

Figura 5.5 Selección de turbinas axiales

Las turbinas Francis, para los sitios que las tengan como aconsejables, serán de eje horizontal (Figura 5.6), por los mismos motivos.

Para algunos sitios en que la potencia a extraer es menor, podría considerarse la utilización de turbinas de tipo Michel-Banki.

Tienen varias ventajas:

- su fácil diseño, bien conocido y público, prácticamente sin detalles de diseño que no sean de dominio público
- la posibilidad de su construcción en el país, incluso por talleres medianamente equipados; no es necesaria mecánica pesada, sofisticada ni de extrema precisión
- resultado de lo anterior, su costo relativamente bajo

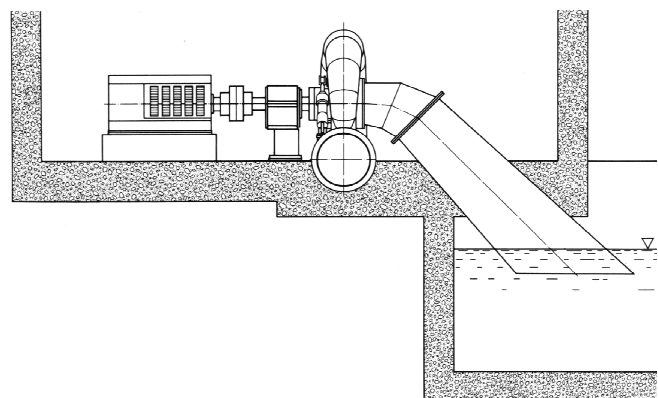


Figura 5.6 Turbina Francis de eje horizontal

- su adaptabilidad a grandes variaciones de salto y de caudales con pequeño sacrificio de rendimiento
- la amplia experiencia de su uso en la región, aunque no en Uruguay

Tienen algunos inconvenientes:

- Al ser, típicamente, construidas en chapa de acero, son propensas a corroerse en el mediano plazo; se puede protegerlas o realizarlas de aleaciones inoxidables, pero el aumento de costo podría compensar las demás ventajas.
- Suelen requerir mayor amplitud de la sala de máquinas, lo cual incrementa algo el costo de las obras civiles
- Por su diseño, no suelen tolerar depresiones sino mínimas; ello les impone alturas máximas de instalación; los otros tipos de turbinas, en la medida en que no se produzca cavitación, pueden aprovechar algo más el salto bruto disponible

## **5.3 Capacidades de la industria nacional**

### **5.3.1 Desarrollo de proyectos**

La ingeniería nacional (en su acepción más amplia, ya se trate de profesionales independientes o empresas de ingeniería y de consultoría) puede desarrollar en todos sus aspectos un proyecto de PCH. Tanto la recogida y elaboración de información técnica, como los diseños de presas, conducciones a superficie libre o confinadas, sala de máquinas, transmisión y transformación eléctrica, circuitos de mando y control, cuentan con profesionales capacitados en el país. Lo mismo vale para los estudios de impacto y las evaluaciones económico-financieras.

Deberá recurrirse a insumos de ingeniería externos sólo cuando se requiera detalles de realización concreta y precios de las máquinas principales (turbinas y alternadores), de las cuales no hay fabricación nacional.

### **5.3.2 Obras civiles.**

Las obras civiles de todos los proyectos pueden ser realizadas por buena cantidad de empresas nacionales. Las decenas de empresas de obras civiles que suelen trabajar en obras públicas y privadas de cierto porte tienen la maquinaria y los recursos humanos capacitados que se requieren, tanto para excavaciones y movimientos de tierra como

para construcción de obras de toma, de canales, construcción de salas de máquinas y de subestación, instalación de tuberías de gran diámetro, montaje de líneas eléctricas de media tensión.

Para la construcción de los equipos de generación, hay empresas que tendrían las capacidades requeridas para los tamaños de las máquinas de que se trata. Por ejemplo, la elaboración de las turbinas requiere capacidades tecnológicas que se encuentran en el país: corte y conformación de chapas gruesas, soldadura, fundición, maquinado. Al menos tres empresas metalúrgicas de gran porte (para la escala de este proyecto) y varias de mediano porte podrían realizar todas las construcciones metálicas requeridas. Pero no se cuenta con experiencia previa. Las empresas mencionadas no han construido, hasta la fecha, turbinas hidroeléctricas.

Con respecto a los generadores, caben las mismas observaciones que respecto a las construcciones metalúrgicas. Al menos una empresa nacional tendría capacidades para su construcción, pero no cuenta con experiencia acumulada en ese tipo de generadores. Y no le sería rentable una inversión para generar una línea de producción si la demanda fuera de muy pocas máquinas.

Las válvulas y compuertas requeridas comparten en alguna medida las observaciones de la construcción de turbinas: si bien se han elaborado en el país, no hay, a la fecha, una línea de producción que las elabore con cierta frecuencia y en tipos y tamaños repetitivos.

### **5.3.3 Celdas e instrumentos; tableros**

Se elaboran en el país tableros eléctricos de buena calidad, incluyendo celdas. No obstante, los componentes, ya sean instrumentos u órganos de accionamiento, son importados.

### **5.3.4 Sistemas de control**

En los países en que hay experiencia acumulada en generación a pequeña escala se han desarrollado sistemas de control. En particular, en los países de la región, se han desarrollado dispositivos eléctrico/electrónico para regular la velocidad de rotación.

Para la detección de la velocidad de rotación se han conocido históricamente varias tecnologías, desde el regulador de Watt, pasando por un dínamo solidario a la turbina, hasta la detección por medios capacitivos o inductivos. La actuación del órgano de regulación (válvula, compuerta, distribuidor) ha conocido distintas tecnologías: accionamientos mecánicos mediante palancas y engranajes, accionamiento eléctrico, óleo-hidráulico; y la lógica de vinculación ha sido con componentes mecánicas, de electrónica discreta, de electrónica integrada, de PLC.

Es factible un desarrollo nacional del sistema electrónico-PLC de control automático de la velocidad, a relativamente bajo costo y sin dificultades tecnológicas especiales. Por lo tanto, cabe pensar en una integración nacional de tecnología, sin perjuicio de que los componentes a usar serán importados. El costo será menor si el desarrollo tecnológico puede ser amortizado en varias PCH.

### **5.3.5 Ensayos y calibraciones**

En grandes centrales hidroeléctricas se hace, prácticamente sin excepción, un ensayo en modelo a escala reducida antes de construir la máquina de gran porte. Las mayores fábricas disponen de laboratorios al efecto, o contratan con laboratorios de hidráulica especializados. En el país podría desarrollarse un tal laboratorio, pero es cuestionable su justificación para la cantidad y porte de los proyectos hidroeléctricos posibles.

Por otra parte, aún disponiendo de instalaciones de laboratorio, un ensayo en modelo a escala reducida tiene un costo que puede ser difícil de justificar por la mejora del diseño y las mejoras del rendimiento (y la generación adicional) que pueda permitir. Sin perjuicio de las particularidades de cada emprendimiento, parece preferible adquirir una máquina construida de acuerdo a un diseño ingenierilmente bien logrado y si es posible experimentado, y comprometer mediante contrato al suministrador con un rendimiento mínimo que se juzgue aceptable.

Las observaciones anteriores serán más válidas aún para turbinas axiales no-Kaplan, con un solo modo de regulación.

Sí será necesario un ensayo de la máquina una vez recibida e instalada, antes de la puesta en operación industrial. Para ello hay experiencia nacional utilizable, así como las potencialidades tecnológicas requeridas. Técnicos nacionales han participado de ensayos de turbinas de mucho mayor porte que las que se instalarían en las PCH; las normas técnicas y criterios de ensayo son conocidos, los instrumentos están en el país o se consiguen con facilidad.

Los instrumentos principales pueden ser calibrados en el país:

- Instrumentos de medidas eléctricas en el laboratorio de UTE, Dpto. de Metrología Eléctrica
- Instrumentos de medida de presión en el LATU e instituciones o empresas acreditadas por éste
- Instrumentos de medida de caudal se pueden calibrar in-situ, usando instrumental de referencia existente en el país y que se puede calibrar en la Facultad de Ingeniería

## 6. IMPACTOS<sup>5</sup>

### 6.1 Marco normativo.

La Ley 16.466 del 19 de enero de 1994 ha hecho obligatoria en Uruguay la realización de una Evaluación de Impacto Ambiental para la aceptación o autorización de una serie de actividades, construcciones u obras:

.....

Artículo 6º.- Quedan sometidas a la realización previa de un estudio de impacto ambiental las siguientes actividades, construcciones u obras, públicas o privadas:

.....

F) Usinas de generación de electricidad de más de 10 MW, cualquiera sea su fuente primaria.

.....

H) Líneas de transmisión de energía eléctrica de 150 KW o más.

I) Obras para explotación o regulación de recursos hídricos.

.....

M) Aquellas otras actividades, construcciones u obras que, en forma análoga a las indicadas precedentemente, puedan causar impacto ambiental negativo o nocivo. El Poder Ejecutivo reglamentará esta disposición.

N) El Poder Ejecutivo reglamentará los criterios mínimos de las actividades, construcciones u obras, a partir de los cuales se deberán realizar las evaluaciones de impacto ambiental.

.....

El Decreto 349/05 del 21 de setiembre de 2005, reglamentario de dicha Ley, establece que la aprobación por parte de la DINAMA de que el emprendimiento es ambientalmente viable toma la forma del otorgamiento de la Autorización Ambiental Previa (AAP).

En particular, las PCH –dependiendo de sus características– pueden quedar comprendidas dentro de aquellos que requieren la obtención de la AAP, según los numerales 16, 25 y 27 del Art. 2 de dicho Decreto:

- a) “Construcción de usinas de generación de electricidad de mas de 10 (diez) Megavatios, cualquiera sea su fuente primaria, así como la remodelación de las existentes, cuando implique un aumento en la capacidad de generación o el cambio de la fuente primaria utilizada”.

---

<sup>5</sup> Los resultados principales de este capítulo fueron desarrollados con motivo del proyecto: “*Estudio de factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)*”; Banco Interamericano de Desarrollo (BID) - Fundación Julio Ricaldoni, Uruguay, 2012-2013.

- b) “Construcción de represas con una capacidad de embalse de más de 2 (dos) millones de metros cúbicos o cuyo espejo de agua supere las 100 (cien) hectáreas”.
- c) “Instalación de tomas de agua, con capacidad para extraer más de 500 (quinientos) litros por segundo respecto de los cursos de agua superficiales y más de 50 (cincuenta) litros por segundo para las tomas de agua subterránea”.

Se definen 3 categorías de proyectos, de acuerdo a lo significativo de los impactos ambientales:

*Categoría "A": Incluye aquellos proyectos de actividades, construcciones u obras, cuya ejecución sólo presentaría impactos ambientales negativos no significativos, dentro de lo tolerado y previsto por las normas vigentes.*

*Categoría "B": Incluye aquellos proyectos de actividades, construcciones u obras, cuya ejecución pueda tener impactos ambientales significativos moderados, cuyos efectos negativos pueden ser eliminados o minimizados mediante la adopción de medidas bien conocidas y fácilmente aplicables.*

*Categoría "C": Incluye aquellos proyectos de actividades, construcciones u obras, cuya ejecución pueda producir impactos ambientales negativos significativos, se encuentren o no previstas medidas de prevención o mitigación.*

La autorización ambiental estará a cargo de la Dirección Nacional del Medio Ambiente (MVOTMA). La reglamentación pertinente (Decreto 349/005 del Poder Ejecutivo) exige que se realice una comunicación del proyecto; ésta deberá contar con datos identificatorios suficientes, una clasificación en Categoría “A”, “B” o “C” a juicio del solicitante, y algunos certificados notariales que puedan corresponder. Luego de presentado, corresponde a la DINAMA categorizarlo.

Las características de los proyectos de PCH de menor porte permiten encuadrarlos, normalmente, como de Categoría “B”. En este caso, el siguiente paso será la realización de un estudio de impacto sectorial (de menos alcance que si fuera categorizado “C”)

Este estudio deberá ser presentado a la DINAMA para solicitar la Autorización Ambiental Previa (AAP); en esta ocasión se deberá entregar mayor documentación técnica sobre el proyecto, junto con el Estudio de Impacto Ambiental. Se encuentran detalles de las exigencias de presentación en <http://www.mvotma.gub.uy/autorizacion-ambiental-previa>.

La DINAMA, una vez estudiado, exige sea puesto de manifiesto en forma resumida (“Informe Ambiental Resumen, IAR) durante al menos 20 días hábiles. Eventualmente, puede exigir (para la Categoría “C” es ineludible) una audiencia pública.

Luego la DINAMA producirá el Informe final, que será el insumo para una Resolución Ministerial (del MVOTMA), denegando o autorizando el emprendimiento. La resolución positiva constituirá la Autorización Ambiental de Operación.

## 6.2 Fases y actividades de una PCH

Se identificarán los *aspectos ambientales* <sup>6</sup> de una PCH en las etapas o fases principales que implican acciones en el territorio:

- construcción
- operación
- clausura

En las tres fases mencionadas, se identifican los aspectos ambientales que se listan en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1 Principales aspectos ambientales identificados**

<b>Fase</b>	<b>Aspecto Ambiental</b>
<b>Construcción</b>	1 - Remoción de cobertura vegetal, movimiento de tierra y otras actividades
	2 - Generación de residuos de obra y efluentes
	3 - Demanda de mano de obra
	4 - Transporte de materiales y trabajadores
	5 - Emisiones de polvo
	6 - Emisiones sonoras
<b>Operación</b>	1 - Presencia física de la central
	2 - Manejo de caudales en la operación de la central
	3 - Presencia física de la caminería de acceso
	4 - Presencia física de las líneas de energía eléctrica
	5 - Generación de energía eléctrica
	6 - Generación de residuos industriales y efluentes
	7 - Emisiones sonoras
<b>Clausura</b>	1 - Cese de la generación de energía eléctrica
	2 - Demolición de la central
	3 - Generación de residuos y efluentes
	4 - Modificación de la demanda de empleo
	5 - Transporte de materiales y trabajadores

<sup>6</sup> Por *aspecto ambiental* se entiende cualquier actividad o característica que derive de una actividad del emprendimiento, o de cualquier sustancia o producto utilizado o generado por éste, que pueda producir impactos ambientales.

Fase	Aspecto Ambiental
	6 - Emisiones de polvo
	7 - Emisiones sonoras

En general, la principal medida para evitar y/o minimizar los impactos negativos de una PCH es la aptitud ambiental del sitio seleccionado para su emplazamiento. O sea, que la selección exacta del sitio del emprendimiento juega un papel decisivo en la generación de impactos ambientales y socioeconómicos, en todas las fases o etapas.

### 6.3 FASE DE CONSTRUCCIÓN

Las principales actividades incluidas en la fase de construcción serán las siguientes:

- Retiro de la cubierta vegetal en la zona de implantación del embalse
- Tala y poda de árboles y vegetación en la zona de implantación del embalse
- Ejecución de obras para la derivación del agua en la zona de construcción de la presa
- Movimiento de tierra para la conformación de la presa
- Acopio transitorio del material removido para su posterior uso
- Construcción de caminería (de acceso y de circulación interna), con sus correspondientes desagües pluviales.
- Explotación de canteras
- Manejo y traslado de materiales en la obra y en sus inmediaciones
- Manejo y traslado de materiales desde y hacia el sitio de construcción
- Montaje temporal de un obrador
- Montaje de planta de hormigón en el caso que sea necesaria
- Acondicionamiento de un área para el mantenimiento de la maquinaria vial
- Ejecución de la obra civil
- Montaje de equipamiento electromecánico
- Montaje de las torres o columnas de transmisión de energía eléctrica
- Tendido de conductores
- Retiro de instalaciones provisorias



Se mencionarán en detalle los impactos asociados a cada aspecto ambiental de esta fase. Cada impacto dará motivo a distintas posibles medidas de gestión para minimizar o eliminar sus efectos negativos o potenciar sus efectos positivos.

### **6.3.1 Remoción de cobertura vegetal, movimiento de tierra y otras actividades**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Desarrollo de procesos erosivos localizados debido a la remoción de la cobertura vegetal y excavación del terreno (en zonas de obras temporales y permanentes).
- Afectación a la calidad de agua por arrastre de sólidos producto de la erosión eólica e hídrica del suelo desnudo.
- Afectación a los ecosistemas (flora, fauna y otros componentes) debido a las obras de derivación, remoción de vegetación y movimientos de tierra en la zona de implantación de la central.
- Afectación al paisaje debido a las actividades propias de la fase de construcción (remoción de la cobertura vegetal, movimiento de suelo, etc).

### **6.3.2 Generación de residuos de obra y efluentes**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Contaminación de suelos y aguas debido a la generación de residuos de obra y efluentes incorrectamente gestionados.
- Afectación de los ecosistemas debido a la generación de residuos de obra y efluentes incorrectamente gestionados.

La generación de efluentes de tipo doméstico y del efluente proveniente del lavado del hormigón (cuando corresponda) podrá afectar tanto al suelo como a la calidad de aguas, dependiendo de la disposición final prevista (infiltración al terreno, vertido a curso de agua, etc.). Consiguientemente se podrá afectar a los ecosistemas directamente dependientes de dichos hábitats.

### **6.3.3 Demanda de mano de obra**

El potencial impacto asociado a este aspecto es el siguiente:

- Activación temporal de la economía local debido a la contratación de servicios y mano de obra. Se puede generar temporalmente un número de plazas de trabajo relevante, en especial en zonas donde las opciones de trabajo giran en torno a trabajos vinculados a actividades agropecuarias.

### **6.3.4 Transporte de materiales y trabajadores**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Mejora de infraestructuras de accesos viales y servicios. Puede ser necesario realizar la apertura y el mejoramiento de la caminería de acceso, a los efectos de asegurar el traslado del personal, materiales, equipos, etc.
- Aumento del riesgo de accidentes viales debido al incremento del tránsito en la zona durante la construcción. Será debido principalmente al transporte de materiales de construcción y suministros hacia la zona de implantación de la PCH, además del transporte de los trabajadores de la obra.

### **6.3.5 Emisiones de polvo**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Afectación de la calidad del aire por emisiones durante el movimiento de tierra y transporte en la obra. El polvo se generará fundamentalmente por el movimiento de suelo en las etapas de destape, excavación y transporte del material, y por el tránsito de camiones y maquinaria en la obra (combustión y rodadura).
- Afectación a la población local por generación de polvo.

### **6.3.6 Emisiones sonoras**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Afectación a la fauna terrestre, con su consiguiente desplazamiento temporal, debido al incremento del nivel sonoro en los alrededores de la obra.
- Molestias a la población local.

Las principales fuentes de generación de ruido que se identifican son el traslado del personal, el transporte y funcionamiento de la maquinaria a utilizar y el tránsito de camiones.

## **6.4 FASE DE OPERACIÓN**

La fase de operación involucra todas aquellas actividades vinculadas con el funcionamiento y mantenimiento de una PCH.

A continuación se presenta un listado de las principales actividades incluidas en esta fase por tipo de central (central con embalse y central hidrocínética).

- Llenado del vaso

- Operación de las turbinas y compuertas

- Manejo y descarga de caudales de generación

- Descarga de caudales afluentes excedentes

- Mantenimiento de los faldones de la presa: desplazamiento del enrocado, empastado, etc.

- Limpieza periódica de la reja/criba de la obra de toma

- Mantenimiento de los componentes electromecánicos

- Energización de la línea de transmisión y entrega de energía

Se mencionarán en detalle los impactos asociados a cada aspecto ambiental de esta fase. Cada impacto dará motivo a distintas posibles medidas de gestión para minimizar o eliminar sus efectos negativos o potenciar sus efectos positivos.

### **6.4.1 Presencia de la central y manejo de caudales en la operación**

Los aspectos “presencia física de la central” y “manejo de caudales en la operación” se trataron en forma conjunta, debido a que tienen asociados varios impactos en común, relativos a la modificación del caudal aguas debajo de la central.

Los potenciales impactos asociados a estos aspectos son los siguientes:

#### **6.4.1.1 Modificación de la calidad de agua en el embalse y aguas abajo del mismo debido a su presencia física y al manejo de caudales en la operación.**

El cambio en las condiciones hidrológicas del curso de agua mediante la implantación del embalse, podrá afectar la calidad del agua del mismo, potenciando episodios de contaminación eutrófica y causando modificaciones en el tenor de oxígeno disuelto, pH, nutrientes y temperatura.

Es producido por el enriquecimiento de nutrientes en los cuerpos de agua (nitrógeno y fósforo), lo cual favorece el crecimiento excesivo de materia orgánica, provocando un crecimiento acelerado de algas y otras plantas verdes. Dichas algas cubren la superficie del agua, evitando que la luz solar llegue a las capas inferiores. En estados avanzados, pueden proliferar algas tóxicas y microorganismos patógenos.

Otros impactos secundarios pueden ser: el desarrollo de zonas de reproducción de mosquitos y otros vectores, restricciones para la navegación y recreación, obstrucción de equipos electromecánicos, etc.

#### **6.4.1.2 Lavado del lecho y desarrollo de procesos erosivos aguas abajo de la presa.**

Una parte de las partículas suspendidas acarreadas por el curso de agua se asentará en el embalse. La descarga del agua con menor carga de sedimentos podrá lavar los lechos aguas abajo. Además el exceso de energía que posee el agua podrá erosionar el cauce, por lo que aguas abajo de la presa se podrán instaurar fenómenos erosivos.

#### **6.4.1.3 Pérdida de volumen de agua por evaporación en el embalse.**

En el caso de una central con embalse, la superficie del lago es una lámina de agua susceptible de ser evaporada muy superior en extensión a la que existía anteriormente en el curso.

En función de la climatología, las características topográficas del vaso del embalse y el régimen de gestión que se le aplique, podrá aumentar la tasa de evaporación.

Aunque en la actualidad las pérdidas por evaporación no son un problema relevante en Uruguay, pueden tener mayor importancia en el futuro, en función del aumento global de temperatura y de una menor disponibilidad de agua.

#### **6.4.1.4 Modificación del nivel freático debido a la presencia del embalse.**

La presencia del embalse podrá provocar modificaciones en el nivel freático de la zona que lo rodea, tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa. Al inundarse el valle, parte del agua embalsada se infiltra a través de las paredes del vaso pasando a formar parte de las aguas subterráneas. Este aumento del nivel freático y los cambios en la dirección del flujo subterráneo podrán provocar el anegamiento de zonas cercanas, afectando a los usos a los que tradicionalmente estuvieran dedicadas.

#### **6.4.1.5 Modificación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) debido a la presencia del embalse.**

A los efectos de la evaluación de la modificación de las emisiones de GEI se debe realizar la comparación entre la situación original y la situación con el emprendimiento operando. En una central con embalse el balance de GEI dependerá del área de inundación, la vegetación presente y la potencia generada (por compensación de las emisiones que de otra manera habrían sido producidas por otras fuentes de energía).

#### **6.4.1.6 Afectación a los ecosistemas (flora, fauna y otros componentes) en la zona a inundar debido a la presencia del embalse.**

La implantación del lago implica la inundación de hábitats naturales, con la consiguiente pérdida y/o desplazamiento de las especies presentes directamente dependientes del hábitat considerado.

Del punto de vista de conservación de la diversidad biológica, los hábitats terrestres naturales perdidos por anegamiento suelen ser considerados más valiosos que los hábitats acuáticos creados por el embalse.

#### **6.4.1.7 Afectación a los ecosistemas aguas abajo de la presa debido a la modificación del caudal escurrido por la presencia de la represa y el manejo de caudales en la operación.**

La modificación de los caudales naturales aguas abajo de la presa podrá afectar al ecosistema ribereño, especialmente en zonas donde se producen inundaciones periódicas naturales. Estas variaciones de caudal afectan directamente a la biota acuática y a otras especies de flora y fauna dependientes directamente del funcionamiento del río.

#### **6.4.1.8 Afectación a los ecosistemas acuáticos debido al efecto barrera generado por la presencia física de la central.**

La presa constituirá una barrera física para los peces y la biota acuática en general, impidiendo su libre movilidad aguas arriba y aguas abajo de la represa.

Si bien los embalses pueden afectar en forma positiva ciertas especies de peces por el aumento del área de hábitat acuático disponible, en general el balance neto de impactos es negativo debido a que la presa bloquea las migraciones de peces hacia aguas arriba; y el paso hacia aguas abajo de los peces, a través de turbinas o sobre vertederos, no es siempre exitoso.

Los moluscos de agua dulce, crustáceos y otros organismos bentónicos son más sensibles a estos cambios que la mayor parte de las especies de peces, debido a su movilidad limitada.

#### **6.4.1.9 Pérdida de la capacidad de almacenamiento debido a la sedimentación en el embalse.**

El represamiento del curso de agua implica una modificación en la hidrología y limnología del sistema fluvial: inmediatamente aguas arriba de la presa se generará un cuerpo de agua léntico, mientras que aguas abajo de la misma se alterará el régimen de caudales.

Aguas arriba del represamiento se verá incrementada la sedimentación de los sólidos suspendidos en el lago. La acumulación de dichos sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, generará depósitos de sedimentos en el fondo del reservorio, provocando cambios en la limnología y sedimentología y limitando su capacidad de almacenamiento y vida útil.

#### **6.4.1.10 Pérdida de productividad en terrenos aluviales aguas abajo de la presa.**

Los terrenos aluviales son productivos gracias a los ciclos naturales de inundación, que renuevan la humedad del suelo y depositan limos en las tierras aluviales fértiles. Por lo tanto al reducir o eliminar las inundaciones existe el potencial de disminuir la productividad en dichas tierras. A nivel local este impacto puede no ser significativo debido al no aprovechamiento pleno de estas zonas.

**6.4.1.11 Cambio en el uso del suelo debido a la presencia de la central.**

La implantación de una central con embalse implica necesariamente un cambio en el uso del suelo, ya que tierras actualmente con características rurales (agrícola, bosques, pasturas, etc.) pasarán a estar inundadas por el lago. Además las represas posibilitan el desarrollo de actividades que tienen el potencial para causar otros impactos ambientales relevantes, como por ejemplo la intensificación de la agricultura a través del riego, el desarrollo urbano inducido, la implantación de instalaciones industriales (debido a nuevas provisiones de agua), la pesca deportiva o recreación.

**6.4.1.12 Generación de potenciales conflictos socioeconómicos por el uso del agua del embalse.**

Diferentes usos del agua sobre el mismo cuerpo o su cuenca de aporte podrán desencadenar un conflicto de intereses entre los diferentes actores.

**6.4.1.13 Desplazamiento de productores y habitantes de la zona inundada.**

La implantación de una central con embalse implicará necesariamente la inundación de tierras y el consiguiente desplazamiento de los productores y habitantes.

**6.4.1.14 Control de inundaciones ante avenidas debido a la presencia de la represa y al manejo de caudales en la operación de la central.**

La presencia de la represa permitirá almacenar los volúmenes producidos por avenidas extremas, produciéndose la laminación del caudal pico en el embalse y regulando la descarga, evitando de esta manera que se produzcan inundaciones en zonas pobladas aguas abajo.

**6.4.1.15 Aumento del riesgo de enfermedades (por creación de un nuevo hábitat de vectores) debido a la presencia del embalse.**

En el caso de central con embalse, la implantación del lago está puede crear un hábitat donde pueden desarrollarse distintos vectores de enfermedades y favorecer su transmisión.

#### **6.4.1.16 Afectación paisajística debido a la presencia de la represa.**

La introducción de una central con embalse modifica las visuales del entorno actual (forma, línea, textura y colores). Se deberá evaluar la frecuencia con que el mismo es visto.

#### **6.4.1.17 Pérdida de patrimonio histórico cultural debido a la presencia física del embalse.**

El patrimonio histórico cultural (incluyendo el arqueológico, histórico y antropológico) puede ser perdido o afectado a raíz de la inundación, especialmente si hubiera habido asentamiento temporal o permanente de poblaciones humanas sobre las márgenes de los cuerpos de agua.

### **6.4.2 Presencia de la caminería**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Afectación a los ecosistemas debido a la presencia de la caminería de acceso a la PCH.
- Modificación local del uso del suelo debido a la presencia de la caminería de acceso a la PCH.

### **6.4.3 Presencia de las líneas de energía eléctrica**

El potencial impacto asociado a este aspecto es el siguiente:

- Modificación local del uso del suelo debido a la constitución de servidumbres en los corredores de las líneas de energía eléctrica.

Es posible que, en el caso de que los corredores sean extensos, esta zona quede disponible para nuevos usos del suelo. Sin embargo debido a la magnitud de las líneas se entiende que este es un impacto de poca entidad.



#### **6.4.4 Generación de energía eléctrica**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Modificación de la matriz energética nacional debido a la generación de energía eléctrica a partir de una fuente renovable.
- Modificación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

La diversificación de la matriz energética nacional es un objetivo a nivel país, a cuyo logro este tipo de emprendimientos contribuye. Si bien su incidencia cuantitativa puede ser baja, la incorporación de la energía de minicentrales hidroeléctricas debe considerarse como un impacto positivo.

Los GEI se consideran como la principal causa de origen humano del cambio climático global. Se debe realizar la comparación entre la situación original, sin el emprendimiento, y la situación con el emprendimiento operando. En una central con embalse el balance de GEI dependerá del área de inundación, la vegetación presente y la potencia generada al respecto de la compensación de las emisiones que de otra manera habrían sido producidas por otras fuentes de energía.

#### **6.4.5 Generación de residuos industriales y efluentes**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Contaminación de suelos y aguas debido a la generación de residuos industriales y efluentes incorrectamente gestionados.
- Afectación de los ecosistemas debido a la generación de residuos industriales y efluentes incorrectamente gestionados.

#### **6.4.6 Emisiones sonoras**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Afectación a la fauna terrestre, con su consiguiente desplazamiento, debido a la presencia de operarios y al incremento del nivel.
- Molestias a la población local debido al incremento del nivel sonoro.

## 6.5 FASE DE CLAUSURA

La fase de clausura consiste en el conjunto de las actividades que se realizan una vez finalizada la vida útil del emprendimiento<sup>7</sup> y/o ante la ocurrencia de alguna situación que lo amerite. El objetivo es la recuperación de la calidad ambiental, de forma que una vez finalizada la misma, el ambiente se encuentre lo más próximo posible al estado en que se encontraría antes de la implantación de la central, reduciendo los riesgos a la salud humana, seguridad y formación de pasivos ambientales.

Algunas de las actividades que se realizarán en la fase de clausura son:

- Desmantelamiento de equipos de generación e interconexión eléctrica
- Transporte de los materiales y equipos a los sitios de destino
- Tapiado de canales y túneles
- Demolición de las obras civiles (si corresponde)
- Demolición de la estructura de presa (si corresponde)
- Retiro y transporte de residuos sólidos (escombros, chatarra, etc.) hasta el sitio de disposición final previamente definido
- Recuperación del medio

Se identifican dos tipos de impactos, temporales (durante el desarrollo de las actividades de clausura) y permanentes (una vez finalizadas las mismas).

### 6.5.1 Cese de la generación de energía eléctrica

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Disminución de la oferta de energía eléctrica.
- Modificación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

---

<sup>7</sup> A los efectos contables (amortización de la inversión) se suele considerar que la vida útil de una PCH varía entre 25 y 30 años. Otras fuentes (por ej. Avallone, 2007) proponen 50 años. Algunos de los componentes tendrán una vida útil más extensa, pero otros deberán ser renovados en plazos menores, dependiendo del mantenimiento que se realice y de la posible obsolescencia tecnológica.

### **6.5.2 Demolición de la central**

En el caso de que el embalse no tenga un uso ulterior, se deberá realizar el cierre de las derivaciones y la demolición de las estructuras.

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Recuperación del caudal natural aguas abajo de la central.
- Recuperación del paisaje natural.
- Pérdida de la capacidad de control de inundaciones aguas abajo ante avenidas.
- Eliminación de los riesgos derivados de eventuales rotura de presa

### **6.5.3 Generación de residuos y efluentes**

Las acciones relacionadas con el proceso de clausura podrían ocasionar el vertido accidental de combustibles, aceites u otros residuos o efluentes sobre el suelo y/o cursos de agua. Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Contaminación del suelo y cursos de agua por residuos sólidos y efluentes incorrectamente gestionados.
- Afectación de los ecosistemas debido a residuos sólidos y efluentes incorrectamente gestionados.

### **6.5.4 Modificación de la demanda de empleo**

Los trabajos de abandono podrán requerir la contratación temporal de mano de obra, aunque el número de personas a ser contratadas será, normalmente, muy inferior al requerido en la fase de construcción.

Al clausurar la central ocurrirá el cese de la oferta de trabajo correspondiente la fase de operación de la misma.

### **6.5.5 Transporte de materiales y trabajadores**

El potencial impacto asociado a este aspecto es el aumento del riesgo de accidentes viales debido al incremento del tránsito en la zona durante la fase de abandono.

### **6.5.6 Emisiones de polvo**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Afectación de la calidad del aire por emisiones durante las actividades de desmantelamiento, demolición, retiro y transporte de tierra, escombros, hormigón y equipos electromecánicos.
- Afectación a la población local por generación de polvo.

### **6.5.7 Emisiones sonoras**

Los potenciales impactos asociados a este aspecto son los siguientes:

- Afectación a la fauna terrestre, con su consiguiente desplazamiento, debido al incremento del nivel sonoro en los alrededores.
- Molestias a la población local debido al incremento del nivel sonoro en los alrededores.

## **6.6 Contingencias en una PCH**

Un Plan de Contingencia describe los principales procedimientos y medidas a adoptar frente a eventos adversos anormales (situaciones contingentes) que pudieran acontecer durante las diferentes fases de una PCH, en busca de una respuesta rápida y eficaz, con el propósito de reducir la probabilidad de daños a la salud e integridad humana, a la propiedad y al medio ambiente.

Las situaciones contingentes tienen asociadas un riesgo, es decir, una probabilidad de ocurrencia, así como un posible daño en caso de que realmente ésta se produzca.

En ese sentido, el manejo ambiental de una contingencia debe realizarse atendiendo a dos puntos:

- la reducción de la probabilidad de ocurrencia, que se conoce como prevención de riesgos, y
- la preparación de la actuación en caso de ocurrir una situación de contingencia, que se conoce como planes de contingencia.

Las contingencias identificadas en este caso son:

- Incendio.
- Derrame de Productos Peligrosos.
- Colapso de la presa.

### **6.6.1 INCENDIOS**

Las PCH están incluidas en el Decreto 222/010, relativo a la prevención y combate de incendio en construcciones no destinadas a vivienda, dentro de la clasificación K3: Central de comunicación y energía.

El Plan de Contingencia debe contemplar la prevención, detección y combate de incendios, apuntando a minimizar las posibilidades de ocurrencia y a reducir los daños en caso de que ocurra un siniestro.

El personal del emprendimiento deberá recibir capacitación básica para actuar en un operativo de combate de incendios.

El emprendimiento deberá estar certificado por la Dirección Nacional de Bomberos como apto en cuanto a los medios disponibles para combatir eventuales incendios, para lo cual deberá tener instalados, operativos y bien mantenidos los sistemas de extinción adecuados a las instalaciones y operaciones que se realicen.

Para el combate de incendios de importancia se requerirá, ante su detección y evaluación, la rápida comunicación con la DNB.

### **6.6.2 Derrame de sustancias peligrosas**

El derrame de sustancias peligrosas está referido a la ocurrencia de vertimientos de combustibles, lubricantes u otros elementos peligrosos que se utilizarán en las fases de construcción, operación y/o clausura de una PCH, tanto en su transporte como en su manejo dentro del obrador, así como, durante las tareas de mantenimiento.

Si hubiera residuos contaminados con hidrocarburos, los mismos no se deben disponer con los residuos asimilables a domésticos, debiéndose buscar gestores autorizados para

su gestión. A su vez, los envases de hidrocarburos usados deberán gestionarse en conjunto con otros residuos contaminados con hidrocarburos. Se debe almacenar los registros de envases de hidrocarburos.

### **6.6.3 Colapso de la presa**

La posibilidad de colapso de una presa está vinculada a riesgos hidrológicos (avenidas extremas), riesgos geológicos (deslizamientos del vaso), deficiencias constructivas, deficiencias durante las tareas de operación y mantenimiento, filtraciones excesivas durante su vida útil, etc.

El Plan de Contingencia debe prever las medidas a adoptar para salvaguardar las vidas de los pobladores aguas abajo de una presa ante su eventual colapso, ya que éste suele ser un evento de muy baja probabilidad de ocurrencia pero con muy altas consecuencias potenciales para la sociedad cuando existen vulnerabilidades aguas abajo.

La magnitud de los daños a producirse, dependerá de la altura de la presa y del volumen de agua almacenada, de las características de la zona a inundar y de la capacidad de repuesta para evacuar la población ubicada aguas abajo de la presa.

## 7. COSTOS

### 7.1 Obras civiles.

La información disponible permite estimar los costos de los emprendimientos sólo con mucha dispersión.

El costo de las obras civiles de los aprovechamientos uruguayos se espera que tengan mucha dispersión, pues dependen de varios aspectos:

- Las características geológicas y geotécnicas del suelo
- Si se trata de una represa de tierra o de hormigón
- Relacionado con lo anterior, si el vertido de excedencias en caso de crecidas se hace por la misma presa o por un canal lateral (sangrador)
- Si la sala de máquinas estará en el cuerpo de la presa o en tierra; y en este caso, si estará contigua a la presa o a distancia aguas abajo
- La disponibilidad de materiales en la cercanía, en el caso de presas de tierra

Se trata de aspectos que requieren una evaluación circunstanciada, pero para la cual las empresas de ingeniería uruguaya pueden realizarla con buena precisión. Hay buena experiencia nacional en obras que implican movimiento de tierras y construcciones en hormigón.

Algunas de las referencias que se mencionan al final ofrecen fórmulas obtenidas por regresión matemática de valores estadísticos; pero se trata de valores que corresponden a tipologías de presa que no tienen porqué coincidir con las aptas para Uruguay.

### 7.2 Equipos electromecánicos.

Los posibles oferentes de equipos electromecánicos son renuentes a entregar, y menos comprometer, valores de costos, pues los ajustarían sólo en caso de concretarse un pedido concreto. No obstante, la información publicada permite hacer algunas estimaciones:

Según IPCC (2012), el proyecto completo tendría un costo variable entre U\$S 3000 y U\$S 5000 por kW instalado (dólares de 2005).

Según Canales y Beluco (2008), el valor estimado del equipamiento electromecánico sería de alrededor de

$$\text{U}\$ \$ 7123.83 * Q^{-0.026} * H^{-0.539} * \text{Pot (kW)} |$$

Esta estimación puede ser complementada con la distribución de costos presentada por BUN-CA (2002): el equipo electromecánico cuenta por entre el 30% y el 60% del valor de la obra.

Como se trata, en general, de obras civiles de mediano porte, se puede suponer el 35% ó 40%, suponiendo que se realicen con criterios de la máxima economía de recursos compatible con un funcionamiento confiable y eficaz.

### 7.3 Líneas de transmisión

El costo del puesto de conexión se estima en U\$S 50.000 en cada sitio; en los de mayor porte puede ser algo más.

El costo de las líneas de transmisión dependerá de las características principales:

- Material de los conductores
- Tipo de postes
- Naturaleza del terreno (dificultad para hincar los postes)

En la Tabla 7.1 se dan algunas estimaciones disponibles en Uruguay. Son válidas para líneas aéreas de 6 kV y 15 kV, implantadas en suelos sin dificultades especiales para hincar los postes.

**Tabla 7.1 Estimaciones de costos de líneas aéreas**

Tipo de conductor	Sección (mm <sup>2</sup> )	columna	Costo estimado (U\$S de 2012 por km)
ACSR	95/15	Hormigón, 9,5 m	60.500
ACSR	95/15	Madera, 10,5 m	33.000
ACSR	50/8	madera de 10,5 m	26.000
ALAL	95	hormigón de 9,5 m	58.500
ALAL	95	madera de 10,5 m	45.400

**ACSR:** conductor de aluminio con alma de acero  
**ALAL:** conductor de aleación de aluminio



## 7.4 Costos indirectos

Son los de las obras o servicios provisorios y servicios de carácter general necesarios para llevar a cabo el emprendimiento:

- Proyecto de ingeniería
- Relevamientos topográficos e hidrográficos, cateos, etc.
- Estudios ambientales
- Obrador, instalación transitoria de personal
- Administración y gestión durante la obra
- Gestión de autorizaciones
- etc.

Se puede estimar que los costos indirectos son de entre un 15 % y un 25 % de los costos directos de implantación.

## 7.5 Costos de Operación y Mantenimiento.

Se puede tener una primera estimación mediante la fórmula:

$$C_{OP\&M} (\text{U\$S} / \text{año}) = 35.000 \times [\text{Pot (MW)}]^{0,37}$$

La fuente de esta fórmula<sup>8</sup> la expresa con mayor cantidad de cifras decimales en los coeficientes, pero al cambiar la paridad de las monedas y los ámbitos socio-económicos no cabe buscar mayor precisión de una fórmula genérica.

## 7.6 Costos Socio-Ambientales

Todo proyecto de energético tiene impactos socio-ambientales, que se pueden traducir en costos.

Esos costos pueden no ser considerados; se incorporarían a la ecuación económico-financiera del emprendimiento sólo los costos que se traducen directa e inmediatamente en unidades monetarias: costos de proyecto y gestiones, expropiaciones, obra civil, equipamientos electromecánicos e hidráulicos, costos de operación y mantenimiento. O sea, los costos por los cuales hay que realizar una erogación bien identificada.

---

<sup>8</sup> Ministerio de Minas y Energía, Brasil, 2007

Pero hay costos, que es frecuente que queden encubiertos, que de no incorporarse a la ecuación económica deben ser asumidos por la comunidad, local o regional o nacional.

Se suele llamar “**externalidades**” a los costos impuestos a la sociedad, no contabilizados ni asumidos por productores ni consumidores.

(estos “costos” pueden ser positivos o negativos; es decir, puede que la realización del emprendimiento no se refleje sólo en problemas a solucionar sino que tenga algunos efectos positivos).

Algunos de las externalidades pueden ser las derivadas de:

- Impactos sobre la flora y fauna del lugar
- Afectaciones a la calidad de vida (incluyendo sanitaria) de la población
- Efectos locales sobre el clima
- Acciones de control, supervisión, y prevención de desastres originados por la presencia del emprendimiento (costos institucionales y de obras adicionales)
- Vías de comunicación que pueden ser modificadas
- Cambios en las actividades de la población cercana
- Emprendimientos económicos que se favorecen o se dificultan

(en el Cap. 6 se listan con mayor detalle los impactos)

Para cada emprendimiento que se realice se debería poder estimar los costos socio-ambientales. Y una vez cuantificadas estas externalidades, se debería dar pasos para internalizarlas. O sea, que la ecuación de costos, que se reflejará en los precios de la energía, contemple todos los efectos para la sociedad del nuevo emprendimiento.

Si así no se hiciera, se corre el riesgo de hacer transferencias no cuantificadas, quizás no decididas o no deseadas de un sector de la economía a otro. Sería un subsidio no voluntario e indiscriminado. Por ejemplo, si hubiera muchas externalidades negativas relativas a desplazamiento de producciones agropecuarias por el lago o las instalaciones, se estarían transfiriendo posibilidades de generación de valor del sector agropecuario al sector energético.

Esas transferencias no son buenas ni malas per-se. Pero es conveniente que sean cuantificadas y decididas o admitidas conscientemente. E incorporadas o no a los costos, conociendo los efectos de ambas alternativas.

Hay metodologías en desarrollo en el mundo para internalizar las externalidades:

- A) Metodologías de arriba-abajo (top-down). Utilizan datos muy agregados, emisiones e impactos a nivel nacional o regional, y se expresan los costos como valores medios. Tienen la ventaja de basarse en estudios previos, por lo cual cada emprendimiento tiene que generar pocos datos propios; como desventajas, no permite el cálculo de costos marginales para ese emprendimiento particular; no tiene en cuenta la localización particular de la central ni el tiempo en que se producen los efectos, por lo cual dificulta la internalización particularizada de los costos

- B) Metodologías de abajo-arriba (bottom-up). Toman como dato los impactos específicos; con modelos de dispersión y funciones dosis-respuesta se calculan los impactos incrementales del emprendimiento y se evalúan monetariamente.

En particular, en Europa y USA se ha desarrollado la metodología ExternE, del tipo abajo-arriba, para cuantificar las externalidades de la generación eléctrica<sup>9</sup>. Consiste en hallar “funciones de daño” o “de impacto” para cuantificar cada uno de éstos. Luego, hacer una estimación de los costos, basándose en

- Disposición a pagar para evitar un impacto negativo o disfrutar uno positivo (está relacionado con la renta disponible, varía de un lugar a otro)
- Variación de valores de las propiedades
- Medir cambios en el bienestar de la sociedad (muy difícil de cuantificar)
- Cuantificar los costos de restauración (la única manera de evaluar costos de afectación a la biodiversidad)

Es un enfoque de costos marginales, dado que considera el efecto de una instalación adicional a las existentes. Por ello es apto para calcular costos de cada emprendimiento. Tiene la dificultad de que necesita estimar la tasa de descuento para actualizar los impactos a largo plazo.

Con esta metodología, se halló los costos de las externalidades para la generación hidroeléctrica, en Europa, en el año 2000:

Costo de externalidades de la generación hidroeléctrica = 2 a 7 €/MWh

detectándose pocas diferencias entre países, y aumentando con la densidad de población. Este intervalo de valores, sin embargo, no incluye todas las externalidades posibles: es incierto el efecto sobre el calentamiento global, la percepción del riesgo a largo plazo no es confiable.

La tendencia actual es sustituir la metodología ExternE por el “Proyecto Needs” de la C.E.: “New Energy Externalities Development for Sustainability”. Este proyecto, finalizado en 2009, determina con más fineza el ciclo de vida de las tecnologías energéticas y hace una valoración monetaria de las externalidades analizando rutas de impacto (modelación atmosférica, suelo y agua, relaciones causales entre poluyentes e impactos a la salud, pérdidas de biodiversidad, etc. Y adopta un análisis multi-criterio para la toma de decisiones.

Afortunadamente, se puede proceder de manera progresiva y acumulativa: cuantificado un determinado impacto, puede ser considerado en la ecuación de costos de la generación. A medida que se vaya pudiendo hacer eso con más impactos, más se incorporará en los costos del emprendimiento a los costos que la sociedad entera asume. No es necesario, para avanzar en el sentido pretendido, tener todos los impactos evaluados y cuantificados.

---

<sup>9</sup> Ver, por ejemplo, García Ybarra, CIEMAT, 2001.

En Uruguay es incipiente la atención a estos aspectos de los emprendimientos energéticos. Si bien hay algunos estudios globales que permitirían aplicar una metodología top-down, no se ha generalizado la preocupación por la internalización de las externalidades. Surgen voces indicando la necesidad, se lo considera a nivel académico; pero no hay, a la fecha, una dinámica establecida y menos aún reglamentaciones al respecto.

## **8. GUÍA PARA ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD DE UNA PCH.**

La presente guía se propone dar un listado de acciones necesarias para llevar a cabo un emprendimiento de generación hidroeléctrica.

La siguiente guía no pretende ser exhaustiva de los distintos aspectos y estudios que deben ser abordados en el marco de un estudio de pre-factibilidad de instalación de una pequeña central hidroeléctrica.

Será aplicable a los pequeños y mini aprovechamientos; los grandes tienen requisitos especiales, a la vez que condiciones económico-financieras y capacidades de generación que justifican muchos recursos tecnológicos. Los estudios previos, el aporte intensivo de ingeniería y los detallados ensayos se repagan con facilidad en la medida que permitan optimizar las prestaciones del emprendimiento.

Por otra parte, los pico-aprovechamientos son de una escala tal que no se justifica (no se repagan) estudios demasiado detallados.

Se incluye:

- Selección adecuada del sitio
- Obtención de los parámetros principales que definirán el aprovechamiento
- Prediseño de las obras civiles
- Selección de los equipos electromecánicos
- Tareas previas a la puesta en operación
- Operación y mantenimiento

Dada la gran variabilidad de situaciones, de algunos temas sólo cabe dar ideas generales de cómo proceder y no soluciones o metodologías muy precisas.

Además, hay publicadas una buena cantidad de libros y manuales que abordan estos temas con distinto grado de detalle. Algunos de ellos se mencionan en la Bibliografía; muchos son accesibles por Internet. La mayoría de ellos se remiten a las condiciones que se dan en otros países, a saber:

- Existencia de saltos medianos y elevados; por ello, se dedican con preferencia a las turbinas (Francis y Pelton) no adecuadas a la mayoría de las situaciones que se encontrarán en Uruguay. La topografía del país hace que las turbinas más adecuadas sean las diseñadas para saltos bajos: de tipo axial o las de flujo cruzado (Michel-Banki).

- Relacionado con lo anterior, las represas es frecuente que se consideren de hormigón, de arco entre paredes rocosas y con descarga de vertederos a lechos rocosos.
- Emprendimientos de generación autónomos, adecuados para suministro eléctrico a localidades muy alejadas de la red interconectada. Ello, en Uruguay, es la excepción y no la regla.
- O bien se supone disponibilidad de mano de obra no calificada en abundancia y no se apuesta a tecnologías elaboradas; o bien se supone alta capacidad de inversión y se supone la disponibilidad de recursos financieros y tecnológicos de porte

Los estudios están mencionados en forma global y genérica, para una descripción más detallada de cada punto se puede consultar, además de la bibliografía y manuales recomendados, alguno de los cinco estudios de pre-factibilidad en los sitios seleccionados en el Cap. 4.

### **ASPECTO**

### **ETAPAS**

## **Producción de energía**

### **Disponibilidad de recursos hidráulicos**

-Estimación del área de la cuenca y características a partir de cartas topográficas 1:50000 o similares y el uso de software de información geográfica (SIG).

-Estimación de pluviometría media anual a partir de series históricas.

-Estimación de caudal medio anual como el producto de la pluviometría media anual y el área de la cuenca.

-Estimación de los caudales (avenidas de proyecto) de períodos de recurrencia 2, 10, 50, 100, 500, y 1000 años, según corresponda a la categoría de la presa (ver 5.1.2)

- Estimación de los caudales (avenidas extremas) de períodos de recurrencia 1000, 5000 o 10.000 años, según corresponda a la categoría de la presa

<b>Salto neto</b>	<p>-Estimación del salto bruto a partir de curvas de nivel de las cartas topográficas.</p> <p>-Estimación de las pérdidas de carga; un primer criterio puede ser adoptar el 4% del salto bruto.</p> <p>-Estimación del salto neto, como la diferencia entre el salto bruto y las pérdidas de carga.</p>
<b>Energía generada</b>	<p>-Definición de sobre-equipamiento o no, es decir, si se instalará una potencia para turbinar el caudal medio o un caudal mayor.</p> <p>-Cálculo de potencia instalada, como <math>\gamma \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta</math>, estimando un rendimiento adecuado.</p> <p>-Cálculo del tiempo de residencia del embalse (volumen embalsado dividido caudal medio).</p> <p>-Estimación de factor de capacidad a partir de fórmulas empíricas o de gráficas que lo relacionan con el tiempo de residencia del embalse.</p> <p>-Estimación de la energía anual generable como <math>F_c \cdot Pot \cdot 8760 \text{ hs/año}</math>.</p>
<b>Selección de equipos</b>	<p>-Selección del número, tipo y tamaño de la/s turbina/s. Para la cantidad se podrán evaluar los diámetros necesarios para tener valores razonables de velocidades medias en las tuberías de presión y de aspiración. El tipo de turbina saldrá de diagramas típicos de selección de turbinas (que dependen de la velocidad específica o de los valores de carga, caudal y velocidad de giro). El tamaño se puede estimar de datos empíricos de fabricantes.</p>
<b>Gestiones</b>	<p>-Solicitud de concesión de aguas (DINAGUA)</p> <p>- Solicitud de autorización de nueva generación (MIEM)</p> <p>-Solicitud de autorización ambiental (DINAMA)</p>
<b>Aspectos ambientales y sociales</b>	<p>-Estimación del caudal ecológico o reservado</p> <p>-Evaluación de necesidad de escalas de peces (si en el cauce sobre el cual se instalará el emprendimiento hay presencia de salmónidos ).</p> <p>-Inclusión de actividades de ocio, como pesca,</p>

navegación, deportes acuáticos, etc...

-Recreación de zonas con vegetación aluvial.

-Integración visual de las estructuras hidráulicas.

-Evaluación de las condiciones de acceso y conexión a la red, utilizando herramientas satelitales (Google Earth) y mapas de ubicación de líneas de distribución de baja y media tensión.

-Obtención de los permisos necesarios.

-Elaboración de un plan de contingencias

### **Diseño de obras civiles**

-Estudio de la geología de la zona a partir de cartas geológicas.

-Estudio hidrológico de avenidas, en base a información de precipitaciones extremas y la aplicación de modelos matemáticos.

-Factibilidad de las estructuras necesarias.

-Evaluación de posible impacto de transporte de sedimentos sobre la presa o su depósito en el embalse.

### **Venta de la energía generada**

-Obtención del precio del kWh, consultando datos públicos de la empresa de distribución de energía eléctrica o negociando con ella

-Cálculo de ingresos brutos, como el producto de la energía media anual y el precio del kWh.

### **Costos de inversión**

-Estimación de los costos de las obras civiles (ver Cap. 7).

-Estimación de los costos de equipos electromecánicos (ver Cap. 7). A falta de información precisa, se puede suponer un costo de entre U\$S 3000 y U\$S 5000 por kW instalado.

-Estimación de los costos de conexión a la red, para lo cual se podrá consultar con la empresa de distribución de energía eléctrica.



	<ul style="list-style-type: none"><li>-Estimación de los costos socio-ambientales, a través de una internalización de dichos costos.</li><li>-Estimación de costos indirectos; se puede, en primera aproximación, estimar del 25% al 30% de los costos directos de la inversión.</li></ul>
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Estimación de los costos: según experiencias de varios emprendimientos, o según presupuestos específicos preparados para el caso.</li></ul>
<b>Pre-factibilidad económica</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Estimación de las necesidades de financiación.</li><li>-Estimación del período de retorno de la inversión.</li></ul>

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Se lista la bibliografía más consultada a los efectos del presente trabajo. Toda ella se encuentra a la disposición en el IMFIA para ser consultada.

### 9.1 Libros

- J. Fritz: "Small and mini hydropower systems"; McGraw-Hill, USA, ISBN 0-07-022470-6; 1984.
- L. Monition, M. Le Nir, J. Roux: "Micro Hydroelectric Power Stations", Wiley&Sons, ISBN 0471902551, 1984
- Aspectos Metodológicos para la Elaboración de Modelos de Evaluación del Impacto Ambiental por Acciones Antrópicas en el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Nora Pouey, UNR Editora, 1999.
- García Ybarra, P. et al.: "Tecnologías energéticas e impacto ambiental"; Mc. Graw Hill, España, 2001, ISBN 84-481-3360-9
- R.Gorla, A. Khan: "Turbomachinery. Design and theory"; M. Dekker Inc., New York, USA; ISBN 0-8247-0980-2; 2003
- Chow, V.T.; Maidment, D.; Mays L. "Hidrología Aplicada.", McGraw-Hill Interameric, 2004
- Souza, Z. de, Costa Borboni, E. da: "Instrumentação para sistemas energéticos e industriais"; Itajubá, 2006
- Souza, Z. de; Henriques Moreira, Afonso: "Centrais hidrelétricas: implantação e comissionamento"; Interciencia, Rio de Janeiro, 2009
- Rodriguez, L; Sánchez, T.: "Designing and building mini and micro hydropower schemes- A practical guide"; Practical Action Publishing, U.K; 2011
- Niemi, A; Fincher, C.: "Hydropower from small and low-head hydro technologies"; Nova Science Publ., New York, 2011

- Johansson, P. O.; Kriström, B. (ed): "Modern cost-benefit analysis of hydropower conflicts"; Edward Elgar Publ., U.K., 2011
- Munoz-Hernández, G. A. et al.: "Modelling and controlling hydropower plants"; Springer-Verlag, London, 2013

## 9-2 Papers

- Dams and the Environment - Considerations in World Bank Projects. World Bank Technical Paper Number 10, The World Bank, 1989.
- Genta J, F. Charbonnier & A. Rodríguez (1998), "Precipitaciones máximas en el Uruguay", Congreso Nacional de Vialidad.
- Good Dams and Bad Dams: Environmental Criteria for Site Selection of Hydroelectric Projects. Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 16, The World Bank, 2003.
- Ingeniería y Territorio, IT Nº 62, Presas y Embalses, Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España, 2003.
- Gil, M. et al.: "Análisis de inversión en pequeñas centrales hidroeléctricas"; XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica; Brasil, Oct. 2004
- Mohan, V; Varma, R.: "Guidelines for estimating powerhouse size"; HRW, Sept. 2006
- Grandes Represas en América; Asoc. Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA), 2009.
- "Curvas de custo de implantação de pequenos projetos hidrelétricos..."; Canales, Bulhões, Beluco; PCHnoticias, Brasil, Ano 10, Revista Nº 39, 2009)
- GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs. UNESCO/International Hydropower Association (IHA), 2010.
- Del Blanco, M<sup>a</sup> Mercedes et al.: Metodología para la determinación del potencial hidroeléctrico técnico de un recurso hídrico"; XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Costa Rica, Setiembre 2012

- Podio, Franco: “Simplified method for estimating the cost of plant equipment”; HRW, Nov- Dec 2012, pp. 34-42
- IPCC (2012). *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Techn. Support Unit Working Group III.
- ASME Journal of Engineering for Power; colección completa disponible en el IMFIA
- ASME Journal of Turbomachinery; colección completa disponible en el IMFIA
- Colección completa de los trabajos presentados en los Encuentros Latinoamericanos de Turbinas y Máquinas Hidráulicas, realizados desde 1990 a la fecha cada pocos años
- Colección completa de los trabajos presentados en los Congresos Latinoamericanos de la Asoc. Internac. de Investigaciones Hidráulicas (IAHR), desde 1962 cada dos años.

## 9.3 Normas técnicas

- IEC 60041 Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines
- IEC 60193 Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Model acceptance tests
- IEC 60545 Guide for commissioning, operation and maintenance of hydraulic turbines
- IEC 60609 Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Cavitation pitting evaluation - Part 1: Evaluation in reaction turbines, storage pumps and pump-turbines
- IEC: 61116 (1992): “Electromechanical Equipment Guide for Small Hydroelectric Installations”.
- IEC 61366 Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Tendering Documents. Part 2: Guidelines for technical specifications for Francis turbines
- IEC 61366 -4 (1998) Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines - Tendering Documents. Part 4: Guidelines for technical specifications for Kaplan and propeller turbines
- IEC 62006 = UNE-EN 62006 (2011) Máquinas hidráulicas. Ensayos de recepción de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.

- STANDARDS/MANUALS/GUIDELINES FOR SMALL HYDRO DEVELOPMENT Electro-Mechanical Works – Guidelines for Specifications for Procurement of SHP Generating Equipment- Ministry of New and Renewable Energy- Govt. Of India

## 9.4 Manuales, Guías, notas de cursos

- Guías Metodológicas para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental, Grandes presas. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, España, 1995
- Manual de Evaluación de Impacto Ambiental, Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. Larry W. Canter, 1998.
- Manual de la Pequeña Hidráulica - Cómo llevar a buen fin un proyecto de minicentral hidroeléctrica. European Small Hydropower Association (ESHA), 1998.
- Société Hydrotechnique de France: “Les petits aménagements hydro-électriques. Guide pour la conception, la réalisation, la mise en service et l’exploitation, France, 1999.
- “Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala”; BUN-CA, Costa Rica, 2002
- RetScreen International “Small Hydro Project Analysis”; Minister of Nat. Resources, Canada; ISBN 0-662-35671-3; 2003
- Sustainability Guidelines. International Hydropower Association (IHA), 2004.
- C. Penche: “Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant” (ex : “Layman’s Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site”) ; European Small Hydropower Association - ESHA – 2004. En español: Guía para el Desarrollo de una Pequeña Central Hidroeléctrica. European Small Hydropower Association (ESHA), 2006.
- A Guide to UK Mini-Hydro Developments. British Hydropower Association (BHA), 2005.
- Minicentrales Hidroeléctricas, Manuales de Energía Renovables. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Madrid, España, 2006.
- Avallone et al.: “Marks’ Standard Handbook for Mechanical Engineers”, 11ª Ed., Mc. Graw Hill, USA, 2007

- Natural Resources Conservation Service (2010): “Part 630 Hydrology -National Engineering Handbook (NEH)”. U. S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Libro de Consulta para la Evaluación Ambiental, Banco Mundial, Trabajo Técnico N° 140, Volumen II - Lineamientos Sectoriales (Represas y reservorios).
- Libro de Consulta para la Evaluación Ambiental, Banco Mundial, Trabajo Técnico N° 154 Volumen III - Lineamientos para Evaluación Ambiental de los Proyectos Energéticos e Industriales (Proyectos hidroeléctricos).
- Notas del curso de grado “Introducción a la Evaluación y Gestión Ambiental”. Ing. Carlos Amorín, IMFIA - FING - Udelar, 2009.
- Hydropower Sustainability Assessment Protocol. Internat. Hydropower Assoc., IHA, 2010.
- Notas del curso de grado “Elementos de Ingeniería Ambiental”. Dra. Ing. Alice Elizabeth González, IMFIA - FING - Udelar, 2011.
- “2011 Complete Guide to Hydropower”, ISBN 978-1-4220-5363-8 - Recopilación de artículos y referencias en DVD-ROM
- Notas del curso de posgrado “Fundamentos de Generación Hidroeléctrica”. Ing. Daniel Schenzer, IMFIA - FING - Udelar, 2011.

## 9.5 Informes y proyectos

- Dirección de Suelos y Aguas del MGAP (1976); “Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay a escala 1:1.000.000”.
- OLADE, Oct.1985: Diseño, estandarización y Fabricación de Turbinas OLADE de flujo cruzado (Michell-Banki)
- F. Zárate, C. Aguirre, R. Aguirre: "Turbinas Michell-Banki: criterios de diseño, selección y utilización"; Univ. Nal. de la Plata, Argentina, 1987.

- Durán A. (1996), "Clasificación en grupos hidrológicos de los suelos del Uruguay", Publicación de la Facultad de Agronomía. Área de Suelos y Aguas, Cátedra de Edafología.
- Best Practices for Sustainable Development of Micro Hydro Power in Developing Countries - Final Synthesis Report. Department for International Development UK, and The World Bank, 2000.
- Molino J.H.; Califa A (2001). "Agua Disponible de las Tierras del Uruguay", División de Suelos y Aguas, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.
- Udelar- IMFIA; MTOP-Dir. Nac. de Hidrografía: "Balances Hídricos superficiales en cuencas del Uruguay"; Genta, Failache, Alonso, Bellón, Chao, Sordo; dic. 2001
- MTOP-Dir.Nac. de Hidrografía; Udelar-IMFIA: "Directivas de diseño hidrológico-hidráulico de pequeñas represas"; Feb.2003
- "Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas"; Ministerio de Minas e Energia, Brasil; ISBN 978-85-7650-137-4; 2007
- "Estimación de Agua Disponible en los grupos CONEAT"; Molino, J. H.; Octubre 2009.
- "Principales Características Morfológicas y Químicas del Terreno de los Grupos CONEAT"; Molino, J.H.; Unidad de Agroclima y Sistemas de Información, INIA; Mayo, 2010
- "Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) en Uruguay"; Consultoría para el Proyecto "Observatorio de Energías Renovables en Uruguay", MIEM, Ing. Martín Scarone, 2010.
- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (2011) (MVOTMA-DINAGUA)- IMFIA, 2011. "Manual de diseño y construcción de pequeñas presas".
- Sistema de Información Geográfica SIGRAS, Unidad de Agroclima y Sistemas de Información (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).
- Base de datos de suelos de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables. Cartografía CONEAT escala 1:40.000 (y su descripción); RENARE - MGAP.

# INDICE

1. OBJETIVOS
2. GENERALIDADES Y ANTECEDENTES
3. SELECCIÓN DE SITIOS
4. ESTUDIO EN DETALLE DE ALGUNOS SITIOS
5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS OBRAS
6. IMPACTOS
7. COSTOS
8. GUÍA PARA ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD
9. BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

1. RELEVAMIENTO DE ANTECEDENTES
2. CURSOS DE AGUA RELEVADOS (1<sup>er</sup> LISTADO)
3. CURSOS DE AGUA RELEVADOS (2<sup>o</sup> LISTADO)
4. SITIOS IDENTIFICADOS (3<sup>er</sup> LISTADO)
5. COMPARACION CON RESULTADOS DE IMFIA/1993
6. SITIOS IDENTIFICADOS (4<sup>o</sup> LISTADO)
7. ESTACIONES DE MEDICIÓN DE DINAGUA
8. CAUDALES ESPECÍFICOS EN CUENCAS (DINAGUA)
9. FACTOR DE CAPACIDAD
10. PRE-DISEÑO ARAPEY-80
11. PRE-DISEÑO ARAPEY 130
12. PRE-DISEÑO YERBAL 90
13. PRE-DISEÑO ARERUNGUÁ 90
14. PRE-DISEÑO YI 85