



## Conservación de la Naturaleza | Acciones

### ◀ Especies amenazadas | Vertebrados

#### 5.3. Sistemas de protección en la migración de bajada.

La migración que se efectúa descendiendo el curso de agua hacia el mar o hacia un lago concierne a los juveniles de las especies anadromas y a los adultos de las catadromas.

##### 5.3. 1. Problemática.

Los problemas que poseen los migradores en la bajada tienen diferentes orígenes: modificaciones del medio para crear embalses, paso por vertederos de presas, por turbinas hidroeléctricas, o entrada en derivaciones industriales o agrícolas. Por regla general, el conjunto de estos problemas ha sido bien estudiado para los salmónidos (Giorgi & Sims 1987, Giorgi *et al.* 1988, Larinier & Boyer-Bernard 1991, Wilson *et al.* 1991) y otras familias de migradores (Berg 1986, Stokesbury & Dadswell 1991, DuBois & Gloss 1993, Mathur *et al.* 1994).

##### 5.3. 1. 1. Creación de embalses.

La creación de un embalse en un curso de agua produce modificaciones en las velocidades del agua, en la calidad de ésta y en las poblaciones de peces. En la migración de bajada se puede producir una elevada mortandad debida al aumento de la depredación por parte de aves o peces ictiófagos, a la eutrofización de los embalses, a la mayor sensibilidad a enfermedades o parásitos, etc.

La relación entre la velocidad de migración y la velocidad del agua es un factor clave para determinar el tiempo de viaje de los migradores a través de los embalses. El desarrollo de aprovechamientos hidroeléctricos ha alterado drásticamente los caudales de agua que los juveniles encontraban en su viaje hacia el mar. Los caudales en aumento reducen el tiempo de viaje, disminuyéndose los retrasos provocados por los embalses (Berggren & Filardo 1993).

##### 5.3.1.2. Paso por vertederos.

El paso por los vertederos puede acarrear muertes directas (heridas, choques, etc.) o indirectas (sensibilidad a la depredación de peces que chocan o se desorientan). Los estudios realizados en algunos países (Estados Unidos, Canada) han mostrado que estas mortandades son extremadamente variables de un sitio a otro (Travade & Larinier 1992b).

Las causas de muerte son diversas: turbulencias a pie del salto, variaciones bruscas de velocidades y de presiones en el impacto sobre el plano de agua, choques mecánicos, etc.

En el franqueo por un vertedero, el pez se encuentra en situación de caída libre. Alcanza, a partir de una cierta altura de salto, una velocidad límite que es función de su talla: alrededor de 12 m/s (velocidad alcanzada después de 25-30 m de salto) para los peces de 10 a 13 cm, 15-16 m/s (al cabo de 30-40 m) para peces de 15 a 18 cm, más de 58 m/s (después de más de 200 m de salto) para peces de 60 cm (Travade & Larinier 1992b).

Diversos estudios han puesto en evidencia la aparición de daños significativos (lesiones en las branquias, ojos y órganos internos) si la velocidad de impacto del pez sobre el plano de agua supera los 15-16 m/s, sea cual sea su talla. Esta velocidad crítica es alcanzada después de un salto variable según la talla del pez: alrededor de 30-40 m para peces de 15-18 cm y 13 m solamente para los peces de talla superior a 60 cm. Los peces de talla inferior a 10-13 cm, donde la velocidad límite es inferior a la velocidad crítica, no sufrirían ningún daño independientemente de la altura del salto. Los peces con tamaños mayores no mueren si la velocidad de impacto se mantiene por debajo de la velocidad crítica de 16 m/s, que corresponde a un salto variable entre una docena de metros para los grandes individuos (> 60 cm) y una treintena de metros para los peces de 18 cm, para los que la velocidad terminal está más cerca de la velocidad crítica.

A estos riesgos directos se junta uno indirecto. Los traumatismos y/o la desorientación de los peces después del salto les hacen más vulnerables a la depredación por aves o por peces ictiófagos (30% de muertes en algunos lugares).

Wilson *et al.* (1991) encuentran en diversos estudios que el paso de juveniles de salmónidos a través de las turbinas produce mayor mortandad que el paso por los vertederos. Estos autores proponen un método para estimar el éxito de paso de los juveniles por los vertederos de las presas. Proponen como medida aumentar el paso de agua por los vertederos desviando así a los peces de las turbinas y aumentando su supervivencia.

##### 5.3.1.3. Paso por turbinas.

La principal causa de muerte en peces durante la migración río abajo es el paso por las turbinas de las centrales hidroeléctricas. Gloss & Wahl (1983) destacan la falta de información y la necesidad de evaluar el paso de peces a través de estas estructuras con nuevos diseños.

El paso por turbinas somete al pez a diversas fuerzas que pueden producir daños importantes, como riesgos de choques contra las partes fijas o móviles (a nivel de directrices, palas de la turbina, etc.), aceleración y deceleración grandes (paso de 3-5 m/s en la entrada de la rueda a 10-30 m/s en la rueda) o variaciones muy bruscas de presión.

Las principales causas de mortandad de peces durante el paso por turbinas son:

- Daños mecánicos. La colisión y el contacto con los componentes de la turbina producen daños en los huesos, pérdida de ojos, abrasiones y cortes en diferentes partes del cuerpo.
- Cambios rápidos de presión. Los cambios en la presión hidrostática según pasa el agua por las diferentes partes de la turbina producen hemorragias internas y cambios en el volumen de la vejiga gaseosa imposibles de controlar por el pez,

así como ruptura de la membrana de la vejiga. Los efectos de la presión dependen de la localización del pez en la columna de agua y del diseño de la turbinas. Experimentalmente se ha visto que los peces fisoclistos (con vejigas gaseosas cerradas) son capaces de ajustar rápidamente el nivel de gas dentro de la vejiga, si la presión cambia en un tiempo de unos 0.1 segundos. Sin embargo, los peces con vejigas gaseosas abiertas (fisóstomos) no realizan un ajuste tan rápido y están más afectados por los cambios bruscos de presión.

- Cambios hidrodinámicos. Las turbulencias del agua provocan contusiones, abrasiones, laceraciones y cortes en los cuerpos. El choque de diferentes cuerpos de agua con velocidades distintas provocan un serio daño en los arcos bronquiales y una decapitación del pez. Algunos autores sugieren que estos cambios son causa de una mortandad mayor que la producida por cambios de presión hidrostática.

También la desorientación y el estrés fisiológico creados pueden producir posterior muerte, sobre todo por depredación.

Se han desarrollado numerosos experimentos en diversos países (Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña, Suecia, Alemania, Francia), principalmente con los juveniles de salmónidos y más raramente con los sábalos y anguilas, para determinar las muertes resultantes del tránsito por diferentes tipos de turbinas. Davies (1988) realiza una revisión de la información existente sobre mortandades de peces producidas por diferentes tipos de turbinas (Pelton, Francis, Kaplan, STRAFLO, Ossberger, Bulb) instaladas en centrales hidroeléctricas desde 1950. Este autor señala la importancia del diseño de la turbina, siendo un factor muy importante el ángulo entre las palas. Las turbinas tipo Bulb parecen las más favorables al paso de peces.

Stokesbury & Dadswell (1991) estiman la supervivencia de varias especies de sábalos pasando a través de una turbina STRAFLO en una central hidroeléctrica de Nueva Escocia. Encuentran que un 57% de los peces sufría algún tipo de daño. Según estos autores, los sábalos presentan mayores daños causados por los cambios de presión que los salmónidos, por la morfología de su vejiga gaseosa.

Du Bois & Gloss (1993) proponen un modelo para calcular la mortandad al pasar por las turbinas. Encuentran un 66% de muertes para el sábalo a su paso por una turbina Ossberger. Parece que la baja supervivencia de peces grandes se debe al poco espacio existente entre las palas de la turbina. Encuentran también una relación positiva entre el tamaño del pez y la mortandad.

Gloss & Wahl (1983) estudian las muertes ocasionadas por las primeras turbinas Ossberger instaladas en Estados Unidos. Encuentran una correlación positiva y muy significativa entre el tamaño del pez y la mortandad. La tasa de muertes estaba entre un 8% en juveniles de truchas y un 72% en los juveniles más grandes de salmón.

Según Berg (1986) los daños ocasionados en los peces no dependen solamente de las especificaciones técnicas de las turbinas, sino también del comportamiento migratorio de las diferentes especies que pasen por la central. Este autor encontró que los daños diferían entre 23 especies estudiadas y que existía una correlación entre el ángulo de entrada del agua en las turbinas y la tasa de daños. No encuentra daños diferentes con el tamaño de las anguilas. Davies (1988) también señala la importancia del ángulo de entrada del agua en las turbinas. Los peces que entran oblicuos o cruzados a la corriente de agua pueden ser volteados por ésta.

Von Raben (1957) propone una fórmula para calcular la mortandad en las turbinas, o la probabilidad de que un pez sea dañado por contacto con una turbina. Esta fórmula y diversas modificaciones se utilizan frecuentemente en estudios de este tipo.

La mortandad es total en las turbinas de tipo Pelton, pero afortunadamente estas turbinas, reservadas a saltos muy grandes, no se instalan en los cursos de agua de migradores.

La supervivencia de juveniles de salmónidos en las turbinas Francis y Kaplan es muy variable en función de las características de la rueda (diámetro, velocidad de rotación, etc.), de su régimen de funcionamiento, de la altura del salto, así como de la especie y la talla del pez implicado. Varían de menos del 5% a más del 90% en las turbinas Francis. Son más débiles en las turbinas Kaplan, del 5 al 20 %. Las muertes pueden ser importantes para ciertas especies más sensibles a las variaciones de presión y para la anguila, a causa de su tamaño. Los juveniles de sábalo parecen más sensibles que los de salmónidos (mortandades del 65 al 85 % en las turbinas donde mueren del 10 al 15 % de juveniles de salmónidos, según Travade & Larinier (1992b).

Larinier & Darügelongue (1989) proponen varias fórmulas predictivas de la mortandad para juveniles de salmónidos y anguilas en turbinas Francis y Kaplan, según las características de la turbina y el tamaño de los peces.

#### **5.3.1.4. Derivaciones.**

El comportamiento migratorio incita a los peces a seguir la corriente. Los migradores de bajada pueden entrar en todos los tipos de tomas de agua: centrales, fábricas, canales de riego, etc. Los riesgos de arrastre son función de los caudales en las derivaciones y en el curso de agua. Los daños son específicos de cada instalación y deben ser examinados caso por caso.

#### **5.3.2. Tipos de dispositivos.**

A nivel de una instalación hidroeléctrica, si las muertes en el tránsito por los vertederos o las turbinas son débiles, puede resultar inútil instalar dispositivos especiales para la migración de bajada.

En las obras de cierto tamaño, no equipadas en su construcción de dispositivos que ayuden en la migración de bajada, es muy difícil, por no decir técnicamente imposible, desviar a los peces de los vertederos o de las turbinas. Como existen diversos vertederos y/o turbinas de características diferentes, se favorecerá en la medida de lo posible la utilización de los que presenten menos riesgos potenciales.

##### **5.3.2. 1. Barreras físicas.**

Una primera solución para evitar el paso de los peces por las turbinas consiste en detenerlos en las tomas de agua, canales o vertederos por rejillas de abertura inferior a su talla. La instalación de estas rejillas a la altura de las tomas de agua clásicas o canales de derivación depende de dos factores:

- Presencia de desviaciones alternativas en las proximidades.

- Debido a que las mortandades por aplastamiento contra las rejillas pueden ser superiores a las sufridas por el tránsito a través de las turbinas (si las velocidades del agua en las tomas son muy grandes), deben mantenerse velocidades de agua delante de estas rejillas suficientemente débiles para permitir a los peces nadar durante el tiempo necesario para descubrir las otras desviaciones.

Por regla general, las rejillas utilizadas en Canadá, Estados Unidos y Escocia son de sección cuadrada o rectangular variable de 5 a 25 mm según la talla de los peces a excluir. En el caso del salmón, la velocidad del desagüe a la altura de la rejilla deberá ser inferior a 30 m/s para los esguines y 15 cm/s para los pintos.

Generalmente, se utilizan diversos tipos de dispositivos, que se exponen a continuación.

### **5.3.2. 1. 1. Rejillas temporales.**

Se trata de rejillas finas instaladas temporalmente en las tomas de agua. Su instalación supone algunos problemas, tanto de diseño de tomas de agua como de desagüe, así como de mantenimiento, ya que hay que desmontar las rejillas para efectuar la limpieza. Estas rejillas son, la mayoría de las veces, imposibles de instalar en las tomas de agua existentes en las que las velocidades de aproximación son altas.

#### **5.3.2.1.2. Rejillas rotativas auto-limpiantes.**

Utilizadas en los canales de riego de Estados Unidos. Estas rejillas constituyen una solución muy eficaz para el desvío de peces en los canales de baja profundidad (< 2 m). Han sido utilizadas con gran éxito en muchas instalaciones, pero los problemas técnicos implicados y el coste económico de este dispositivo mecánico fijo hace que sea bastante impracticable (Ehel 1985).

#### **5.3.2.1.3. Rejillas detectoras.**

Instaladas en el interior mismo de las tomas de aguas de las turbinas, destinadas a desviar a los peces hacia pozos en la presa a partir de los que pueden acceder a un dispositivo de bajada. Estas rejillas quedan reservadas a las grandes instalaciones. Su coste económico es elevado.

#### **5.3.2.1.4. Rejillas 'Eicher'.**

Se instalan en las galerías de transporte de agua hacia las turbinas (fig. 46). El principio consiste en desviar a los peces hacia un "by-pass" con la ayuda de una pantalla inclinada. Esta pantalla está constituida por una rejilla "Johnson", con barrotes de sección triangular de 2 mm con espaciados de 2 mm. La velocidad en el conducto es de 1.5 m/s aproximadamente. Las velocidades normales en el plano de la rejilla y a la altura del "bypass" son respectivamente de 0.45 y 1.5 m/s. La ventaja principal de este tipo de rejilla es que puede funcionar a velocidades elevadas (1.5 a 2.4 m/s). Prácticamente se automantiene. Las rejillas tipo 'Eicher', teniendo en cuenta su eficacia en instalaciones recientes y su posibilidad de funcionamiento con velocidades elevadas, parecen las barreras físicas más prometedoras en este momento (Travade & Larinier 1992b).

#### **5.3.2.1.5. Pantallas hidrodinámicas.**

Las pantallas hidrodinámicas ('louvers') (fig. 47) solamente se han utilizado con éxito en algunas instalaciones, especialmente en Estados Unidos en los canales de riego (con caudales alrededor de 140 m<sup>3</sup>/s) y a título experimental a nivel de tomas de agua de pequeñas centrales hidroeléctricas. Para que sea eficaz, esta pantalla requiere el respeto de unos criterios muy precisos:

Figura 46. Rejilla tipo 'Eicher' situada en la entrada de las turbinas en una central hidroeléctrica. En detalle, la rejilla tipo "Johnson".

Figura 47. Pantalla hidrodinámica ("louver").

- El ángulo de la pantalla en relación al desagüe debe estar comprendido entre 10° y 15°
- La separación de las láminas varía entre 5 y 15 cm, dependiendo de la talla del pez.
- Las velocidades del agua en las proximidades de la pantalla deben permanecer uniformes y constantes y estar comprendidas entre 0.4 m/s para los pintos y 1.5 m/s para los esguines, en el caso del salmón.
- La velocidad en el canal de desviación debe ser igual o superior a 1.4 veces la velocidad del agua en las proximidades de la pantalla.

Este dispositivo es muy sensible a la obstrucción y necesita sistemas de protección y mantenimiento. Actualmente en Estados Unidos se ha reemplazado progresivamente por rejillas rotativas inclinadas. Las pantallas hidrodinámicas son prácticas sólo cuando los caudales de agua pueden ser controlados cuidadosamente y no existen problemas con cuerpos flotantes (Ebel 1985).

#### **5.3.2.1.6. Pantallas estáticas.**

En los pequeños proyectos hidroeléctricos se requiere que exista un sistema de toma de agua tal que separe los peces y los residuos (acículas de pino, hojas, arena, etc.) del agua que pasa a través de las turbinas. El diseño de este tipo de pantallas se originó en 1955, utilizando el efecto Coanda, el fenómeno por el cual un fluido tiende a seguir una superficie sólida. Como el agua fluye a través de cada alambre horizontal, una porción es desviada por cada ranura haciendo que los sólidos sean retirados hacia el suelo de la pantalla (fig. 48). Una lámina de aceleración especialmente disecada permite una distribución uniforme del flujo a través de la pantalla y un aumento de la velocidad del fluido para una separación más efectiva del líquido y el sólido.

Con este tipo de dispositivos, se evitan ciertos problemas que existían en pantallas de uso anterior, como la necesidad de energía eléctrica para los mecanismos de limpieza o la obstrucción de la pantalla por sólidos o por algas filamentosas. Este sistema no necesita electricidad para las operaciones de limpieza. Su carácter autolimpiante, no teniendo partes móviles, asegura una mínima atención. Se necesita poco o nada de mantenimiento, además el material es inoxidable.

Figura 48. Pantalla estática.

Este tipo de pantalla es capaz de eliminar, con una abertura de 1 mm, un 90% de sólidos de 0.5 mm o más grandes, por eso proporciona una protección positiva de las turbinas hidráulicas. La superficie lisa de esta pantalla sirve como excelente guía de peces y protege a los juveniles de entrar en las turbinas. Es un dispositivo fácil de instalar y muy económico, además tiene una gran capacidad y no requiere supervisión. Estas pantallas se han aplicado en diferentes partes de Estados Unidos con considerable éxito, en tomas de agua de turbinas o en derivaciones para riegos (Strong & Ott 1988).

### **5.3.2.2. Barreras comportamentales.**

Las medidas comportamentales son alternativas particularmente atractivas para la protección de los peces debido a su bajo coste económico. Están indicadas sobre todo para peces pequeños y frágiles, difíciles de proteger con barreras físicas (Nestler *et al.* 1992).

Se trata de dispositivos que inducen un desplazamiento de los peces en una dirección dada gracias al estímulo ejercido sobre su comportamiento (atracción, repulsión, guía). Estas barreras resultan bastante atractivas para los constructores, ya que se necesita poca protección contra la obstrucción y muy poco mantenimiento.

Los estímulos visuales, auditivos, hidrodinámicos y eléctricos están ligados a un gran número de barreras comportamentales: pantallas de burbujas, pantallas sonoras, pantallas de cadenas fijas o móviles, pantallas luminosas de atracción o de repulsión, pantallas eléctricas, pantallas hidrodinámicas ("Louvers" o pantallas de persianas).

#### **5.3.2.2.1. Pantallas de burbujas.**

Ebel (1985) describe la utilidad del uso de chorros de agua y aire en la desviación de peces. El uso de chorros de agua tiene demasiados inconvenientes para ser aplicado. Las pantallas de burbujas creadas por chorros de aire desvían a los juveniles con gran eficacia durante el día, pero no durante la noche (cuando migran muchos peces), aún cuando la pantalla de burbujas esté iluminada (fig. 49). Este sistema también resulta ineficaz en condiciones de turbidez (Bell 1991).

Stewart (1981) prueba la eficacia de las pantallas de burbujas como sistema para desviar a los peces frente a las barreras eléctricas. Encuentra que la eficacia no difiere mucho en los dos sistemas, sin embargo las pantallas de burbujas tienen varias ventajas adicionales, como su mayor área de cobertura, su simplicidad técnica y su bajo consumo de energía.

Figura 49. Pantalla de burbujas.

Figura 50. Pantalla luminosa.

#### **5.3.2.2.2. Pantallas luminosas.**

Numerosos estudios indican que el comportamiento de los salmónidos juveniles cambia con variaciones en la luminosidad (fig. 50). Nemeth & Anderson (1992) estudian el cambio del comportamiento básico y la actividad del pez con la exposición a luces estroboscópicas y de mercurio bajo una variedad de condiciones de luminosidad ambiental. Su experimento demuestra que las respuestas a la luz son complejas y dependen de una variedad de condiciones relacionadas con el pez y con el medio. De hecho, obtienen respuestas y comportamientos muy diversos. Generalmente, los peces repelen las luces estroboscópicas, aunque exhiben un comportamiento de atracción y repulsión. Los efectos repulsivos (flashes estroboscópicos) o atractivos (lámparas de vapor de mercurio) de la luz no son muy evidentes, pero los experimentos se pueden tener en cuenta ya que la luz es un parámetro susceptible de reforzar los efectos de otros dispositivos. Se han obtenido recientemente resultados alentadores en la eficacia de pantallas luminosas en la migración de bajada de la anguila. Estas pantallas, constituidas por bombillas sumergidas, utilizan el comportamiento lucífugo de la anguila para desviarlas hacia zonas de sombra. Las luces parecen ineficaces durante el día y durante periodos de gran turbidez (Ebel 1985).

#### **5.3.2.2.3. Pantallas sonoras.**

Según Nestler *et al.* (1992), de todos los dispositivos comportamentales probados, el sonido parece tener una mayor eficacia en la protección de los peces. Además, es un sistema relativamente barato. Estos autores evalúan el uso de bajas y altas frecuencias de sonido para repeler súbalos. Sus resultados indican que las altas frecuencias producidas desvían a los peces de las zonas peligrosas. Estos resultados son alentadores porque el campo sonoro puede ser generado con bajo coste económico, es seguro comparado con otras tecnologías, y parece bastante efectivo a distancias mayores de 50-75 m, aunque esta eficacia se haya probado nada más que por la noche. Este sistema probablemente funcionaría mejor si se usase junto a otras tecnologías. Es necesario también tener un conocimiento preciso del régimen hidráulico, del diseño del proyecto y de la morfología del canal cerca de la toma. Las características del canal son importantes para evitar ecos no deseados y otros ruidos que puedan despistar a los peces en la localización del sonido. Según Ebel (1985), se han experimentado en el campo un amplio espectro de sonidos sin mucho éxito en el desvío de peces. Sin embargo, frecuencias específicas sí producen respuestas de orientación.

#### **5.3.2.2.4. Pantallas eléctricas.**

Las barreras de electricidad no se han usado durante largo tiempo debido a sus pobres resultados para bloquear la migración de los peces, a la muerte no deseable de éstos y al equipo de mantenimiento requerido para mantener una barrera operativo durante diferentes estaciones del año. A pesar de estos problemas, las barreras eléctricas, en muchos casos, se han mostrado como una herramienta útil para parar y guiar el paso de los peces a través de una vía de agua natural o artificial. Una barrera de este tipo produce un campo eléctrico en el agua, estableciendo una corriente eléctrica entre una fila de electrodos. Puede imaginarse como un muro de agua electrificado por corriente eléctrica.

Una de las situaciones más deseables de una barrera eléctrica ideal es aquélla en que los peces son introducidos poco a poco en un campo eléctrico, que produce un aumento gradual de una desagradable sensación conforme los peces avanzan.

El campo eléctrico debería, tan eficazmente como fuera posible, asustar a los peces lejos de la barrera, sin causarles daño. Debería además ser capaz de parar a los peces que nadan a través del campo eléctrico. La barrera ideal permitiría a los peces aprender a evitarla y salvarse en canales alternativos. Para aumentar la eficacia es conveniente producir un patrón con líneas del campo eléctrico en la misma dirección que la migración de los peces. Como éstos normalmente nadan con las cabezas dirigidas hacia la corriente de agua el patrón más efectivo es aquél donde las líneas del campo existen en una dirección río arriba-río abajo en relación al flujo de agua y son paralelas en relación a la superficie y el fondo (fig. 51).

El criterio esencial para las barreras eléctricas en el bloqueo de la migración río arriba requiere sólo que los peces reciban suficiente corriente eléctrica para reducir su habilidad de natación y no consigan nadar contra el flujo de agua. Estas barreras deberían colocarse en zonas de alta velocidad de agua, haciendo que los peces inviertan más tiempo intentando atravesar la barrera, con una segunda ventaja de retirar a los peces aturdidos fuera del campo eléctrico. Por otro lado, las barreras de bloqueo de la migración río abajo deberían estar en zonas de baja velocidad del agua, para permitir a los peces escapar fácilmente a la desagradable sensación del campo eléctrico. En ambos casos, es interesante colocar un canal de desviación. Este tipo de barrera permite a los peces aprender a tomar un camino alternativo, y ser guiados alrededor de las zonas de peligro.

En el diseño de barreras eléctricas es importante que el gradiente del voltaje aumente gradualmente de un nivel por debajo del umbral necesitado para repeler a los peces, a un nivel por encima.

Figura 51. Pantalla eléctrica. A. Dispositivo para la migración de subida. B. Dispositivo para la migración de bajada.

Ebel (1985) describe cómo el éxito en el laboratorio de los sistemas eléctricos de guía hizo que se pusieran en práctica modelos en el campo. Existen limitaciones en este sistema. Las aplicaciones en el campo requieren la guía de migradores de varias especies de un gran rango de tamaños. Los voltajes requeridos para afectar a los peces más pequeños resultaban letales para los grandes. Se necesitaba, entonces, una secuencia de campos eléctricos, elaborando un sistema de electrodos. La eficacia en la guía de juveniles descendía según la velocidad del agua aumentaba, limitándose su aplicación a situaciones donde el caudal pudiera controlarse.

### 5.3.2.3. Sistemas de desviación.

Sea cual sea el dispositivo utilizado para evitar la entrada de los peces en una toma de agua, es necesario disponer una o varias desviaciones que permitan a los peces rodear el obstáculo recobrando sin daño alguno su medio de origen. Estas desviaciones pueden estar asociadas a barreras físicas o comportamentales, o simplemente utilizarlas solas. Se puede aumentar la atracción utilizando luz, en la medida en que una gran parte de la migración se realiza por la noche.

El transporte hacia aguas abajo se hace por medio de conductos o canales en los que se debe evitar todo tipo de choques, rugosidad excesiva, ángulos muy bruscos, etc. La velocidad no debe exceder una docena de m/s y es preferible que esta obra desemboque en la horizontal por debajo del nivel de agua aguas abajo (salto máximo de 1 a 3 m).

La obstrucción por cuerpos flotantes es el principal problema encontrado en el funcionamiento de estos canales de desviación ya que las zonas de reunión de los peces (y en consecuencia la posición de las desviaciones) corresponden a zonas de acumulación de restos. Se puede diseñar el conducto o canal de manera que se permita el paso aguas abajo de los cuerpos flotantes, instalando aguas arriba justo por encima de la desviación rejillas con barrotes de grandes separaciones (mínimo 20 cm) de manera que no se perturbe el comportamiento de los peces.

Cuando la anchura de la toma de agua sobrepasa una decena de metros se hace preferible instalar varias derivaciones.

La eficacia de estos dispositivos es muy sensible a su instalación y a las condiciones hidrodinámicas. Las corrientes transversales próximas a la entrada pueden guiar a los peces hacia otra zona.

El aumento de la atracción de estas derivaciones por la luz ofrece interesantes perspectivas como atestiguan algunos resultados preliminares. Parece que la eficacia depende fuertemente de las condiciones de luminosidad. Los primeros resultados obtenidos en controles de sistemas de desviación realizados recientemente en la costa este de Estados Unidos indican eficacias del orden del 15 %. En Francia, las eficacias obtenidas en dos localidades fueron del 85 %, en una desviación donde la instalación era muy favorable, y alrededor del 20% para una desviación situada 6 m aguas arriba de las rejillas de la toma de agua (Travade & Larinier 1992b).

Giorgi *et al.* (1988) encontraron un 30 % de mortandad de juveniles de salmónidos en una presa con sistema de pantalla sumergida con canal de desviación. Según estos autores la eficacia de las pantallas cambia con el tiempo, según el desarrollo de los juveniles de salmón. Los cambios comportamentales que se producen en los individuos, por ejemplo en la Notabilidad, pueden afectar la susceptibilidad de ser guiados por una pantalla de este tipo, ya que la distribución vertical de los peces en la columna de agua cambia. Este estudio sugiere sin embargo que una gran cantidad de juveniles pueden ser desviados con este tipo de sistema.

Por el contrario, en otro estudio, Giorgi & Sims (1987) encontraron una eficacia pequeña en otra central con sistema de pantalla sumergida con canal de desviación. Del total de juveniles que pasan por la presa, solo una fracción pequeña es interceptada por la pantalla para pasar al canal.

## Cerrar Ventana