

## OBETIVO C:

Evaluar, en la cuenca del Oria, la mortalidad que causan las centrales hidroeléctricas en la población de anguila y proponer medidas correctoras para reducirla

---

*Estibaliz Díaz (AZTI)*

*Maria Korta (AZTI)*

*Eider Andonegi (AZTI)*

*Aizkorri Aranburu (AZTI)*

*Javier Franco (AZTI)*

*Marina Santurtún (AZTI)*

*Iker Azpiroz (EKOLUR)*

*Sergio Gaspar (EKOLUR)*

*Ana Felipe (EKOLUR)*



## C.1 INTRODUCCIÓN

La regulación (EC) No 1100/2007 en su artículo 9 requiere a los estados miembros que informen y evalúen la efectividad y el resultado de sus planes de gestión nacionales. Entre los principales puntos a informar se encuentra el de “nivel de los factores de mortalidad ajenos a la actividad pesquera propiamente dicha, y la reducción efectuada con arreglo a lo dispuesto en el artículo 2, apartado 10.”. De acuerdo al grupo de trabajo WGEEL (ICES 2010) esta información debería de incluir entre otros, aspectos relacionados con la mortalidad por turbinas, uno de los principales factores de mortalidad de las anguilas plateadas o reproductoras en su migración descendente al mar. En concreto debería incluir los siguientes aspectos:

- Localización de las turbinas y el área húmeda/producción de anguila por encima de la turbina,
- Mortalidad en las turbinas (biomasa) y/o tasa de mortalidad,
- Mortalidad acumulada/tasa de mortalidad de la serie de turbinas, y,
- Medidas de mitigación y reducción de la biomasa de las anguilas muertas por turbinas.

Las centrales hidroeléctricas son uno de los factores que han contribuido al declive de la población de anguila (ICES 2002). El tránsito por una turbina se traduce en un importante aumento de la velocidad de paso, un aumento de la presión seguido de una brutal descompresión a la salida de la rueda, con una posibilidad de choque con una parte fija o móvil de la turbina (álabe o pala). La anguila, teniendo en cuenta su talla y forma, es una de las especies que migran en descenso más expuestas a choques mecánicos, que pueden provocar fracturas, perforaciones, laceraciones o incluso que el individuo quede completamente seccionado (INDICANG 2008).

Existen diferentes revisiones de las mortalidades causadas por turbinas para el caso de anguila (ICES 2002, 2007 y 2010b; INDICANG 2008). Los estudios para determinar la mortalidad en turbinas se basan principalmente en capturar anguilas a la salida de turbinas o en seguimientos mediante telemetría.

La mortalidad asociada a determinado aprovechamiento hidroeléctrico es muy variable, depende de numerosos factores (dimensiones y caudal del curso fluvial y del aprovechamiento, configuración de la toma y obstáculo asociado,

caudal derivado, tipo de turbina, características de la población, periodos de migración, régimen hidrológico, etc.) y se podría afirmar que es particular y único para cada aprovechamiento. En el presente estudio y a partir de una revisión bibliográfica de los estudios de mortalidad llevados a cabo en el área de distribución de la especie, se pretende realizar una estimación teórica del impacto o mortalidad por los aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca del Oria en la migración descendente de anguila plateada.

Esta estimación teórica corresponde a la población actual de anguila en base a su distribución en la cuenca del Oria, la cual se encuentra limitada como consecuencia de la presencia de obstáculos y falta de permeabilidad.

La estimación de la mortalidad de la población actual excluye por tanto áreas potenciales para la especie, así como aprovechamientos hidroeléctricos localizados en estas áreas de la cuenca. Con el objetivo de incluir estas áreas potenciales, equivalentes a una distribución prístina, se realizará una segunda estimación teórica de la mortalidad para la población potencial o prístina de la cuenca y la totalidad de los aprovechamientos hidroeléctricos localizados en esta área potencial o prístina.

Finalmente, se incluye una propuesta de actuaciones para reducir la mortalidad.

## **C.2 MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Revisión bibliográfica**

Se ha realizado una revisión bibliográfica sobre los tipos de turbina presentes en los ríos europeos, sus características, la mortalidad que provocan en la migración descendente de anguilas plateadas o reproductoras, así como de los estudios de seguimiento más relevantes llevados a cabo en este ámbito. Por otra parte, se han revisado las mortalidades por turbinas estimadas y aplicadas en los planes de gestión de varios países europeos.

A partir de esta revisión y como síntesis de los resultados recopilados en ella, se ha extraído una mortalidad teórica (rango de mortalidad) para cada tipo de turbina que se aplicará a los aprovechamientos de la cuenca del Oria.

## Caracterización centrales hidroeléctricas

Se ha realizado una caracterización de las centrales hidroeléctricas incluidas dentro del área de distribución actual y potencial de la especie en la cuenca del Oria. Se ha elaborado una ficha para cada aprovechamiento y el conjunto de estas fichas se incluye como anejo al presente informe (ANEXO C.1). La mayor parte de la información se extrae del “*Inventario de obstáculos en afluentes principales y eje central de la cuenca del río Oria*” (Diputación Foral de Gipuzkoa y Ekolur S.L.L., 2006)

Las fichas de caracterización de los obstáculos incluyen la siguiente información:

- **Identificación del aprovechamiento:** nombre del aprovechamiento.
- **Localización del obstáculo:** cuenca, río, coordenadas XY.
- **Características del obstáculo:** altura (m), presencia de escala (único tipo de dispositivo de franqueo en aprovechamientos en uso), existencia y localización (en toma o central/aprovechamiento) de posibles barreras contra el ingreso de peces en el canal, caudal de derivación (dato de concesión).
- **Fracción en migración:** estimación de anguilas plateadas (machos y hembras) en el área de afección del aprovechamiento (obstáculo), aguas arriba hasta el siguiente aprovechamiento (obstáculo).
- **Valoración de impactos:** incluye una valoración de la afección del aprovechamiento tanto a la migración ascendente (colonización) como a la descendente o migración al mar en base a las características del aprovechamiento, ubicación y abundancia de anguila plateada aguas arriba.
- **Medidas correctoras:** posibilidades de actuación para facilitar la migración ascendente y descendente de anguilas. En el caso de la migración descendente, las medidas hacen referencia a los aprovechamientos de mayor afección incluidos en el área de distribución actual.

## Potencial reproductor de anguila

Una vez identificados los aprovechamientos hidroeléctricos en el área actual y potencial de la especie, se ha calculado la abundancia de anguilas plateadas o

potencial reproductor en el tramo de afección de cada uno de los aprovechamientos. Se estima por tanto el potencial reproductor actual de la especie como el potencial o prístino:

### *Potencial reproductor actual*

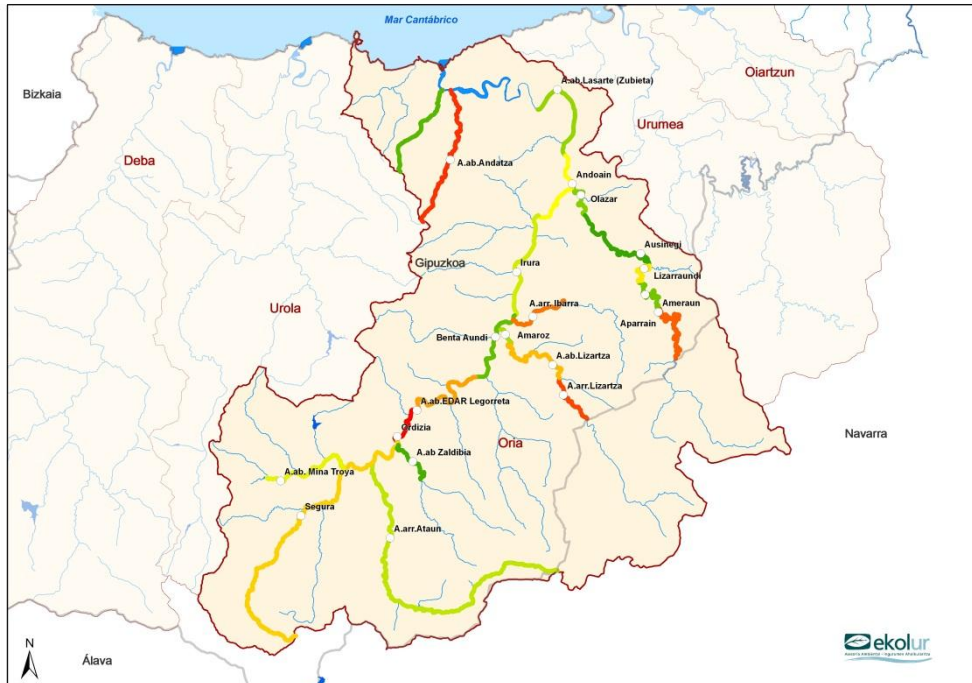
En el seguimiento de la especie que lleva cabo la Diputación Foral de Gipuzkoa de forma anual, se incluye el cálculo del potencial reproductor en la cuenca del Oria. A partir del cálculo del potencial reproductor realizado para el año 2011 en la cuenca del Oria (Diputación Foral de Gipuzkoa y Ekolur S.L.L., 2008-2011), se realiza una estimación del potencial reproductor o producción de anguilas plateadas aguas arriba de cada uno de los aprovechamientos incluidos en el área de distribución actual de la especie.

De forma resumida, el cálculo del potencial reproductor de anguila en la cuenca del Oria se basa en una red de muestreos de pesca eléctrica en estaciones distribuidas a lo largo de toda la cuenca, las cuales representan a determinados tramos fluviales (Fig. C.1). En cada estación de muestreo se estima la densidad y biomasa poblacional, así como la densidad y biomasa poblacional de anguilas plateadas mediante la identificación sexual a partir de determinadas características biométricas (Durif *et al.*, 2005).

Para el cálculo de la abundancia de anguila plateada aguas arriba de cada aprovechamiento hidroeléctrico, se ha estimado primero la longitud fluvial y la superficie húmeda correspondiente a su área de afección en dirección aguas arriba y mediante la combinación de los tramos y las estimas de abundancias derivadas del cálculo del potencial reproductor de la cuenca del Oria en 2011, se ha estimado el número total de anguilas plateadas para cada aprovechamiento, diferenciando entre machos y hembras.

Con el objetivo de comparar la mortalidad teórica de la población actual y la potencial o prístina, en el último caso no se ha diferenciado la población reproductora o en migración según el sexo, sino que se ha estimado directamente la abundancia de anguila plateada, de manera que tanto la estimación de la mortalidad actual como la mortalidad acumulada para cada aprovechamiento, se ha llevado a cabo sobre la población total de anguila plateada. Al final, sin

embargo, se ha incluido una estimación de la afección actual por sexo en base a su distribución en la cuenca.



**Figura C.1.** Red de las estaciones de muestreo y los tramos realizados para el cálculo del potencial reproductor de anguila en la cuenca del Oria, año 2011.

*Potencial reproductor potencial o prístino*

La estimación de la abundancia prístina de anguila en la cuenca del Oria se basa en un modelo desarrollado en el Reino Unido denominado *Reference Condition Model* (RCM) (Arahamian *et al.*, 2007). En este caso la aproximación realizada es más grosera y sencilla, no pretende ser una referencia para la estimación de la población prístina de anguila en la cuenca del Oria pero cumple con unos requisitos mínimos de cara a poder realizar el presente ensayo o estudio teórico de la mortalidad potencial en la cuenca.

La densidad de anguila en un curso fluvial desciende progresivamente según aumenta la distancia al límite mareal, ajustándose habitualmente a una curva exponencial:

$$y = ae^{-bx},$$

donde “y” es la densidad de anguila por unidad de superficie, “a” corresponde a la densidad de anguila en el límite mareal (cuando “x”= 0), “x” es la

distancia al límite mareal y “*b*” corresponde a la tasa de disminución de la especie por kilómetro.

En algunos casos, como el río Severn en el Reino Unido, se considera que la abundancia actual de anguila en el límite mareal se encuentra al límite de la capacidad de carga y que corresponde por tanto a la abundancia prístina en este punto, refiriéndose esta carga a una densidad de 15.200 anguilas/ha (Ibbotson *et al.*, 2002). Se carece de datos de densidad de anguila en el límite mareal para el caso del río Oria, sin embargo en muestreos realizados muy cerca del límite mareal en ríos cercanos de Gipuzkoa como Deba o Urola para los estudios de seguimiento llevados a cabo por la Diputación Foral de Gipuzkoa, se obtienen valores de densidad similares.

En consecuencia, partiendo de una densidad máxima de 15.200 anguilas/ha en el límite mareal y con la densidad media de anguila estimada para el curso principal del Oria en los últimos 4 años (2008-2011), se obtiene una ecuación exponencial, con una determinada tasa de disminución de la densidad de anguilas por kilómetro fluvial.

En el plan de gestión de la anguila, en una primera aproximación realizada para la cuenca del Oria, se estimó que la abundancia actual de anguila correspondía al 37,3 % de la población prístina. A partir de la densidad prístina de anguila en el límite mareal, equivalente a la actual (15.200 anguilas/ha), se ha elaborado una nueva ecuación exponencial reduciendo la tasa de disminución (“*b*”) estimada para la población actual en la misma proporción que la diferencia (en %) entre la población actual y prístina en la cuenca del Oria.

A partir de esta nueva curva exponencial se ha calculado la densidad prístina de anguila por cada km de distancia respecto al límite mareal. Esta densidad corresponde inicialmente al curso principal del Oria, sin embargo se ha aplicado similarmente en todos los afluentes de la cuenca. Para estimar la fracción reproductora o anguila plateada se aplica una tasa de plateamiento (%), variable y dependiente de la densidad poblacional, sobre la densidad poblacional estimada en cada kilómetro. La tasa de plateamiento para la cuenca del Oria se ha estimado a partir de los datos de densidad poblacional y del porcentaje de anguilas plateadas existentes en cada estación de muestreo de la cuenca del Oria y de algunas estaciones de cuencas adyacentes como los ríos Deba y Urola. Estos datos se han



recopilado durante los trabajos de seguimiento de la especie en Gipuzkoa durante el periodo 2008-2011.

Para el cálculo de la abundancia prístina o potencial de anguila plateada aguas arriba de cada aprovechamiento hidroeléctrico, se ha estimado primero la longitud fluvial y la superficie húmeda correspondiente a su área de afección, y con las densidades de anguila plateada obtenidas en el cálculo anterior se ha estimado el número total de anguilas plateadas en dicha cuenca.

### **Estimación de la mortalidad en turbinas**

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se ha determinado una tasa de mortalidad para cada tipo de turbina y aprovechamiento, en concreto se ha determinado un rango de mortalidad, mínimo y máximo, para las turbinas tipo Kaplan y Francis y un único valor para las Pelton. A partir de la caracterización de las centrales hidroeléctricas, su ubicación y la abundancia de anguila aguas arriba en el tramo de afección de cada una de ellas, se ha estimado la mortalidad que podrían causar estas turbinas en la fracción reproductora, tanto la mortalidad particular en cada central como la mortalidad acumulada a lo largo de todas ellas.

La mortalidad en cada aprovechamiento viene determinada primero, por el porcentaje o fracción de la población migradora o plateada que accede a él y posteriormente por el tipo de turbina existente. El porcentaje de anguilas que accede a un aprovechamiento es desconocido y muy variable, depende principalmente de los periodos y picos de migración, así como de los caudales circulantes en esos precisos momentos tanto por el río como por el aprovechamiento (ratio  $Q_{aprovechamiento}/río$ ). En consecuencia, ante el desconocimiento existente en torno a este punto y con el objetivo de simplificar el ejercicio teórico de mortalidad, la mortalidad que se aplica a la población migradora en cada caso o aprovechamiento corresponde a la mortalidad directa por turbinas extraída a partir de la revisión bibliográfica.

Aplicando el rango de mortalidad asignado a cada aprovechamiento en base al tipo de turbina que alberga, se han realizado también dos aproximaciones de mortalidad, máxima y mínima.

Para la población actual y potencial o prístina de anguila se ha estimado la mortalidad para el total de anguilas plateadas. Para la población actual, se ha

estimado también la mortalidad, diferenciándola por sexos, a partir de su distribución en la cuenca.

Finalmente, se ha tratado de identificar los puntos de mayor afección para la población en migración, tanto actual como potencial, para a posteriori establecer prioridades de gestión y proponer medidas correctoras.

## C.3 RESULTADOS

### Revisión bibliográfica

La mortalidad que causan las centrales hidroeléctricas es muy variable y depende de numerosos factores como el caudal, la forma del obstáculo y de su derivación, el tipo de turbina del que disponga, etc. Para las especies que migran, entre ellas la anguila, el principal problema estriba en la sucesión de centrales hidroeléctricas a lo largo de los ejes migratorios, que se traduce en un impacto acumulativo que puede alcanzar tasas de mortalidad muy elevadas, pudiendo llegar hasta el 100% (Dönni *et al.*, 2001; Dumont *et al.*, 2005; Dumont, 2006).

Durante la migración descendente, las anguilas siguen el flujo natural del río (Carton, 2001; Jansen *et al.*, 2007), un comportamiento conocido como “reotaxia”. Las barreras transversales al cauce, comúnmente conocidas como azudes, tiene como objetivo alterar el flujo del agua, ralentizar la velocidad de ésta y embalsarla con el fin de redirigir el exceso de agua hacia un aprovechamiento, normalmente una central hidroeléctrica, a través de una toma o canal de derivación. El movimiento descendente de la anguila, que sigue el flujo del agua, se desvía hacia los canales de derivación, directamente a las turbinas o a un paso alternativo (bypass) en el caso de que lo haya.

En estos casos, la cantidad de peces muertos depende en gran medida del porcentaje de animales que pasen por turbinas, hecho que se ve influenciado por la configuración de la toma y proporción de caudal en detracción principalmente. Por otro lado, el porcentaje de anguilas que muere en turbinas o la tasa de mortalidad, depende del flujo circulante y del tipo de turbina del que disponga la central (Larinier y Travade, 1998).

Dicho esto, a la hora de valorar la mortalidad en determinado aprovechamiento hay que tener en cuenta dos aspectos principales, la magnitud de la entrada de anguilas en él y la mortalidad causada por las turbinas.

### *Magnitud de la entrada*

La entrada de las anguilas a un aprovechamiento hidroeléctrico depende de la forma del obstáculo, la configuración de la toma de agua o canal de derivación respecto al eje del río (las anguilas migran por la corriente principal), el periodo de funcionamiento de las centrales (coincidencia con el periodo de migración de la especie), la presencia o no de barreras anti-peces (rejillas de protección por ejemplo) y de la presión hidrostática debida a la altura del salto o velocidad de corriente (INDICANG, 2008).

No obstante, el factor de mayor relevancia es probablemente la relación entre el caudal que circula por el río y el caudal que detrae el aprovechamiento, lo que determina la presencia o funcionamiento de rutas alternativas, en el caso de que las haya, para evitar el paso por turbinas.

### *Mortalidad por turbinas*

El problema de la migración aguas abajo ha sido conocido durante más de 200 años (Gerhardt, 1893). Sin embargo, sólo trabajos recientes proporcionan el conocimiento y la tecnología suficiente para tomar las medidas necesarias y proteger a los peces de las turbinas creando vías alternativas o pasos seguros tipo *bypass* (Larinier y Travade, 2002; Richkus y Dixon, 2003; ATV-DVWK 2004, Dumont *et al.*, 2005). Aunque los dispositivos ascendentes son comunes en muchos obstáculos, no son muchas las centrales hidroeléctricas que poseen dispositivos descendentes funcionales.

Los primeros trabajos de mortalidad provocada por centrales europeas fueron publicados por Raben Von (1955; 1957) y Berg (1986). A partir de estos estudios se concluyó que la mortalidad media causada en la población de anguila europea podría oscilar entre el 15 y 38%. Sin embargo, no solo las turbinas son causa de mortalidad, también la presencia de rejillas para impedir el paso de basura, pueden ocasionar lesiones cuando la velocidad del agua o aproximación es mayor que la propia capacidad natatoria del pez (Adam y Bruijs 2006).

En muchas centrales se ha optado por la instalación de este tipo de rejillas para evitar la entrada de peces y desechos arrastrados por el río. Estudios de laboratorio realizados por Adam (2000), muestran que las anguilas tras un periodo inicial de vacilación para pasar este tipo de rejillas, regresan con la intención de pasarla (Fig. C.2). Se ha demostrado que rejillas de un ancho de barra de 2 cm sólo son efectivas para individuos mayores de 70 cm, y de 1,8 cm para mayores de 40-50 cm (Jens, 1987). El conocimiento del comportamiento de la anguila en torno a las barreras y el calendario de eventos de migración puede conducir a una adecuada gestión y protección de la especie, utilizando las medidas correctoras adecuadas (Richkus y Dixon 2003; Durif *et al.* 2003; Bruijs *et al.*, 2003) (Durif y Elie, 2008).



**Figura C.2.** Anguilas recogidas por el peine o quita-hojas de rejilla de una central hidroeléctrica en el río Fulda, Alemania (foto: Adam B.).

En cuanto a los tipos de mortalidad, se pueden agrupar en cuatro categorías:

- Contacto del animal con una de las partes de la turbina, normalmente las palas de la hélice, provocando la bisección del animal.
- Una súbita aceleración o desaceleración de la velocidad del agua provocada en el borde de salida del corredor, puede crear una fuerza de cizallamiento suficiente para matar al pez.
- Los cambios y variaciones de presión pueden aumentar en tres veces la presión de referencia, pudiendo causar la rotura de la vejiga natatoria.

- La cavitación, que es la creación de burbujas de gas en un líquido por presiones por debajo de la presión de vapor puede causar lesiones internas en los peces.

Las variaciones de presión o de velocidad pueden ocurrir en cualquier lugar durante el paso de los peces, pero el contacto con las palas y la cavitación se producen sólo en áreas específicas, en superficies pequeñas, y pueden evitarse con un adecuado diseño y ajuste de la turbina.

La probabilidad de la mortalidad de peces provocada por contacto con las partes de la turbina es mayor para los peces más grandes. Los tipos de lesiones más frecuentes sufridas por las anguilas son las bisecciones, roturas de columna y hemorragias internas (Fig. C.3).



**Figura C.3.** Anguila plateada muerta a la salida de una central en el río Oria

Otros tipos de peces muestran tasas de mortalidad considerablemente menores. Esta mayor tasa de mortalidad registrada en anguilas se debe a su morfología, con una relación talla peso muy grande. Por tanto, las hembras son más susceptibles de morir que los machos. Prignon *et al.*, (1998) estiman que, en el río Meuse la mortalidad directa sobre los machos se sitúa entre el 35-45% y en las hembras, de tallas mayores, entre el 40-63%.

El porcentaje de anguilas que no sobreviven al paso por el aprovechamiento es muy variable según el caudal circulante y el tipo de turbinas de las que disponga. Es decir, la tasa de mortalidad puede variar significativamente de una central hidroeléctrica a otra, incluso en una misma central dependiendo del momento y las condiciones del medio. Además del uso de turbinas para la obtención

de electricidad, la utilización de bombas de agua para distintos usos (consuntivos o no) en zonas embalsadas como presas y azudes puede tener una importante repercusión en la población de anguila migradora, con tasas de mortalidad hasta del 100% en los modelos de bombas más modernos.

El tipo de turbinas que se pueden encontrar en los ríos europeos son Kaplan, Straflo o Francis y Pelton (Fig. C.4, C.5 y C.6). No obstante, la más común de ellas es la Kaplan. En una revisión de las mortalidades causadas por las Kaplan realizada por Bruijs y Durif (2009) se encontraron distintas tasa de mortalidad: 38% en Neckarzimmern Alemania (Berg, 1986), 22% en Dettelbach Alemania (Holzner, 1999), 20% en Obernau Alemania (Von Raben, 1957), 16–26% en el Meuse (Winter *et al.*, 2006), 24% en Beauharnois Canada (Desrochers, 1995) y 37% en Raymondville EEUU (Franke, *et al.*, 1997). No obstante, el mayor problema de la anguila plateada es la sucesión de centrales, acumulando una tasa de mortalidad muy elevada en su camino hacia el mar.

Dönni *et al.* (2001) estimaron que en un tramo con 11 centrales en el Rhine, la tasa de mortalidad acumulada era del 93% muy cercana a la estimada por Behrmann-Godel y Eckmann (2003) durante el paso sucesivo por 14 saltos hidroeléctricos en el río Moselle. En el río Rhône (Ródano), la tasa de mortalidad de las anguilas que parten desde Lyon sería del 90% hasta llegar al mar (Feunteun *et al.*, 1999). Winter *et al.*, (2006) radio-marcaron (*nedap-transponders*) 150 anguilas plateadas en el río Meuse de las cuales 121 migraron hacia el mar, alcanzando su objetivo el 37% de éstas.

En cuanto al tamaño de la turbina se refiere, las de pequeño tamaño son más letales, mostrando un incremento de mortalidad entre 5 a 25% respecto a las grandes (Haddingh, 1982; Haddingh *et al.*, 1992).

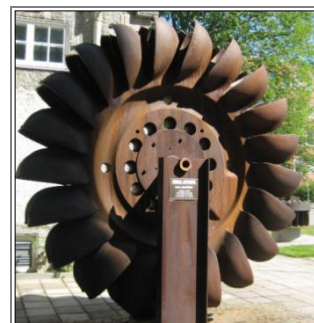
Las turbinas Francis, normalmente utilizadas en ríos pequeños, son más peligrosas por su menor anchura de apertura entre las palas. En un estudio realizado por Holzner (1999) se estimó que causan una mortalidad 2,5 veces mayor que las Kaplan. Por otro lado, la mortalidad causada por las Kaplan disminuye con mayor caudal, mientras que sucede lo contrario con las Francis (McCleave, 2001).



**Figura C.4.** Turbina tipo Kaplan



**Figura C.5.** Turbina tipo Francis



**Figura C.6.** Turbina tipo Pelton

Los Países Miembros han adoptado aproximaciones dispares a la hora de estimar la mortalidad debida a las turbinas (Tabla C.1). En el plan de Irlanda, se tomó una tasa de mortalidad del 28.5% al paso de cada turbina, dato derivado de la revisión del ICES 2002. Por tanto la probabilidad de sobrevivir al paso por “n” turbinas es de  $(0.715)^n$ . En el caso de Holanda, Vriese et al. (2008) determinaron que la mortalidad en cada central es de entorno al 18 % en el Rhin. En el caso de Suecia determinaron una mortalidad media del 70 % en cada central. En Polonia, basándose en la misma revisión del ICES 2002 determinaron las siguientes mortalidades dependiendo de la potencia de las centrales (Tabla C.2):

**Tabla C.1.** Recopilación de estudios sobre mortalidad relacionada con turbinas (ICES, 2002). 1 Cit. en McCleave (2001); 2 Cit. en Larinier y Dartiguelongue (1989); 3 anguilas plateadas 73 - 90 cm, 4 plateadas 56.5 cm; 5 Turbina Francis, 6 Bajo flujo de agua.

<b>Para todos los tamaños de anguila</b>	
Publicación o Trabajo	% anguilas
Berg (1985)	36.7
Berg (1988)	9.3 <sup>1,6</sup>
Berg (1993)	15.4-25
Berg (1994)	30.4-40.5
Kisker (1930)	2.5
Lundbeck (1927)	5.5
Von Raben (1955)	18.4-19.6
Butschek y Hofbauer (1956)	12-40.5
Wondrak (1989)	54-87
Seifert (1989)	42-50
Desrochers (1995) <sup>1</sup>	16 - 24
Hadderingh y Bakker (1998)	13.5
Holzner (1999)	27
Dönni, Maier y Vicentini (2001)	17 - 86
PROMEDIO	28.5
<b>Para la fracción plateada/migradora</b>	
Gustavsberg y Mai (1960) <sup>2</sup>	91 – 100 <sup>3</sup>
Langgöl (1960, 1961) <sup>2</sup>	75 – 80.8 <sup>3</sup>
Larinier y Dartiguelongue (1989)	40 – 63 <sup>3</sup>
Larinier y Dartiguelongue (1989)	51 – 92 <sup>3</sup>
Larinier y Dartiguelongue (1989)	81.2 <sup>3</sup>

Larinier y Dartiguelongue (1989)	63 <sup>4</sup>
Larinier y Dartiguelongue (1989)	100 <sup>5</sup>
Monten (1985)*	40 – 100 <sup>3</sup>
PROMEDIO	68.8

**Tabla C.2.** Mortalidad según la potencia de turbina (Plan de gestión de Polonia).

Potencia	Mortalidad
Menor 100 kW	0.8
Entre 100kW y 1 MW	0.6
Entre 1 MW y 10 MW	0.4
Mayor que 10 MW	0.3

### *Mortalidad determinada para el estudio*

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se extraen las siguientes tasas de mortalidad para cada tipo de turbina (Tabla C.3.).

**Tabla C.3.** Mortalidad estimada para cada tipo de turbina.

Tipo de turbina	Mortalidad (%)
Kaplan	16-38
Francis	40-95
Pelton	100

El rango de mortalidad para las Kaplan corresponde al valor mínimo y máximo recopilado en la revisión. Para las Francis se estima un rango de mortalidad 2,5 veces mayor que la mortalidad calculada en las Kaplan y en las Pelton se registra el 100% de mortalidad.

## **Caracterización de las centrales hidroeléctricas en el río Oria**

En la Tabla C.4. se incluyen los aprovechamientos hidroeléctricos en funcionamiento en la actualidad en la cuenca del Oria y que afectarían tanto a la distribución y migración actual de la especie como a la prístina (Fig. C.7). De esta lista se excluyen las centrales de Amezketa (Ugarte Errota), Osinberde (C.H. Zaldibia) y Alkiza (C.H. Alkiza) ya que la detracción de agua afecta únicamente a manantiales. En el ANEXO C.1 se adjunta una ficha que incluye la caracterización individual de cada aprovechamiento, así como una valoración de su impacto y posibles medidas correctoras.



**Tabla C.4.** Centrales hidroeléctricas de la cuenca del Oria en relación con la migración de anguila plateada en el área de distribución actual y potencial de la especie.

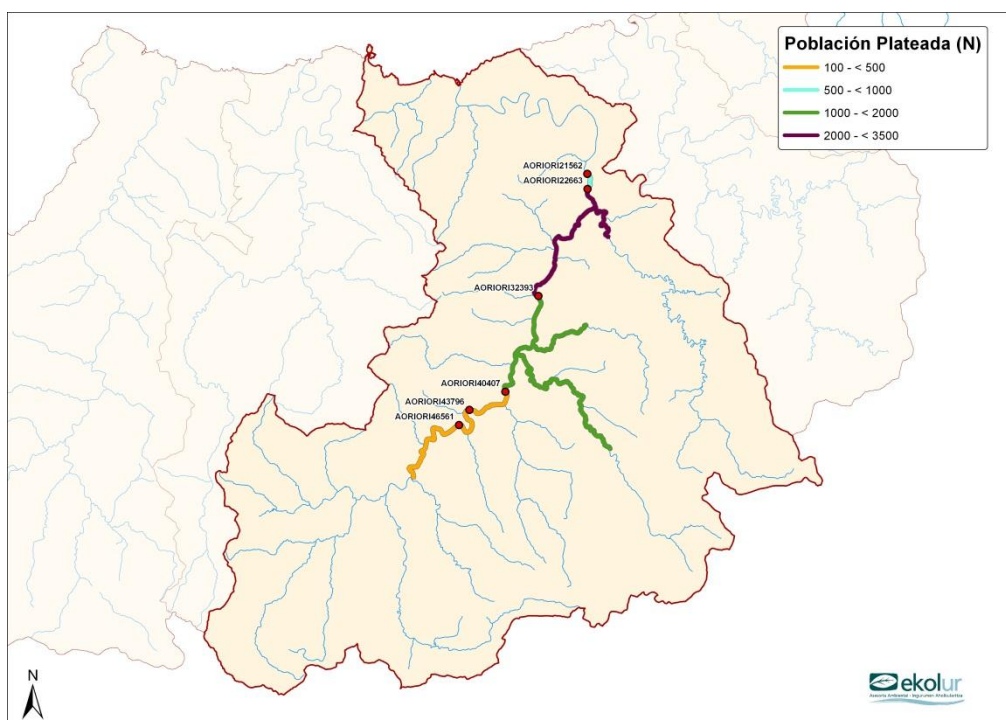
Río	Codigo	Nombre	Propietario	Altura (m)
Alkiza	AORIALK02363	C.H. Anoeta	Indar Erreka, S.L	3,2
Araxes	AORIARA16821	C.H. Lizartza (Electra del Araxes)	Minicentrales del Araxes, S.A.	2,7
Franki	AORIFRA01700	Plazaola Nº2 (Salto Franki erreka)	Electra Plazaola, S.A.	2,3
Leitzaran	AORILEI03875	C.H.Olaberri (Laborde)	Central Hidroeléctrica Olaverri SL	5,5
Leitzaran	AORILEI07565	C.H. Bertxin	AYTO Andoain	5,8
Leitzaran	AORILEI12460	C.H. Oloki	Electra Oloki SA	7
Leitzaran	AORILEI20007	C.H. Leitzaran (Iberdrola)	Iberdrola S.A.	2
Leitzaran	ORILEI24755	C.H. Ameraun	Ameraun SL	3,8
Leitzaran	AORILEI29180	C.H. Plazaola Nº 1 (Salto Mustar)	Electra Plazaola SA	3,1
Martingorri	AORIMAR00788	C.H. Santolaz (Toma Martingorri)	Electra Ibaia, S.A.	0
Oria	AORIORI21562	C.H. Abaloz	Electra Bravo SA	2,5
Oria	AORIORI22663	C.H. Bazkardo	Electra Bravo SA	2,5
Oria	AORIORI32393	C.H. Irura (Etxezarreta)	Etxezarreta Urigintza SL	1,8
Oria	AORIORI40407	C.H. Usabal	CH USABAL SL	1,5
Oria	AORIORI43796	C.H.Aldaba	Aldaba Electrica SA	2,2
Oria	AORIORI46561	C.H.Ikaztegieta	Goiko Ura SL	2,8
Osinaekin	AORIOSI00400	C.H. Santolaz (Toma Osinaekin)	Electra Ibaia, S.A.	0
Santolaz	AORISAN03280	C.H. Santolaz (Toma Santolaz)	Electra Ibaia, S.A.	2,6
Tximiola	AORITXI00480	C.H. Santolaz (Toma Tximiola)	Electra Ibaia, S.A.	0
Zaldibia	AORIZAL04037	Kanpain Errota	-	2,8
Zaldibia	AORIZAL05780	Zubieta Errota	-	4,5
Zaldibia	AORIZAL08923	C.H. Zaldibia (Egiluz)	Construcción y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A.	3
Zelai	AORIZEL01585	Fundación Etxaniz	-	0,9
Zelai	AORIZEL05203	Errota-zarra	-	1,4



AORIORI32393	C.H. Irura (Etxezarreta)	11.000	1,8	498	Kaplan	NO	
AORIORI40407	C.H. Usabal	4.000	1,5	250	Kaplan	NO	
AORIORI43796	C.H. Aldaba	6.700	2,2	385	Kaplan	NO	
AORIORI46561	C.H. Ikaztegieta	8.000	2,8	687	Kaplan	NO	
AORIOSI00400	C.H. Santolaz (Toma Osñaekin)	140	-	-	Pelton	NO	
AORISAN03280	C.H. Santolaz (Toma Santolaz)	300	2,6	695	Pelton	SI	140
AORITXI00480	C.H. Santolaz (Toma Tximiola)	250	-	-	Pelton	NO	
AORIZAL04037	Kanpain Errota	35	2,8	-	Francis	SI	15
AORIZAL05780	Zubieta Errota	68	4,5	-	Francis	NO	
AORIZAL08923	C.H. Zaldibia (Egiluz)	1500	3	2000	Francis	NO	
AORIZEL01585	Fundación Etxaniz	115	0,9	-	Francis <sup>1</sup>	NO	
AORIZEL05203	Errota-zarra	225	1,4	-	Francis <sup>1</sup>	NO	

### Potencial reproductor actual de anguila en la cuenca del Oria

La distribución de anguila en la cuenca del Oria y en consecuencia el potencial reproductor se limita principalmente al curso bajo y medio del río Oria. Existen importantes problemas de accesibilidad; en el mayor tributario de la cuenca, el Leitzarán, la presencia de anguila se limita al tramo bajo y el impacto de los obstáculos a la migración ascendente y descendente es muy alto.



**Figura C.8.** Abundancia de anguila plateada en la cuenca del Oria en el área de afección de cada aprovechamiento hidroeléctrico en la cuenca del Oria, año 2011.

A partir de las estimaciones del potencial reproductor del año 2011 para la cuenca del Oria (Fig. C.8), se vuelve a realizar una estimación del potencial reproductor o producción de anguilas plateadas aguas arriba de cada aprovechamiento incluido en el área de distribución actual de la especie excluyendo los tramos aguas abajo del último aprovechamiento en sentido descendente, así como algunos afluentes de la parte baja de la cuenca (Tabla C.6).

**Tabla C.6.** Potencial reproductor o producción de anguilas plateadas aguas arriba de cada aprovechamiento incluido en el área de distribución actual de la especie (se excluyen los tramos aguas abajo del último aprovechamiento en sentido descendente así como algunos afluentes de la parte baja de la cuenca).

Aprovechamiento	Tramo*	Longitud tramo (Km)*	Nº plateadas	% Población
CH Ikaztegieta	Arriba CH Ikaztegieta	68,8	482	7,9
CH Aldaba	CH Aldaba-CH Ikaztegieta	2,8	100	1,6
CH Usabal	CH Usabal-CH Aldaba	3,4	323	5,3
CH Irura	CH Irura-CH Usabal	25,2	1.320	21,6
CH Bazkardo	CH Bazkardo-CH Irura	13,5	3.217	52,7
CH Abaloz	CH Abaloz-CH Bazkardo	1,1	659	10,8
Total		114,7	6.101	

\*La longitud de tramo incluye la distancia entre 2 centrales (azudes) consecutivas así como afluentes y regatas que desembocan en dicho tramo.

## Potencial reproductor actual y prístino de anguila en la cuenca del Oria

A partir de la densidad media poblacional de anguila en el río Oria para el periodo 2008-2011 y la abundancia asignada en el límite mareal (ver metodología), se obtiene la siguiente ecuación exponencial (Fig. C.9):

$$y = 15200e^{-0,0900x} \quad (r^2 = 0,802)$$

donde “y” es la densidad de anguila por ha, “15.200” corresponde a la densidad de anguila en el límite mareal (cuando “x”=0), “x” es la distancia al límite mareal, y -0,0900 corresponde a la tasa de disminución de la especie por kilómetro.

Según el plan de recuperación de la especie, la población actual del río Oria corresponde al 37,3% de la abundancia prístina. Para obtener las densidades prístinas por kilómetro y manteniendo la diferencia entre la producción prístina y actual, se calcula una nueva tasa de disminución, cuyo valor es -0,0336 en condiciones de referencia. La ecuación en condiciones de referencia o prístina sería la siguiente (Fig. C.9):

$$y = 15200e^{-0,0336x} \quad (r^2 = 1)$$

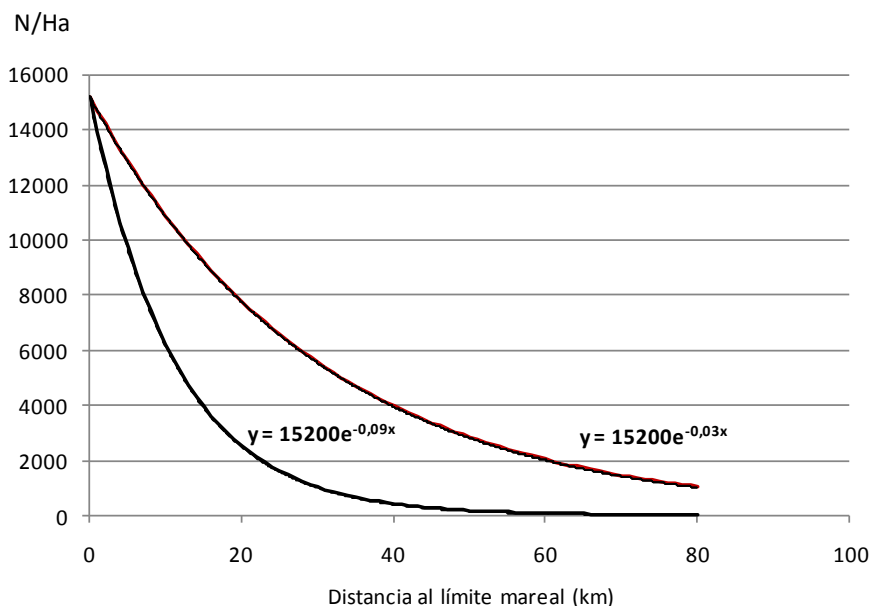


Figura C.9. Abundancia actual y prístina (potencial) respecto al límite mareal en el río Oria.

Una vez estimada la densidad poblacional prístina, se aplica una tasa de plateamiento variable calculada para la cuenca del Oria, con lo que se obtiene la densidad correspondiente a la fracción reproductora respecto a la distancia al límite mareal. En cuanto a la tasa de plateamiento, el % de anguilas plateadas disminuye según aumenta la densidad poblacional de anguila y se ajusta a la siguiente ecuación exponencial (Fig. C.10):

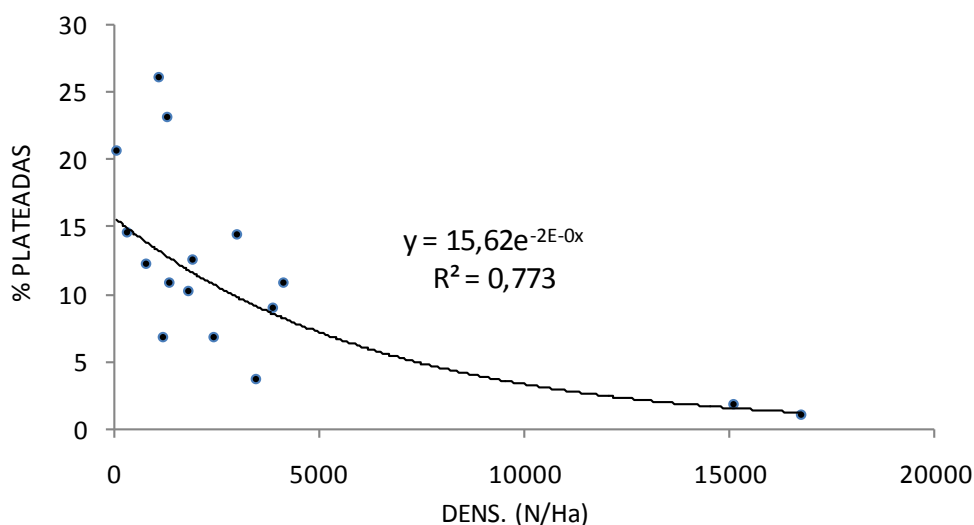
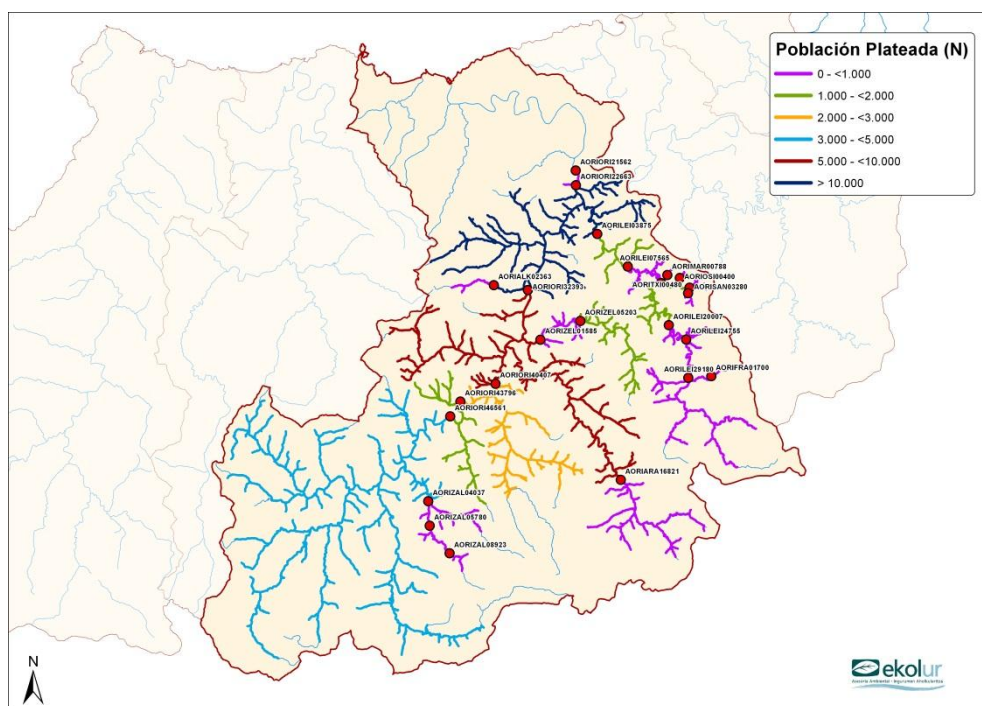


Figura C.10. Relación entre la densidad poblacional (N/Ha) y tasa de plateamiento (%) en estaciones de muestreo de las cuencas del Oria, Deba y Urola (Gipuzkoa) para el periodo 2008-2011.

Con la estimación del área de afección (superficie húmeda afectada) de cada uno de los aprovechamientos de la cuenca y de la densidad prístina de anguila plateada a cada kilómetro fluvial, se estima la abundancia prístina de anguila plateada que quedaría en el área de afección de cada aprovechamiento hidroeléctrico (Fig. C.11). El resultado es un total de 31.933 ejemplares de anguila plateada correspondiente a una superficie húmeda de 298,8 ha, (área de cuenca situada aguas arriba del último aprovechamiento hidroeléctrico en sentido descendente, (CH Abaloz). Este potencial reproductor corresponde a una producción aproximada de 21,3 kg/ha en términos de biomasa si se toma un peso medio de 200 g por anguila plateada (macho y hembra). Aunque se trate de una aproximación, este valor es muy cercano al propuesto en el plan de gestión de la anguila, 20 Hg/ha, propuesto por el grupo (ICES 2001) para las cuencas fluviales atlánticas.



**Figura C.11.** Abundancia potencial o prístina de anguila plateada en el área de afección de cada aprovechamiento hidroeléctrico en la cuenca del Oria.

## Estimación de la mortalidad actual en la cuenca del Oria

La estimación de la mortalidad actual se lleva a cabo a partir del potencial reproductor actual, limitado al curso bajo y medio principalmente, debido a problemas de accesibilidad.

Si se tiene en cuenta que las turbinas de los aprovechamientos incluidos en el área de distribución actual de la especie son de tipo Kaplan, a partir de la revisión bibliográfica realizada para este tipo de turbina, con tasas de mortalidad de entre 16-38 %, se obtiene la siguiente mortalidad teórica para la población en migración del Oria en 2011 (Tablas C.7 y C.8):

**Tabla C.7.** Estimación teórica de la mortalidad de la población de anguila plateada en la cuenca del Oria con una tasa de mortalidad media por aprovechamiento del 16%

Centrales hidroeléctricas	Anguilas plateadas (n)	Población acumulada	Mueren	Sobreviven
CH IKAZTEGIETA	482	482	77	405
CH ALDABA	100	505	81	424
CH USABAL	323	747	120	628
CH IRURA	1204	1832	293	1539
CH BAZKARDO	3217	4756	761	3995
CH ABALUZ	659	4654	745	3909
TOTAL	5985		2076	
Mortalidad acumulada (%)	34,7			

**Tabla C.8.** Estimación teórica de la mortalidad de la población de anguila plateada en la cuenca del Oria con una tasa de mortalidad media por aprovechamiento del 38%.

Centrales hidroeléctricas	Anguilas plateadas (n)	Población acumulada	Mueren	Sobreviven
CH IKAZTEGIETA	482	482	183	299
CH ALDABA	100	399	152	247
CH USABAL	323	570	217	354
CH IRURA	1204	1558	592	966
CH BAZKARDO	3217	4183	1589	2593
CH ABALUZ	659	3252	1236	2016
TOTAL	5985		3969	
Mortalidad acumulada (%)	66,31			

Como ejemplo y en el caso de una mortalidad del 16 % para cada aprovechamiento, el cálculo de la mortalidad actual para la población en migración del Oria comienza en el primer aprovechamiento aguas arriba, la central hidroeléctrica de Ikaztegieta. De un total de 482 anguilas plateadas localizadas aguas arriba, sobreviven 405 ejemplares, los cuales se suman a la fracción existente en el área de afección del siguiente aprovechamiento en sentido descendente (CH Aldaba; n=100), lo que resulta en un total de 505 individuos. De estos 505 individuos, los que sobrevivan al siguiente aprovechamiento pasarán a

formar parte de la población existente aguas abajo y así sucesivamente hasta llegar al último obstáculo descendente (C.H. Abaloz). De esta forma, a partir del número total de anguilas que mueren en el descenso respecto al número total de individuos que migran en esta parte de la cuenca, se obtiene la mortalidad acumulada actual para la cuenca del Oria.

Con una **tasa de mortalidad del 16% de media por aprovechamiento** (Tabla C.7), la mortalidad acumulada para la población de anguila después del último aprovechamiento en sentido descendente de la cuenca del Oria es del **34,7%**.

Por otro lado, **con una tasa de mortalidad del 38 % de media por aprovechamiento** (Tabla C.8), la mortalidad acumulada para la población de anguila después del último aprovechamiento en sentido descendente de la cuenca del Oria es del **66,3%**.

Como consecuencia de la distribución actual de la especie en la cuenca, limitada al curso medio y bajo del Oria principalmente, los aprovechamientos que mayor impacto causan son los 3 últimos en sentido descendente, y en especial los dos últimos, ya que se encuentran a poco más de 1 km de distancia entre sí. Si se atiende únicamente a las anguilas situadas en el límite superior del área de distribución, las localizadas aguas arriba de la CH Ikaztegieta, la **mortalidad acumulada** a su paso por todas las centrales sería del **65 y del 94 %**, para mortalidades del 16 y 38 % respectivamente (Tablas C.9 y C.10).

**Tabla C.9.** Estimación de la mortalidad acumulada para la población migradora residente aguas arriba de la CH de Ikaztegieta con una tasa de mortalidad media por aprovechamiento del 16 %.

Centrales hidroeléctricas	Anguilas plateadas (n)	Población acumulada	Mueren	Sobreviven
CH IKAZTEGIETA	482	482	77	405
CH ALDABA		405	65	340
USABAL		340	54	286
IRURA		286	46	240
BAZKARDO		240	38	202
ABALAZ		202	32	169
TOTAL	482		313	
Mortalidad acumulada (%)	64,87			



**Tabla C.10.** Estimación de la mortalidad acumulada para la población migradora residente aguas arriba de la CH de Ikaztegieta con una tasa de mortalidad media por aprovechamiento del 38 %.

Centrales hidroeléctricas	Anguilas plateadas (n)	Población acumulada	Mueren	Sobreviven
CH IKAZTEGIETA	482	482	183	299
CH ALDABA		299	114	185
USABAL		185	70	115
IRURA		115	44	71
BAZKARDO		71	27	44
ABALUZ		44	17	27
TOTAL	482		455	
Mortalidad acumulada (%)	94,32			

Utilizando esta misma metodología, se ha estimado la mortalidad acumulada actual diferenciando la fracción de machos y hembras. De la misma manera se ha calculado la mortalidad acumulada para cada sexo en términos de biomasa (Tabla C.11).

**Tabla C.11.** Tasa de mortalidad acumulada actual en la cuenca del Oria para machos y hembras en términos de abundancia (número de anguilas) y biomasa (kg).

SEXO	Población migradora (N)	
	Tasa de mortalidad (16%)	Tasa de mortalidad (38%)
Machos	29,8 %	61,0 %
Hembras	40,7 %	72,8 %
SEXO	Población migradora (Kg)	
	Tasa de mortalidad (16%)	Tasa de mortalidad (38%)
Machos	29,4 %	60,4 %
Hembras	44,4 %	76,5 %

La mortalidad acumulada en la cuenca del Oria afecta en mayor medida a las hembras que a los machos. Esto es debido a que los machos se distribuyen principalmente por el curso bajo del Oria, mientras que las hembras se encuentran por todo el área de distribución, tal y como ocurre en el resto de cuencas europeas ya que el sex ratio depende de la densidad poblacional. El 83 % de la población de machos se distribuye entre los tramos de la CH Abaluz y la CH Bazkardo, tramo bajo del río Oria, por lo que la población de machos en su conjunto no se ve tan afectada por el resto de centrales situadas aguas arriba. Por el contrario, la población de hembras, está más expuesta a sufrir daños en cascada debido al paso por un número mayor de turbinas. Además, cabe destacar el hecho de que las hembras, de mayor longitud, tienen una probabilidad de choque con la hélice mayor

que los machos (Larinier y Travade, 1999; 2002; Bruijs, *et al.*, 2003), parámetro no incluido en la presente estimación; por lo que la mortalidad de hembras puede estar subestimada.

## Estimación de la mortalidad potencial o prístina – cuenca del Oria

Para la estimación de la mortalidad potencial o prístina se incluye un mayor número de aprovechamientos que para la actual, así como una mayor variedad en el tipo de turbinas. Si se aplican los rangos de mortalidad determinados a partir de la revisión bibliográfica para cada tipo de turbina y aprovechamiento, se obtienen las siguientes tasas de mortalidad para cada aprovechamiento y el total de la población (Tablas C.12 y C.13).

- La **mortalidad acumulada** para el total de la población prístina de anguila plateada (n=31.933) es del **51,9 %** (n=16.580) aplicando las tasas de mortalidad mínimas. (16% Kaplan y 40% Francis respectivamente).
- Aplicando tasas de mortalidad máximas (38% Kaplan, 95% Francis), la **mortalidad acumulada** para el total de la población prístina de anguila plateada es del **81,0 %** (n=25.874).
- En resumen, la **mortalidad acumulada para la población prístina o potencial** de anguila plateada en la cuenca del Oria oscilaría entre el **51,9 % y 81,0 %** (n= 45.320-74.217).

**Tabla C.12.** Tasa de mortalidad acumulada para la población potencial o prístina de anguila plateada en la cuenca del Oria (16% para las Kaplan y 40% para las Francis).

Río	Central/Uso	Obstáculo	Nº de plateadas encima del obstáculo	Producción acumulada	Tasa mortalidad (0-1)	Mueren	Sobreviven
Zaldibia	C.H. Zaldibia (Egiluz)	AORIZAL08923	49	49	0,40	20	30
	Zubieta Errota	AORIZAL05780	80	110	0,40	44	66
	Kanpain Errota	AORIZAL04037	260	326	0,40	130	196
	<b>Totales</b>		<b>390</b>			<b>194</b>	
<b>Mortalidad acumulada: 50 %</b>							
Araxes	C.H. Lizartza (Electra del Araxes)	AORIARA16821	613	613	0,40*	245	368
	<b>Totales</b>		<b>613</b>			<b>245</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 40 %</b>						
Zelai	Errota-zarra	AORIZEL05203	1.478	1478	0,40*	591	887
	Fundación Etxaniz	AORIZEL01585	869	1756	0,40*	702	1.053
	<b>Totales</b>		<b>2.347</b>			<b>1.293</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 55 %</b>						
Alkiza	C.H. Anoeta	AORIALK02363	313	313	1,00	313	0
	<b>Totales</b>		<b>313</b>			<b>313</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						
Franki	Plazaola N°2 (Franki)	AORIFRA01700	53	53	0,40*	21	32
	<b>Totales</b>		<b>53</b>			<b>21</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 40 %</b>						
Santolaz	C.H. Santolaz	AORISAN03280	193	193	1,00	193	0
	<b>Totales</b>		<b>193</b>			<b>193</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						
Tximiola	C.H. Santolaz	AORITXI00480	193	193	1,00	193	0
	<b>Totales</b>		<b>193</b>			<b>193</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						

Osñaekin	C.H. Santolaz	AORIOSI00400	67	67	1,00	67	0
	<b>Totales</b>		<b>67</b>			<b>67</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						
Martingorri	C.H. Santolaz	AORIMAR00788	74	74	1,00	74	0
	<b>Totales</b>		<b>74</b>			<b>74</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						
Leitzaran	C.H. Plazaola N° 1 (Mustar)	AORILEI29180	835	867	0,40	347	520
	C.H. Ameraun	AORILEI24755	223	743	0,40	297	446
	C.H. Leitzaran (Iberdrola)	AORILEI20007	455	901	0,40	361	541
	C.H. Oloki	AORILEI12460	1.455	1.996	0,40	798	1.197
	C.H. Bertxin	AORILEI07565	839	2.037	0,40	815	1.222
	C.H.Olaberri (Laborde)	AORILEI03875	1.293	2.515	0,40	1.006	1.509
	<b>Totales</b>		<b>5.100</b>			<b>3.623</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 71 %</b>						
Eje principal del Oria	C.H.Ikaztegieta	AORIORI46561	3.539	3.734	0,16	597	3.137
	C.H.Aldaba	AORIORI43796	1.158	4.294	0,16	687	3.607
	C.H. Usabal	AORIORI40407	2.082	5.690	0,16	910	4.779
	C.H. Irura (Etxezarreta)	AORIORI32393	5.282	11.483	0,16	1.837	9.646
	C.H. Bazkardo	AORIORI22663	10.135	21.290	0,16	3.406	17.883
	C.H. Abaloz	AORIORI21562	395	18.278	0,16	2.924	15.354
	<b>Totales</b>		<b>22.591</b>			<b>10.363</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 46 %</b>						

**Tabla C.13.** Tasa de mortalidad acumulada para la población potencial o prístina de anguila plateada en la cuenca del Oria (38% para las Kaplan y 95% para las Francis). \*No se tiene el dato sobre el tipo de turbina y se le asigna el modelo existente en las centrales cercanas.

Río	Central/Uso	Obstáculo	Nº de plateadas encima del obstáculo	Producción acumulada	Tasa mortalidad (0-1)	Mueren	Sobreviven
Zaldibia	C.H. Zaldibia (Egiluz)	AORIZAL08923	49	49	0,95	47	2
	Zubieta Errota	AORIZAL05780	80	83	0,95	79	4
	Kanpain Errota	AORIZAL04037	260	264	0,95	251	13
	<b>Totales</b>		<b>390</b>			<b>377</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 97%</b>						
Araxes	C.H. Lizartza (Electra del Araxes)	AORIARA16821	613	613	0,95*	583	31
	<b>Totales</b>		<b>613</b>			<b>583</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 95 %</b>						
Zelai	Errota-zarra	AORIZEL05203	1.478	1478	0,95*	1.404	74
	Fundación Etxaniz	AORIZEL01585	869	943	0,95*	896	47
	<b>Totales</b>		<b>2.347</b>			<b>2.300</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 98 %</b>						
Alkiza	C.H. Anoeta	AORIALK02363	313	313	1,00	313	0
	<b>Totales</b>		<b>313</b>			<b>313</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						
Franki	Plazaola Nº2 (Franki)	AORIFRA01700	53	53	0,95*	51	3
	<b>Totales</b>		<b>53</b>			<b>51</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 95 %</b>						
Santolaz	C.H. Santolaz	AORISAN03280	193	193	1,00	193	0
	<b>Totales</b>		<b>193</b>			<b>193</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						
Tximiola	C.H. Santolaz	AORITXI00480	193	193	1,00	193	0
	<b>Totales</b>		<b>193</b>			<b>193</b>	

	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						
<b>Osiñaekin</b>	C.H. Santolaz	AORIOSI00400	67	67	1,00	67	0
	<b>Totales</b>		<b>67</b>			<b>67</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						
<b>Martingorri</b>	C.H. Santolaz	AORIMAR00788	74	74	1,00	74	0
	<b>Totales</b>		<b>74</b>			<b>74</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 100 %</b>						
<b>Leizaran</b>	C.H. Plazaola N° 1 (Mustar)	AORILEI29180	835	837	0,95	795	42
	C.H. Ameraun	AORILEI24755	223	265	0,95	252	13
	C.H. Leizaran (Iberdrola)	AORILEI20007	455	469	0,95	445	23
	C.H. Oloki	AORILEI12460	1.455	1.478	0,95	1.404	74
	C.H. Bertxin	AORILEI07565	839	913	0,95	867	46
	C.H.Olaberri (Laborde)	AORILEI03875	1.293	1.338	0,95	1.271	67
	<b>Totales</b>		<b>5.100</b>			<b>5.036</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 98,7 %</b>						
<b>Eje principal del Oria</b>	C.H.Ikaztegieta	AORIORI46561	3.539	3.552	0,38	1.350	2.202
	C.H.Aldaba	AORIORI43796	1.158	3.360	0,38	1.277	2.083
	C.H. Usabal	AORIORI40407	2.082	4.165	0,38	1.583	2.573
	C.H. Irura (Etxezarreta)	AORIORI32393	5.282	7.943	0,38	3.018	4.924
	C.H. Bazkardo	AORIORI22663	10.135	15.126	0,38	5.748	9.378
	C.H. Abaloz	AORIORI21562	395	9.773	0,38	3.714	6.059
	<b>Totales</b>		<b>22.591</b>			<b>16.689</b>	
	<b>Mortalidad acumulada: 73,9%</b>						

## C.4 CONCLUSIONES

La estimación o aproximación teórica de la mortalidad por turbinas en la población de anguila plateada que migra en la cuenca del Oria, tanto para la población actual como para la potencial o prístina, pone en evidencia la problemática y el impacto de esta cuestión en la supervivencia de la especie y en la consecución del objetivo de fuga del 40 % establecido en los planes de gestión.

En una primera aproximación realizada para la población actual, la mortalidad acumulada para el total de individuos que migran localizados aguas arriba de los aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca del Oria se sitúa entre el 34,7 y 66,3% del total. Los aprovechamientos que mayor impacto causan son los 3 últimos en sentido descendente, y en especial los dos últimos, ya que se encuentran a poco más de 1 km de distancia. Una mayor afección en esta zona baja es consecuencia principalmente de la distribución actual de la especie en la cuenca, limitada en su colonización por problemas de accesibilidad. No obstante, para la fracción de anguilas localizadas en el límite superior del área de distribución (aguas arriba de la CH Ikaztegieta) la mortalidad acumulada a su paso por todas las centrales es superior que la obtenida para el total. Dado que la mayor producción de hembras se da en los tramos altos y que las anguilas de estos tramos son las que mayor mortalidad acumulada sufren, la mortalidad es entre un 16%-27% superior para las hembras que para los machos.

En la aproximación realizada para la población prístina de anguila plateada, la mortalidad acumulada es superior, y se sitúa entre el 51,9 % y 81,0 % del total. Es lógico que así sea ya que en este caso se han incluido un mayor número de aprovechamientos, provocando un mayor impacto o mortalidad por efecto acumulativo. Cabe destacar la aproximación de la mortalidad acumulada realizada para la población prístina o potencial del río Leitzaran, principal tributario de la cuenca. Ésta se sitúa entre el 71,0 % y 98,7% del total, mientras que la correspondiente al eje del río Oria es del 45,9 %-73,9 %. Esta diferencia se debe a la abundancia de aprovechamientos presentes en esta subcuenca, lo que supone una afección por efecto acumulativo, así como por una superior tasa de mortalidad en muchos de los aprovechamientos por el tipo de turbina, Francis en este caso, frente a las turbina tipo Kaplan en el eje del río Oria.

La diferencia observada en la mortalidad acumulada y en el número de anguilas plateadas entre la situación actual y la prístina pone de manifiesto el problema de accesibilidad a la migración de remonte o colonización en la cuenca, en consecuencia la valoración realizada para la población actual enmascara el impacto de todos los aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca en su conjunto.

Respecto a los valores de abundancia utilizados para la aproximación potencial o prístina, se podría pensar que la estimación realizada para la población prístina de anguila plateada en el presente estudio esté sobredimensionada y pudiera afectar a los resultados obtenidos. Sin embargo y aunque se trate de una aproximación, el valor estimado (en torno a 21 kg/ha) es muy cercano al propuesto en el plan de gestión de la anguila y estimada para las cuencas fluviales atlánticas (ICES 2001), que corresponde a una biomasa prístina de 20 kg/ha.

Por otra parte, la estimación de la mortalidad se basa en una actualización y revisión bibliográfica a partir de la cual se han extraído unas tasas de mortalidad determinadas por aprovechamiento y tipo de turbina. Se ha aplicado este mismo procedimiento en numerosos planes de gestión nacionales de la Unión Europea. Mientras que existe una relativamente abundante bibliografía en torno a la mortalidad por turbinas en otros países europeos, hasta la fecha no se tiene constancia de la realización de estudios reales de mortalidad en el ámbito de la vertiente cantábrica. En la práctica es inabordable realizar tantos estudios de mortalidad como aprovechamientos hay en cada río, ni siquiera cubrir un elevado porcentaje de éstos, sin embargo sería recomendable realizar estudios de mortalidad reales en los aprovechamientos hidroeléctricos más relevantes o en los que a priori mayor afección causarían en las principales rutas migratorias de la especie.



