo del año con, además, años secos y húmedos. Por lo tanto, la determinación de un flujo medio anual requiere un trabajo de decenas de años. Los caudales más fiables los dan las estaciones de medición, situadas en los principales ríos del territorio, que llevan décadas recogiendo datos. El método consiste en ajustar los datos de la estación de medición más cercana al lugar, prorrateando la zona de captación de la estación de medición a la del lugar estudiado.

La cuenca hidrográfica de un punto es un espacio geográfico que alimenta el río aguas arriba de este punto y que es drenado por él. Al estar especificada la cuenca de la estación en la página web de "France-Hydro", basta con medir la superficie de la cuenca del emplazamiento para tener un prorrateo y deducir su módulo.

$$C = \left( \frac{BV \text{ site}}{BV \text{ station}} \right)^{0.8}$$

Nótese que se ha añadido un coeficiente de regulación (= 0,8) para representar la pérdida de agua en la cuenca por infiltración.

Figura 21: Cuenca hidrográfica

Con este método, se puede construir una curva específica de caudales clasificados para cualquier punto estudiado, con las frecuencias medias anuales de los caudales.

El caudal autorizado representa el caudal real del río menos el caudal de la corriente que debe dejarse en el lecho del río para garantizar la vida de los peces (= 0,1 x módulo).

*Figura 22: Curva de flujo clasificada*

En nuestro caso, la curva de los caudales clasificados será más regular que la de la imagen anterior porque la extracción de agua por parte de las piscifactorías es casi constante a lo largo del año. En efecto, como el caudal máximo de desviación ya es bastante bajo, podemos considerar que en periodo de estiaje la piscifactoría retira la mitad del caudal máximo.

La producción potencial de una central hidroeléctrica viene determinada por la capacidad instalada, la tasa de funcionamiento a plena potencia y el precio de reventa de la energía.

Una central hidroeléctrica convencional funciona a plena potencia entre 2000 y 4000 horas al año (un año representa 8760 horas) debido a la gran variación del caudal disponible en el río. En este caso, la central podría funcionar de forma continua durante todo el año debido al flujo constante de agua dentro de la explotación. No obstante, limitaremos el funcionamiento anual de la central a **7000 horas, que es un valor muy interesante**.

Por último, para cualquier nueva instalación existe un nuevo contrato de compra "H16" para revender la electricidad producida. Este contrato sólo es posible con la inyección total de la producción (sin autoconsumo) durante un periodo de 20 años. El precio de compra de la electricidad es de **136 euros/MWh** con un solo componente.

### *Viabilidad de un proyecto hidroeléctrico*

El coste de la instalación es muy variable según el lugar y la tecnología elegida. En el caso de los equipos para piscifactorías, toda la parte de ingeniería civil ya existe y es funcional, lo que reduce considerablemente el coste de la instalación.

La principal inversión es la compra e instalación de la turbina y la parte eléctrica (generador, transformador y armario eléctrico), a lo que se añadirán posibles obras de renovación en la ingeniería civil (inserción de válvulas y tuberías).

En el caso de la elección de la turbina de hélice para el equipamiento de la piscifactoría estimamos un coste de la instalación por kW que incluye la compra de la turbina, los componentes eléctricos y todas las modificaciones a realizar en la obra civil. Esta solución es interesante y adecuada para pequeñas potencias con un flujo constante.

**Inv = 4000 €/kW instalado**

Hay que recordar que este precio es sólo una estimación y se refiere únicamente a las instalaciones con una potencia de entre 5 y 15 kW, la potencia media que se puede utilizar en las piscifactorías.

A partir de las estimaciones anteriores sobre el volumen de negocio y el coste de la instalación, podemos evaluar la viabilidad del proyecto, el tiempo de retorno de la inversión así como la tasa interna de retorno (TIR).

### 3.1.3. Solución para sitios sin espacio libre (Wikiwand, s.f.)

Por último, los emplazamientos que no disponen de un cabezal a la salida de la piscifactoría pueden considerar la instalación de una turbina de agua.

El potencial de una turbina mareomotriz se calcula con la siguiente fórmula:

A esto se añade el límite de Betz (= +/- 60%), un coeficiente que permite que el flujo continúe aguas abajo.

Esto da una potencia recuperable de :

$$P_{max} = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 = 295 \cdot S \cdot V^3$$

La eficiencia de la hélice hace que no se alcance el límite de Betz. Hay diferentes tipos de turbinas:

$$P_{cin} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a \cdot S \cdot V^3 \text{ en W}$$

- Turbina de eje horizontal (HAWT):  $R = 0,48$  (= 80% Cc)
- Turbina de eje vertical (VAWT) sin conversión:  $R = 0,42$  (= 70% Cc)
- VAWT con conversión ( $E_p$  a  $E_c$ ):  $R = 0,67$  → Límite al 60% Betz (= 100% Cc)

Se estima que para que la instalación de la turbina mareomotriz sea interesante se requiere una velocidad de flujo mínima de **2 m/s**.

### 3.1.4. Ejemplo: piscifactoría existente con producción hidroeléctrica

Una piscifactoría local ha instalado recientemente una turbina de hélice a la salida de su explotación para aprovechar el salto de agua existente entre los últimos estanques y el lecho del río. La explotación toma el agua de la derivación del río, con estanques colocados en serie entre ellos (véase la imagen inferior). Como se ha mencionado anteriormente, este sistema es preferible para la producción hidroeléctrica en comparación con una operación paralela que ve su flujo dividido por el número de estanques. En nuestro caso, la salida es casi igual a la entrada (hay que tener en cuenta las pérdidas en la explotación). El propietario de esta granja ha decidido reutilizar esta agua ya filtrada y muy constante para producir electricidad.

Figura 23: Estanques en serie

Como el caudal es de 300l/s, puede recuperar el equivalente a 200l/s al final de la operación en una altura de 6 metros, lo que resulta en una potencia eléctrica de :

$$P = Q \times h \times G \times \rho = 0,2 \times 6 \times 9.81 \times 0.8 = 9,4 \text{ kW}$$

Como el caudal sólo varía ligeramente, se decidió elegir una turbina de hélice, una tecnología sencilla con un coste razonable que podría funcionar aproximadamente 7000 horas al año. Estos valores permiten una producción anual de :

$$Prod = P \times 7000 = 65800 \text{ kWh}$$

La empresa también tiene una actividad de procesamiento de truchas que requiere unidades de frío que funcionan todo el año, y consume unos 120.000 kWh al año. Estimando la inversión inicial en 40 000 euros entre la turbina de hélice de 9kW, la tubería metálica de 8 metros de longitud y el sistema eléctrico (conexión a la red, ...), esta instalación le permitirá dividir por dos la factura anual de electricidad.

Dejando a un lado la parte económica, la piscifactoría participa ahora en la transición ecológica al adherirse al plan climático 2020 de la CAPB, descentralizando un poco más la producción eléctrica del territorio y ganando autonomía energética a nivel de la explotación.

*Figura 24: Turbina de hélice al final del funcionamiento*

## 3.2. Fotovoltaica: lugares sin potencial hidroeléctrico

Los paneles solares fotovoltaicos representan una de las tecnologías más dominadas para la producción de electricidad a partir de fuentes de energía renovables. Si el sistema de acuaponía funciona sin una fuente de agua o si la granja no tiene potencial hidroeléctrico, el uso de la energía solar puede ser otra forma de conseguir un sistema optimizado energéticamente.

### 3.2.1. Aspecto técnico

Teniendo en cuenta el potencial solar de Francia, el País Vasco tiene una irradiación solar superior a la media, que se sitúa en torno a los 1350 kWh/m<sup>2</sup>.

Paralelamente a esta exposición solar, es necesario definir el lugar adecuado para instalar los paneles. Los tejados suelen ser lugares privilegiados para ello, ya que la instalación estará en altura maximizando así el tiempo de asoleo en el día, sin ocupar un terreno adicional. En este caso, sigue siendo necesario adaptarse a la orientación e inclinación de la cubierta existente, siendo las condiciones óptimas una superficie orientada hacia el sur con una inclinación óptima en torno a los 30°.

Hay que tener en cuenta que nuestro estudio se centra en las piscifactorías de las zonas de montaña, ya que las explotaciones suelen estar situadas en el corazón del valle en zonas muy sombrías. En efecto, el potencial solar de un lugar depende mucho de la calidad de su horizonte, que representa los obstáculos físicos existentes que pueden acortar el tiempo de insolación del lugar. Estos obstáculos pueden ser montañas, pero también casas y árboles cerca del techo. Aquí abajo hay una máscara del horizonte al nivel de la pared a la izquierda de Banca, podemos notar claramente la presencia de las montañas en el ESTE que vendrán a ocultar el sol durante todo un período de la mañana.

*Figura 25: El sol en Francia*

*Figura 26: Máscara de la línea del horizonte*

Si el potencial del emplazamiento está justificado, queda por definir el tipo de instalación eléctrica deseada: inyección completa en la red, autoconsumo o reventa del excedente con o sin almacenamiento. El almacenamiento de electricidad es actualmente un proceso muy caro en comparación con las ganancias que aporta. El autoconsumo puede ser interesante si el consumo eléctrico de la granja está en fase con la producción de electricidad, es decir, durante el día y especialmente en verano, por la presencia de unidades de refrigeración, por ejemplo.

En todos los casos, la instalación debe conectarse a la red eléctrica, y el coste de esta conexión puede variar mucho en función de la potencia de la instalación (un aumento significativo a partir de 36kWp, es decir, 180m<sup>2</sup>) y de la distancia al transformador.

Por último, el estudio de la estructura del tejado y su capacidad para soportar la carga adicional de los paneles no es obligatorio para los particulares, pero sí puede tranquilizarlos. En la región estudiada, los tejados son en su mayoría de tejas, por lo que la sustitución de las tejas por un sistema de tejado de acero donde se fijarán los paneles solares aligerará finalmente la carga total.

### 3.2.2. Aspecto legal

Una instalación fotovoltaica no tiene ningún impacto específico en el medio ambiente, aparte de la modificación del paisaje. Para ello, sólo pueden oponerse al proyecto el Architecte Bâtiment de France y el ayuntamiento, y ello sólo si el emplazamiento está dentro del perímetro de un monumento histórico (menos de 500 m).

El ABF da su opinión y hace una recomendación al ayuntamiento, que decidirá si el proyecto puede llevarse a cabo.

### 3.2.3. Aspecto financiero

#### *Estimación de la producibilidad*

Dependiendo de los parámetros técnicos y físicos del emplazamiento, tal y como se ha descrito en el apartado "aspecto técnico", el potencial energético puede variar mucho. La insolación es relativa al recurso solar regional existente, al horizonte del emplazamiento que destaca todas las máscaras solares potenciales, así como a la orientación e inclinación del tejado.

Conociendo la insolación regional y el potencial mínimo para tener una producción anual razonable, la insolación de los tejados se sitúa generalmente entre 1000 kWh/kWp/año y 1150 kWh/kWp/año.

Por tanto, fijaremos una insolación media de **1075 kWh/kWp/año**.

#### *Sostenibilidad del proyecto*

La inversión para este tipo de instalaciones depende en gran medida de la potencia instalada. Si la potencia no supera los 36kWp, se puede hacer una estimación bastante precisa de la inversión total porque el tipo de fijación y el precio de la conexión no tendrán una influencia real. La única variable será la propia potencia.

Como podemos ver en el gráfico, el precio/kWh de la instalación varía significativamente en función del tamaño del proyecto. Se puede hacer una simplificación del cálculo de la inversión para instalaciones < 36kWp :

$$\text{Inv (€)} = 2460 - 32,9 \times P_{\text{instalée}}$$

Para instalaciones > 36kWp, la variable de escala del proyecto se vuelve despreciable, por lo que la inversión total puede expresarse como :

$$\text{Inv (€)} = 1100 \times P_{\text{installé}}$$

Sin embargo, a partir de esta potencia (36kWp) el coste de la conexión a la red realizada por ENEDIS puede variar mucho. En efecto, todos los transformadores del territorio no están adaptados para recibir tal potencia, por lo que podría ser necesario un refuerzo del transformador, lo que supondría importantes costes adicionales para el propietario del proyecto.

*Figura 27: Inversión por kWp fotovoltaico*

En el caso de una inyección en la totalidad de la producción eléctrica, la reventa está subvencionada por el Estado en el marco de una obligación de compra durante 20 años, por lo que la viabilidad del proyecto puede calcularse fácilmente. Estos son los precios actuales:

Potencia de su sistema solar	Precio de venta total (€/kWh)
≤ 3 kWp	0,1797
≤ 9 kWp	0,1527
≤ 36 kWp	0,1135
≤ 100 kWp	0,0987

*Cuadro 1: Índice de reventa - inyección completa*

Para el autoconsumo, la viabilidad económica debe calcularse conociendo el consumo de la empresa en tiempo real, o al menos el consumo estacional. Es necesario contar con el mayor índice de autoconsumo posible para que el proyecto sea viable, aunque suponga subdimensionar la instalación. Siendo los periodos de máxima producción días y durante el verano, es necesario tener consumos en fase que consuman durante estos periodos. El excedente de electricidad se inyectará en la red, aquí está el precio del kWh vendido en el caso del autoconsumo (12/2020) :

Potencia de su sistema solar	Tarifa excedente (€/kWh) del 25/10 al 31/12
≤ 3 kWp	0,10 €
≤ 9 kWp	0,10 €
≤ 36 kWp	0,06 €
≤ 100 kWp	0,06 €

*Cuadro 2: Tarifa de reventa - Uso propio*

Por otro lado, sabemos que una instalación en condiciones óptimas funcionará al 90% de su potencia máxima, por lo que si el consumo mínimo de la explotación supera este umbral, toda la producción eléctrica puede ser autoconsumida.

## 4 Estudio de caso: futura granja en la región

### 4.1. Descripción del proyecto

La futura granja sería un proyecto de diversificación basado en un modelo de agricultura campesina, a escala humana, que comercializa en un circuito corto. El objetivo es disponer de varios talleres de producción y desarrollar la mayor autonomía posible en la explotación (insumos, energía, materias primas, etc.).

Situada en la ladera de una montaña, la granja se abastece de agua exclusivamente a través de un manantial natural, lo que da la posibilidad de desarrollar otra actividad: la acuaponía. En este contexto, la acuaponía sería una actividad complementaria a la producción de fruta (arboricultura y pequeños frutos) y a la horticultura. Incluso en pequeñas cantidades, el pescado sería

*Figura 28: Vista por satélite de la explotación*

valorado en un enfoque de calidad y una comercialización en circuito corto. La especie está por definir, pero las carpas parecen ser adecuadas tras un trabajo de revalorización del uso de este pescado a nivel local.

El proyecto de acuaponía se ha diseñado en el edificio de la derecha. Esta actividad requiere un aporte de luz para el desarrollo de las plantas por fotosíntesis, el techo deberá ser sustituido por un material transparente en una superficie que dependerá del dimensionamiento del proyecto, las cuencas de cría no necesitan esta luz.

Otro objetivo sería desarrollar las plantas más deficitarias del territorio a través de la acuaponía, como :

- Ensaladas
- Aromáticos
- Fresas
- Pepinillos
- Pimientos
- Cebollino/cebolla

*Figura 29: Vivienda de la granja*

Este proyecto no tiene la misma envergadura que las piscifactorías mencionadas en el estudio, pero aun así trataremos de identificar las diferentes vías para optimizar la gestión de la energía en la futura granja. Dejando de lado la biomasa y la energía eólica (administrativamente complicada en la región de Aquitania), se estudiará el potencial solar e hidroeléctrico para este caso concreto.

## 4.2. Potencial hidroeléctrico

Para la hidroelectricidad, el agua se toma de un manantial y se almacena en un embalse. Una tubería lleva el agua a la casa situada 20 m más abajo para que tenga suficiente presión para su uso.

Como la fuente de agua se utiliza para el agua potable de la casa, la central eléctrica no debe obstaculizar esta función principal del agua. Para ello, privilegiaremos la instalación de la turbina aguas arriba del tanque para desarrollar la altura entre la fuente y el almacenamiento de agua sin que ello impida la presión de agua potable a la llegada en la casa. Aquí, sólo hay 3 metros entre el manantial y el embalse, lo que limita mucho el potencial hidroeléctrico.

$$P = Q \times h \times G \times \rho$$

Las lecturas periódicas durante todo un año mostraron un caudal del manantial que variaba entre 0,15l/s y

*Figura 30: Esquema del sistema de agua potable*

0,3l/s, con una media de 0,2l/s. Se trata de un caudal muy bajo en un área pequeña, limitado a la sección del muelle-embalse.

Tenemos un caudal  $Q=0,2l/s$ ; una altura  $h=3m$ ; un rendimiento medio de la turbina  $\rho 0,8$ ;  $G=9,81 m/s^2$ , para una potencia eléctrica total :

$$P = Q \times h \times G \times \rho = 0.2 \times 3 \times 9.81 \times 0.8 = 4.71W$$

Por último, con un tiempo de funcionamiento anual de 7000h, estimamos la producción anual en :

$$P = 4.71 \times 7000 = 32,9 kWh/an$$

*Figura 31: Fuente de agua potable y depósito*

El potencial hidroeléctrico en este lugar es obviamente muy bajo, sabiendo que también habrá que tener en cuenta las pérdidas lineales del conducto en aproximadamente 10 metros. Teniendo en cuenta que un hogar francés medio tiene un consumo eléctrico de 3500 kWh/año, el producible de esta instalación sería irrisorio en comparación con el consumo de la explotación, necesariamente superior al de un hogar.

En conclusión, esta configuración de la red de agua potable no es adecuada para la producción hidroeléctrica.

### 4.3. Potencial fotovoltaico

Como ya se ha dicho, la fotovoltaica puede ser una solución interesante para los emplazamientos que no tienen un potencial hidroeléctrico real, como es nuestro caso.

*Figura 32: Vista de la finca - Catastro Solar*

Aquí está una imagen de satélite del catastro solar realizado por la Comunidad de Aglomeración del País Vasco. El código de colores permite tener una primera idea del potencial existente en el tejado, y el software indica explícitamente que el redil y la casa no presentan ningún potencial. De hecho, podemos ver una zona boscosa al sur de los edificios de la izquierda que obstaculizará fuertemente una producción fotovoltaica. Por lo tanto, estudiaremos el potencial fotovoltaico del edificio de acuaponía situado en medio de un campo, alejado de los demás edificios.

Tras haber realizado mediciones in situ y estudios en Geoportail, estos son los datos relativos al techo de la pocilga:

- Orientación (en el sentido de las agujas del reloj - 180° es el sur) = 152
- Inclinación = 20°.
- Superficie del techo en el lado SUR = 121 m<sup>2</sup>.

*Figura 33: Superficie del tejado - edificio de acuaponía*

Estos datos, junto con la calidad del horizonte del sitio medido en Heliorama, nos permiten tener una idea bastante precisa del potencial que podríamos esperar. En nuestro caso, se estima que la insolación es de **1055kWh/kWp/año**.

Un panel fotovoltaico tiene una superficie de 1,7m<sup>2</sup> para una potencia de unos 300Wp, por lo que es necesario contar con 6m<sup>2</sup> para alcanzar una potencia de 1kWp. Por tanto, el tejado podría albergar una instalación de 20kWp. Sin embargo, la cuestión energética se suma al proyecto de acuaponía, debe ser coherente con el diseño de este último. Un proveedor de servicios realizó un predimensionamiento del proyecto y propuso un primer plano del mismo.

Como se muestra en el diagrama simplificado que aparece a continuación, en 220m<sup>2</sup> de superficie interior, 30m<sup>2</sup> de cultivo de alcaparras serán suficientes para una producción total de plantas de 150m<sup>2</sup>. Al necesitar las plantas un importante aporte de luz para su buen desarrollo, todo el techo del depósito de acero deberá ser sustituido por un material transparente. Las paredes del edificio son de bloque de hormigón, la luz sólo entrará por el tejado, por lo que el lado sur del tejado tendrá una importante función de iluminación.

Como los paneles fotovoltaicos también utilizan la radiación solar para producir electricidad, hay que encontrar un compromiso para que ambas actividades puedan coexistir. El uso de **marquesinas fotovoltaicas** (Talev, s.f.) es una posible solución porque permite el paso parcial de los rayos solares; es la tecnología utilizada en los llamados invernaderos fotovoltaicos. La potencia unitaria de cada panel es naturalmente menor, pero aún así podríamos imaginar una cubierta totalmente transparente al norte con la cara sur formada únicamente por vidrio fotovoltaico para optimizar la luminosidad en el interior del edificio.

*Figura 34: Esquema simplificado del proyecto*

*Figura 35: Toldo fotovoltaico*

En una superficie de 120m<sup>2</sup> totalmente cubierta con marquesinas fotovoltaicas OPTISOL con una potencia superficial de 100Wp/m<sup>2</sup>, podríamos alcanzar una potencia total de 12kWp. Con el sol que hay en el lugar, se podrían producir **12.700kWh al año**.

En cuanto al consumo del sistema acuapónico, sólo hay que tener en cuenta la bomba de agua. La bomba debe ser capaz de renovar el agua una vez por hora para garantizar una buena calidad del agua. Dado que nuestro depósito tiene un tamaño de 30m<sup>2</sup> y una altura de 0,5m, debemos elegir una bomba de agua capaz de mover 15m<sup>3</sup>/h con una altura total de 2 metros. Elegiremos una bomba de estanque CTP 16000 de 140 vatios, adecuada para un caudal de 16m<sup>3</sup>/s y una altura de 7 metros. Suponiendo que la bomba funcione continuamente para hacer circular el agua, consumiría el equivalente a **1200 kWh/año** (Trucha de acuaponía, s.f.) .

Al mismo tiempo, funcionará una unidad de frío para la conservación de las frutas frescas hasta su venta o su transformación en zumo. Para ello, se ha elegido la cámara frigorífica positiva -5°C/+10°C FEMB1006M de 1200W, adaptada para una sala de 7m<sup>3</sup>. La unidad de frío funciona una media de 18h/día (principalmente durante el día), estimamos su consumo anual en **7900 kWh/año**.

La enfriadora es una verdadera ventaja para el autoconsumo porque su potencia de funcionamiento está totalmente en fase con la producción fotovoltaica. Considerando que la enfriadora funciona exclusivamente de día durante las horas de producción fotovoltaica y que la mitad del consumo de la bomba será también durante este periodo, estimaremos que se consumen **8500kWh** al año durante el día.

*Figura 36: Curvas de consumo con generación fotovoltaica*

12kWp produciendo 12 700kWh/año, podríamos reducir esta potencia para ganar luminosidad en el edificio a la vez que optimizamos la tasa de autoconsumo de la instalación. Además, las instalaciones <9kWp se benefician de un precio de reventa del excedente de 10c€/kWh, mientras que por encima de esta potencia baja a 6c€/kWp (Cuadro 2: Tarifa de reventa - Uso propio

Por lo tanto, reduciremos la potencia de la instalación a 9kWp para beneficiarnos plenamente de esta tarifa subvencionada para una producción de **9 495 kWh/año**. El altísimo índice de autoconsumo, en torno al 80%, nos permitirá utilizar 8000kWh/año directamente de forma interna, reduciendo la factura energética sabiendo que el precio actual de la electricidad es de 0,1557€/kWh. El resto se venderá al proveedor que elijamos a través de la red, a 0,10€/kWh.

$$CA = 8000 \times 0.1557 + 1495 \times 0.1 = 1245.6 + 149.5 = \mathbf{1395.1\text{€}}$$

Estimamos que la inversión inicial, incluidas las subvenciones, es de **20.000 euros HT**, para un retorno de la inversión de 15 años. También

*Figura 37: Marquesinas fotovoltaicas*

hay que tener en cuenta que el precio de la electricidad aumentará con el paso del tiempo, lo que reducirá la rentabilidad de la inversión.

## 5 Conclusión:

La acuaponía combina una unidad de acuicultura con la producción de plantas en la superficie, lo que permite utilizar los residuos de una granja para el desarrollo de otra. Este sistema virtuoso ya encanta al mundo de la agricultura y despierta el interés de muchos agricultores que buscan cierta autonomía en su explotación. Resulta que este sistema aún puede optimizarse controlando la parte energética del sistema.

Esta parte apenas puede integrarse en una oferta llave en mano que incluya el sistema acuapónico y la unidad de producción de electricidad. Todas las explotaciones son diferentes y cada una tiene su propia forma de funcionar, por lo que el potencial energético de cada lugar debe estudiarse caso por caso. Este estudio resume las posibilidades de producción fotovoltaica e hidroeléctrica adaptada a las piscifactorías de las zonas de montaña, así como los principales criterios a tener en cuenta a la hora de evaluar el potencial. La hidroelectricidad es la opción preferida por su consistencia y abundancia en este tipo de explotaciones, pero también hemos visto que la fotovoltaica puede ser otra solución relevante si el potencial hidroeléctrico es insuficiente.

Por último, la asociación de la acuaponía con la producción de energías renovables puede ser un punto estratégico para el agroturismo, la imagen de "calidad" de la explotación y la comunicación; estos aspectos no son desdeñables. Un proyecto de este tipo sería también un escaparate para esta asociación, que todavía está muy poco desarrollada en la zona.

## Anexos

### Tabla de ilustraciones

Figura 1: Pirineos Atlánticos .....	2
Figura 2: Funcionamiento en paralelo.....	2
Figura 3: Funcionamiento en serie .....	2
Figura 4: Hidroponía.....	3
Figura 5: Funcionamiento general de la acuaponía .....	3
Figura 6: Adaptabilidad de las turbinas a los caudales variables .....	4
Figura 7: Turbina Pelton .....	5
Figura 8: Turbina Francis .....	6
Figura 9: Funcionamiento de la turbina Francis .....	6
Figura 10: Turbina Kaplan.....	7
Figura 11: Funcionamiento de la turbina Kaplan .....	7
Figura 12: Turbina de hélice .....	8
Figura 13: Turbina Banki-Mitchell .....	9
Figura 14: Banki-Mitchell 2 compartimentos .....	9
Figura 15: Rueda de paletas .....	10
Figura 16: Tornillo hidrodinámico .....	11
Figura 17: Detalle del tornillo hidrodinámico.....	11
Figura 18: Turbina VLH .....	12
Figura 19: Sistema completo de BVS.....	12
Figura 20: Sistema de vórtice turbulento .....	13
Figura 21: Cuenca hidrográfica.....	15
Figura 22: Curva de flujo clasificada .....	16
Figura 23: Estanques en serie - piscifactoría "Banka Trout" .....	17
Figura 24: Turbina de hélice al final del funcionamiento .....	18
Figura 25: Piscifactoría "Trucha de Banka .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figura 26: El sol en Francia .....	19
Figura 27: Máscara de la línea del horizonte.....	19
Figura 28: Inversión por kWp fotovoltaico .....	20
Figura 29: Vista por satélite de la explotación de Irouléguy .....	21
Figura 30: Vivienda de la granja .....	22
Figura 31: Esquema del sistema de agua potable .....	23
Figura 32: Fuente de agua potable y depósito .....	23
Figura 33: Vista de la finca - Catastro Solar .....	24
Figura 34: Superficie del tejado - edificio de acuaponía .....	24
Figura 35: Diagrama simplificado del proyecto.....	25
Figura 36: Toldo fotovoltaico.....	25
Figura 37: Curvas de consumo con generación fotovoltaica.....	25
Cuadro 1: Resumen de las tecnologías.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Cuadro 2: Índice de reventa - inyección completa .....	21
Cuadro 3: Tarifa de reventa - Uso propio .....	21

## Referencias

- (n.d.). Extraído de Soft Energy: <https://www.energiedouce.com/content/21-conseils-faq-hydro-turbines-et-turbines-hydroelectriques>
- (n.d.). Obtenido de Wikipedia: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine\\_Kaplan](https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_Kaplan)
- (n.d.). Obtenido de Enseeiht: <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/2378>
- (n.d.). Obtenido de Gratia-hydro: [https://www.gratia-hydro.com/fr/23\\_rendement-roue-a-aubes-moderne.html](https://www.gratia-hydro.com/fr/23_rendement-roue-a-aubes-moderne.html)
- (n.d.). Obtenido de Formatis: <http://blog.formatis.pro/turbines-vlh>
- (n.d.). Obtenido de Turbulent: <https://www.turbulent.be/homepage>
- (n.d.). Obtenido de Turbiwatt: <https://www.turbiwatt.com/>
- (n.d.). Obtenido de Wikiwand: <https://www.wikiwand.com/fr/Hydrolienne>
- (n.d.). Obtenido de Aquaponics Trout: <https://www.truitesaquaponiques.com/2019/02/11/pompe-eau-aquaponie-choisir/>
- (n.d.). Extraído de Talev: <http://talev.fr/photovoltaique/integration-verriere/OPTISOL.pdf>