

SEGUIMIENTO ECOLÓGICO EN LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LAS CENTRALES DE ALMARAZ Y TRILLO

En el presente artículo se desarrolla una visión general de los programas de seguimiento ecológico del medio acuático circundante a las centrales nucleares de Almaraz y de Trillo, llevados a cabo sin interrupción, desde antes del inicio de la explotación, incidiéndose especialmente en aquellas cuestiones derivadas del mismo que presentan importante interés en la operación de las plantas.

LA IMPORTANCIA ECOLÓGICA DEL MEDIO ACUÁTICO EN LAS CENTRALES NUCLEARES

Las centrales nucleares situadas en el interior necesitan utilizar las aguas continentales para usos de refrigeración y reposición a circuitos. El consumo principal es el orientado hacia el primero de los indicados, con caudales de captación relevantes, que son muy variables en función del tipo de sistema diseñado. Tanto la refrigeración, como los efluentes con carga fisicoquímica, de distintas procedencias, tienen la potencialidad de impactar en la ecología del medio acuático en el que se producen, junto con las propias estructuras de captación, azudes, presas y embalses. Por esta razón, es de gran interés el desarrollar programas de seguimiento de largo plazo, que permitan identificar la materialización de esos impactos potenciales y en su caso, estudiar eventuales medidas para evitar, corregir o compensar las alteraciones que pudieran tener lugar, o por el contrario confirmar la ausencia de las mismas.

En mayor o menor grado, las centrales en explotación llevan a cabo estudios de la naturaleza mencionada, iniciados años antes del comienzo de la operación, que posibilitan un conocimiento integrado de la evolución en el tiempo de la ecología de

las aguas receptoras de sus efluentes. Estos estudios se personalizan a las características de éstas y de los potenciales impactos que pueda causar la instalación, en función de su diseño particular.

Por otro lado, en aplicación de la Directiva Marco del Agua, todas las masas continentales están actualmente sujetas a un proceso de evaluación de calidad, análisis de presiones y objetivos de mejora, plasmados en los correspondientes planes hidrológicos. Los estudios mencionados, debido a su exhaustividad y extensión temporal pueden ser de utilidad relevante, para conocer, por un lado, el papel que juegan las correspondientes centrales, a nivel local, en la evolución de una determinada masa de agua y aportar así mismo el conocimiento intensivo, que, a dicho nivel, se tiene de ella, como consecuencia de la amplitud y duración del seguimiento realizado.

En la línea de lo indicado, las centrales nucleares de Almaraz y Trillo, llevan desarrollando, desde antes de la puesta en marcha, trabajos de seguimiento ecológico del medio acuático circundante. Éstos se remontan al menos al entorno del inicio de los años 80 del siglo pasado, constituyendo un banco de información ecológica



FRANCISCO YAGÜE ALVAREZ

Jefe de Medio Ambiente
CENTRALES NUCLEARES
ALMARAZ-TRILLO

Licenciado en Ciencias por la Universidad Autónoma de Madrid, en la especialidad de Química y máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental por la Escuela de Organización Industrial.

ECOLOGICAL MONITORING IN THE AQUATIC ECOSYSTEMS OF THE ALMARAZ AND TRILLO NUCLEAR POWER PLANTS

This paper develops an overview of the ecological monitoring programs of the surrounding aquatic environment to the Nuclear Power Plants of Almaraz and Trillo, carried out without interruption, before the beginning of the exploitation, focusing especially on issues arising from which have an important interest in the operation of the plants.

muy detallada, de series hiperanuales que abarcan una duración que se va acercando al medio siglo de antigüedad.

En cada una de ambas centrales, los seguimientos realizados tienen características diferenciales, por las razones que hemos apuntado. El presente artículo no pretende ser una descripción detallada, ni de su contenido, ni de sus resultados, mucho más amplios que lo reflejado a continuación. Se ha pretendido solamente incidir en algunos aspectos particulares, que ilustran la relevancia y el interés que presentan para la operación de las plantas.

EL MEDIO ACUÁTICO CIRCUNDANTE A LA CENTRAL NUCLEAR DE ALMARAZ

La central nuclear de Almaraz consta de dos reactores PWR de diseño Westinghouse y aproximadamente 3.000 MWt de potencia térmica nominal cada uno. Las potencias eléctricas brutas nominales de cada unidad se sitúan alrededor de los 1.050 MWe.

La central se ubica en la comarca de campo Arañuelo, en la provincia de Cáceres, en las proximidades del eje central del Tajo (embalse de Torrejón) y junto al embalse de Arrocampo, construido *ad hoc* para su refrigeración. La Figura 1 muestra la disposición de la instalación en relación a ambos.

La refrigeración principal, orientada a la evacuación de la carga térmica diferencial entre la potencia térmica nuclear y la producción eléctrica, del orden de 4.000 MWt, se realiza mediante el embalse de

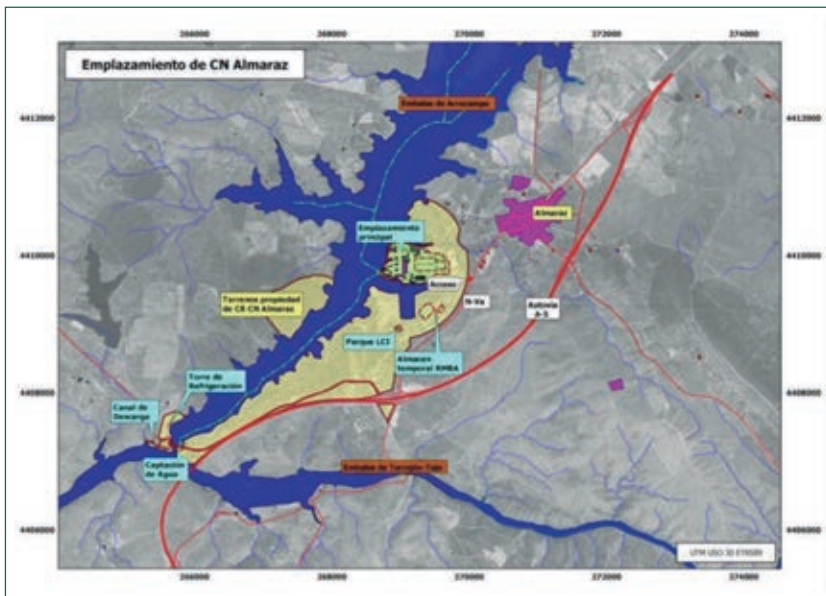


Figura 1. Emplazamiento de C.N. Almaraz.

Arrocampo, construido expreso con dicha finalidad. Su superficie es de unas 770 hectáreas y una capacidad de 35,5 hm³, operando habitualmente al máximo de su nivel. En el vigente Plan Hidrológico del Tajo, se cataloga como masa de agua artificial.

El embalse de Arrocampo mantiene una circulación forzada, provocada por las seis bombas de refrigeración principal de la central, del orden unos 90 m³/s, todo a lo largo de su recorrido, y facilitada adicionalmente por una pantalla de separación térmica, de hormigón, situada dentro del embalse, impide la mezcla del agua fría y caliente, a la vez que obliga a ésta a recorrer su longitud, en un circuito de aproximadamente 25 km.

En ese recorrido, tiene lugar el enfriamiento del agua, que pierde calor por dos mecanismos: disipación con la atmósfera y evaporación. Adicionalmente, este enfriamiento debe completarse, aportando agua fría desde el Torrejón-Tajo y descargando hacia el mismo el excedente, una vez ha completado el anterior circuito. Una parte del caudal descargado se hace pasar previamente a su incorporación al Torrejón-Tajo, durante los meses calurosos del año, por una torre de enfriamiento a fin de limitar la temperatura a 30 °C como máximo.

El embalse de Torrejón-Tajo ocupa unas 1.077 ha de superficie, siendo su capacidad de 166 hm³. Se inicia aguas abajo de la presa de Valdecañas, teniendo una longitud de unos

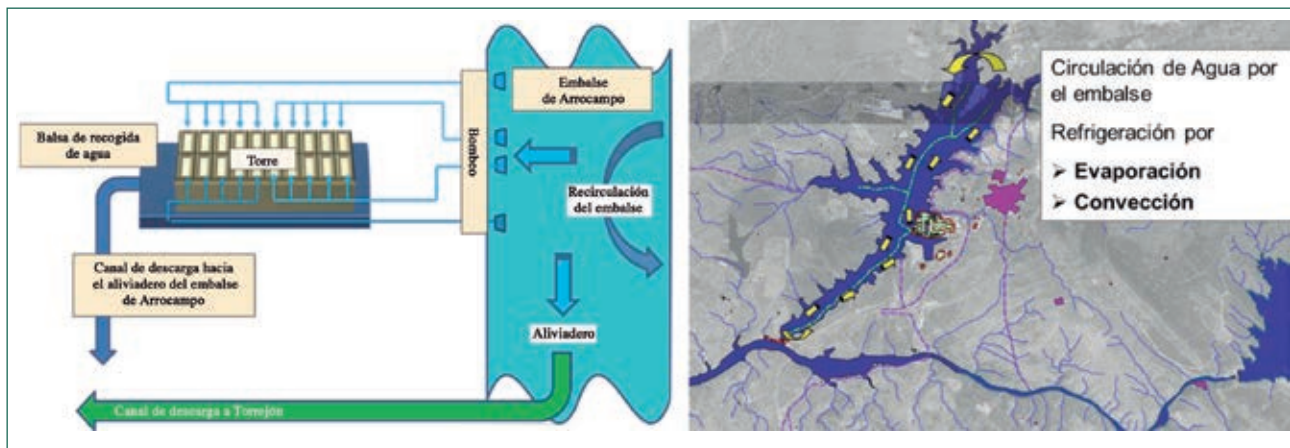


Figura 2. A la izquierda, esquema de la circulación del agua en Arrocampo (descarga de agua) y, a la derecha, esquema de la circulación del agua en Arrocampo (general).



Captación / Vertido	Bombeo Disponible	Caudal habitual	Volumen anual
Recirculación Arrocampo	6 bombas, 14,7 m ³ /s unidad	88 m ³ /s	2.700 hm ³
Intercambio Torrejón-Arrocampo	5 bombas 6 m ³ /s unidad	6 – 24 m ³ /s	600 hm ³
Circulación de la descarga por torre de enfriamiento	4 bombas 4,7 m ³ /s unidad	0 – 19 m ³ /s	250 hm ³

Tabla 1.

40 km. La catalogación conforme al Plan Hidrológico del Tajo es de masa de agua muy modificada.

La circulación de agua en el embalse de Torrejón-Tajo sigue un régimen irregular que depende esencialmente de la intensidad del turbinado en la presa de Valdecañas, el cual a su vez viene condicionado por la hidráulica.

Los esquemas de la Figura 2 plasman de forma gráfica lo indicado.

En la Tabla 1, se resume el balance aproximado de agua.

SEGUIMIENTO ECOLÓGICO

Dada la interacción existente entre la operación de la central de Almaraz y ambos embalses, Arrocampo y Torrejón-Tajo, y sobre todo el primero, al actuar como embalse de refrigeración, desde antes del inicio de la explotación, se lleva a cabo

un intenso programa de seguimiento limnológico e ictiológico, con la finalidad de evitar efectos ecológicos indeseados. Este programa ha conducido a un conocimiento muy profundo del comportamiento ecológico en relación a la operación de la planta.

En el embalse de Arrocampo se estima la existencia de unos 500.000 ejemplares de peces, de las especies reflejadas en la Tabla 2 (referencia campañas de muestreo de 2015).

Se trata de especies introducidas en todos los casos, con mayor o menor antigüedad. El pez sol es el más abundante en cuanto a ejemplares y la carpa común en cuanto a biomasa, por su mayor tamaño.

En las campañas de muestreo se sigue estacionalmente la evolución de las especies en orillas y en aguas libres a lo largo del año.

Esta población tan abundante de ictiofauna, se ha desarrollado favorecida por las condiciones creadas por la operación de la central, en cuanto a temperatura, y circulación del agua, así como por las propias características del embalse, de poca profundidad, salvo en la zona final y los altos contenidos en nutrientes, presentes en esa zona del Tajo. Se ha propiciado un sistema muy oxigenado, con una zona fótica que alcanza en la mayor parte del embalse al total de la columna de agua y carente de *hipolimnion*, salvo en los últimos kilómetros. El agua se encuentra habitualmente hiperoxigenada, debido a la fuerte actividad biológica de la flora planctónica.

Esta flora está esencialmente constituida por fitoplancton dominado por cianobacterias. Durante el año se observan cambios en la composición de las cianobacterias presentes en el embalse de Arrocampo, en función de su mayor adaptabilidad a las condiciones de temperatura reinante. En el periodo de verano la especie dominante es *Microcystis*.

Durante las transiciones entre las distintas especies de cianobacterias, se producen disminuciones en la actividad fotosintética global del fitoplancton, en los transitorios en que unas especies están desapareciendo y las subsiguientes todavía no se han desarrollado plenamente. El transitorio que tiene lugar hacia el final de la primavera-inicio del verano, es el más relevante desde este punto de vista. Este transitorio finaliza con el asentamiento de la especie *Microcystis*, adaptada a las condiciones de mayor temperatura del agua, y puede constar a su vez de varias etapas. Durante el mismo debe de seguirse con especial atención la evolución de la concentración de oxígeno en el agua y la temperatura del mismo, para asegurar una transición lo suficientemente suave que evite la aparición de situaciones de bajada de oxígeno, perjudiciales para la abundante ictiofauna existente.

Familia	Especies	Nombre común
Cyprinidae	Cyprinus carpio	Carpa común
	Cyprinus carpio vr specularis	Carpa de espejo
	Carassius auratus	Carpín
Centrarchidae	Lepomis gibbosus	Pez sol
	Micropterus salmoides	Black bass
Ictaluridae	Ameiurus melas	Pez gato
Siluridae	Silurus glanis	Siluro
Poeciliidae	Gambusia holbrooki	Gambusia

Tabla 2.

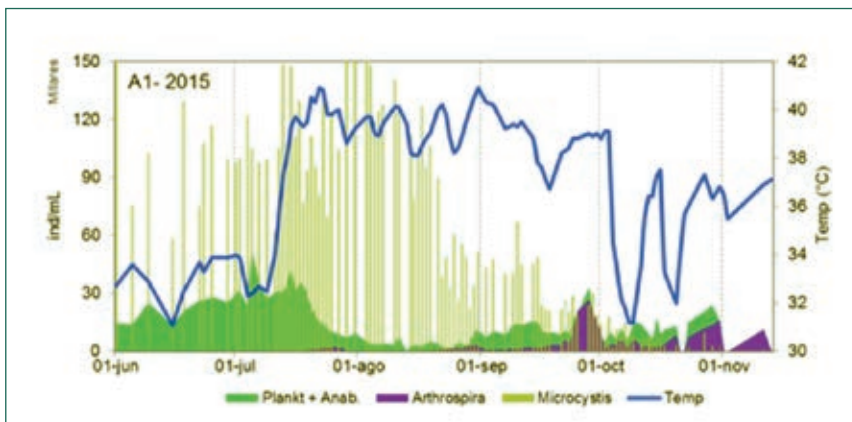


Figura 3. Transición de fitoplancton.



La Figura 3 refleja la evolución habida a principios del verano de 2015, en que la transición se vio intensificada por el arranque de una de las unidades tras recarga.

Puede verse como a primeros de julio las especies *Planktothrix* y *Anabaena* comienzan a disminuir, siguiendo un perfil parejo al aumento de temperatura (referencia zona caliente, inmediatamente aguas abajo de los condensadores), a la vez

que se incrementa la densidad de la especie *Microcystis*. Así mismo, se observa la desaparición de esta especie hacia finales de octubre y la aparición de *Arthrospira*.

Se debe actuar en tales casos, de ser requerido, sobre los distintos elementos mediante los cuales es posible incidir en la temperatura del agua y en su oxigenación. Se potencia en caso necesario, entre otras actuaciones, el aporte de agua fría des-

de Torrejón-Tajo y la operación de la torre de enfriamiento de la descarga, por el efecto de bajada de temperatura y oxigenación adicional que introduce en la zona de captación. Así mismo, en la zona fría del embalse se encuentran situados aireadores que en caso necesario añaden un suplemento adicional de oxígeno al agua.

Todas estas actuaciones requieren un seguimiento muy intenso en campo, con una presencia de especialistas en la materia prácticamente diaria, en el propio embalse y en el laboratorio de limnología instalado dentro del emplazamiento de la central.

El mapa de la Figura 4 recoge las estaciones de muestreo habitualmente utilizadas en dicho seguimiento, situadas en el embalse de Arrocampo y en la zona próxima del Torrejón-Tajo, de mayor incidencia en el comportamiento del primero.

EL MEDIO ACUÁTICO CIRCUNDANTE A LA CENTRAL NUCLEAR DE TRILLO

La central nuclear de Trillo dispone de un reactor PWR de diseño Siemens-KWU, de aproximadamente 3.000 MWt de potencia térmica nominal. La potencia eléctrica bruta nominal es de 1066 MWe.

Se incluye en la Figura 5 un plano con la ubicación de la instalación, en la provincia de Guadalajara, en los términos municipales de Trillo y Cifuentes.

En lo que hace referencia al medio hídrico, la central de Trillo se sitúa en la zona de cabecera del Tajo, tomando agua de este río para la explotación de la planta.

La central toma agua de un azud, desde la margen derecha del Tajo, en cota situada unos 100 metros por debajo del emplazamiento, debido a la orografía del terreno. El azud dispone de una escala de peces.

Se utilizan en el sistema de refrigeración principal aproximadamente 0,8 – 1,0 m³/s, en función de la época del año. Este caudal se consume en la evaporación en las torres de enfriamiento (aproximadamente 0,6 m³/s) y en la purga del sistema, necesaria para mantener acotada la salinidad del agua recirculante.

La masa de agua correspondiente a la zona del Tajo, de aprovechamiento en la central, se clasifica actualmente, de acuerdo al Plan Hidrológico con un estado final bueno o mejor y diversas tipificaciones de protección

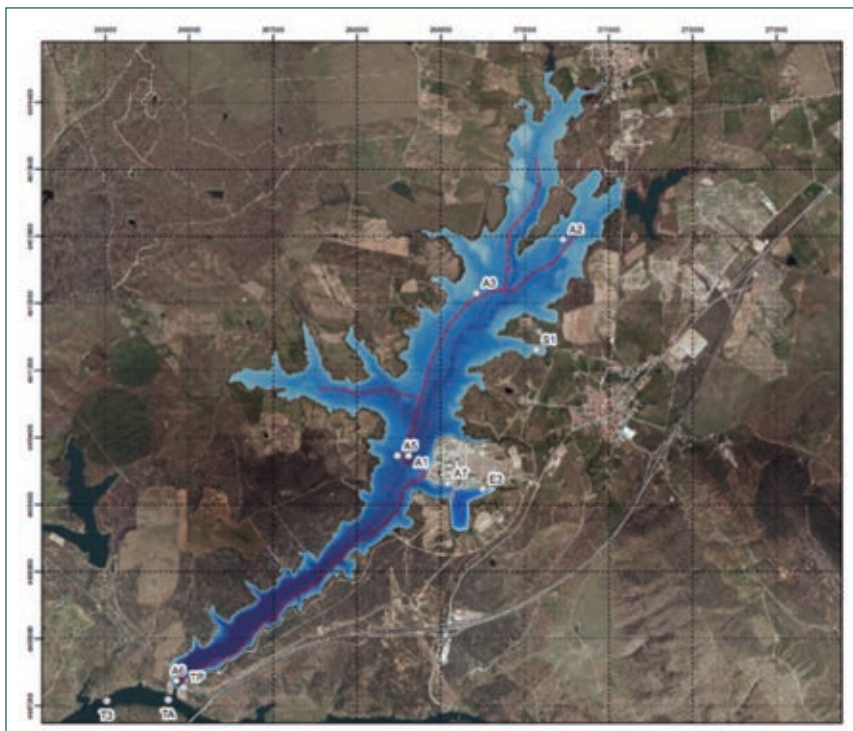


Figura 4. Estaciones de mestreo.

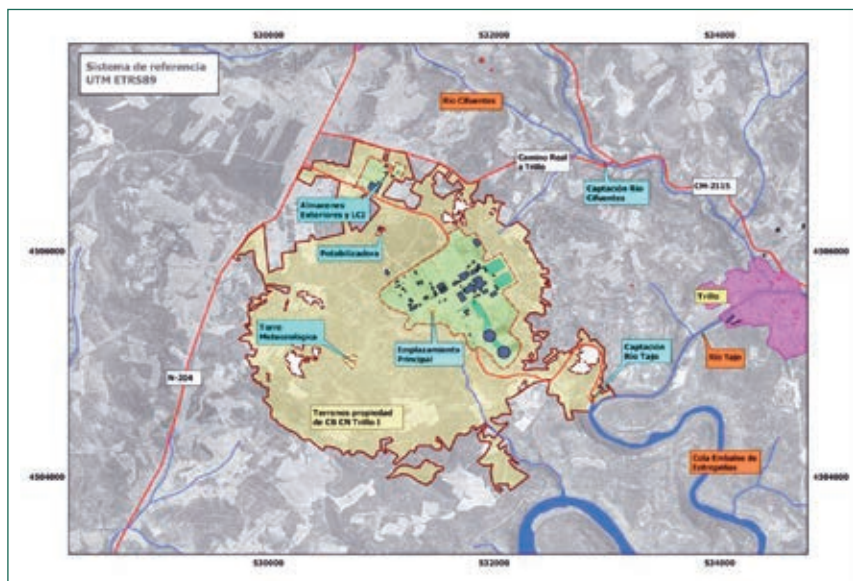


Figura 5. Ubicación del emplazamiento de C.N. Trillo.



asignadas. Constituye un ecosistema de aguas superficiales corrientes poco profundas y relativamente rápidas, no existiendo regulación de caudal aguas arriba, por la ausencia de presas para dicho fin. Debido a ello y al

desigual régimen de lluvias, el caudal del río sufre variaciones considerables de unas épocas del año a otras.

Estas circunstancias requieren por parte de la explotación de la central un cuidadoso seguimiento de las ca-

racterísticas del vertido, a la vez que se encuentra implantado, desde antes del inicio de la operación de la misma, un seguimiento ecológico intenso, orientado a confirmar la ausencia de afecciones al medio hídrico y que confirma las características de buena calidad del agua indicadas (Figura 6).

PROGRAMA DE SEGUIMIENTO ECOLÓGICO

Entre otros parámetros, el programa de seguimiento abarca controles de la calidad del agua y de la biodiversidad y estado de la fauna piscícola.

Para el muestreo de las aguas superficiales, se han establecido históricamente distintas estaciones. Se recogen a continuación los puntos utilizados en el seguimiento fisicoquímico:

- Aguas arriba del vertido de la central.
- Zona de mezcla del vertido (aproximadamente 100 m aguas debajo de éste).
- Aguas abajo del vertido (aproximadamente 2 km aguas abajo).
- Embalse de Entrepeñas.

El seguimiento fisicoquímico indica un agua de características muy estables en el tiempo, con las siguientes características:

- Grado de mineralización medio (conductividades en torno a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), con especies mayoritarias: sulfato, cloruro, sodio, calcio y magnesio.
- Alcalinidad en torno a 200 ppm de carbonato cálcico, lo que otorga al agua un valor de pH en torno a 8,2 unidades.
- Sólidos en suspensión bajos, salvo en situaciones de avenida, en que se incrementan sensiblemente.
- Demanda bioquímica de oxígeno inferior al límite de detección (0,1 mg O_2/l), lo que indica ausencia de materia orgánica biodegradable.
- Valores altos de oxígeno, aunque con variaciones estaciones, que permiten catalogar las aguas como oligosaprobias no contaminadas.
- Valores muy bajos de fósforo y nitrógeno, que permiten la catalogación como aguas oligotrófico-mesotróficas.

Respecto a las comunidades piscícolas, el muestreo tiene lugar aguas arriba y aguas abajo de la central, aproximadamente en los puntos primero y tercero de los indicados anteriormente. Entre ambas estaciones no se observan en general diferencias significativas en cuanto



Figura 6. Vista del río Tajo en Trillo con las torres de la central al fondo.

Proporción de ejemplares detectados		
Especie	Estación Aguas Arriba	Estación Aguas Abajo
Gobio lozanoi	55 %	62,4 %
Tinca tinca	0,1 %	0,3 %
Alburnus alburnus	2,2 %	7,3 %
Esox Lucius	0,3 %	0,1 %
Salmo trutta	0,7 %	1,2 %
Luciobarbus bocagei	15 %	19,9 %
Luciobarbus comicio	1 %	2,8 %
Parachondrostoma miegii	25,8 %	5,9 %
Cyprinus carpio	No detectado	0,1 %

Tabla 3.



Figura 7. Vista de la escala de peces del azud de C.N. Trillo (azud de la ermita).

Estado de los especímenes investigados (aguas arriba de la Central)			
Especie	Longitud media (cm) / desv.	Peso medio (g) / desv.	Factor de condición (g/cm³ * 100) / desv
Gobio lozanoi	6,72 / 2,4	5,17 / 5,03	1,19 / 0,16
Alburnus alburnus	5,74 / 0,5	1,24 / 0,36	0,64 / 0,06
Luciobarbus bocagei	5,51 / 3,45	8,5 / 58,58	1,40 / 0,19
Parachondrostoma miegii	7,39 / 3,45	7,57 / 10,96	1,00 / 0,14

Estado de los especímenes investigados (aguas debajo de la Central)			
Especie	Longitud media (cm) / desv.	Peso medio (g) / desv.	Factor de condición (g/cm³ * 100) / desv
Gobio lozanoi	8,15 / 2,00	7,91 / 5,01	1,19 / 0,16
Alburnus alburnus	6,29 / 2,38	3,55 / 6,83	0,78 / 0,21
Luciobarbus bocagei	8,18 / 6,89	31,6 / 98,91	1,31 / 0,16
Luciobarbus comicio	11,90 / 8,03	54,93 / 94,51	1,30 / 0,15
Parachondrostoma miegii	6,65 / 2,24	4,28 / 6,45	0,90 / 0,16

Tablas 4 y 5.

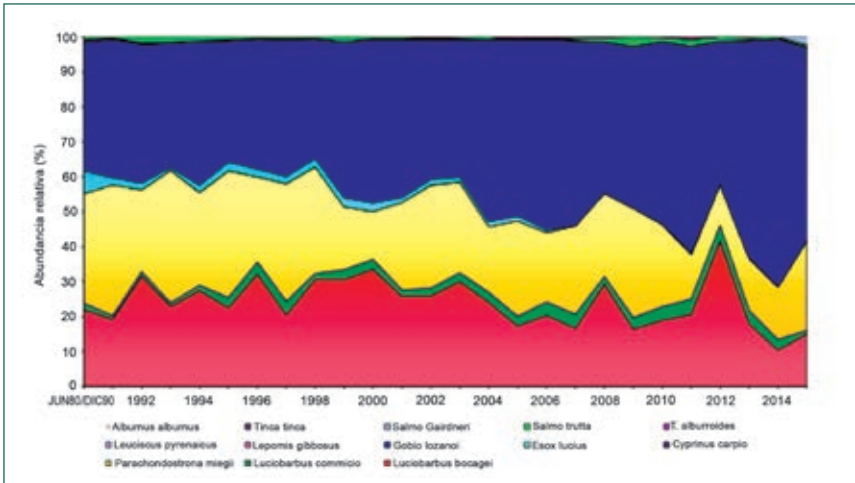


Figura 8. Evolución interanual de especies piscícolas aguas arriba de la central.

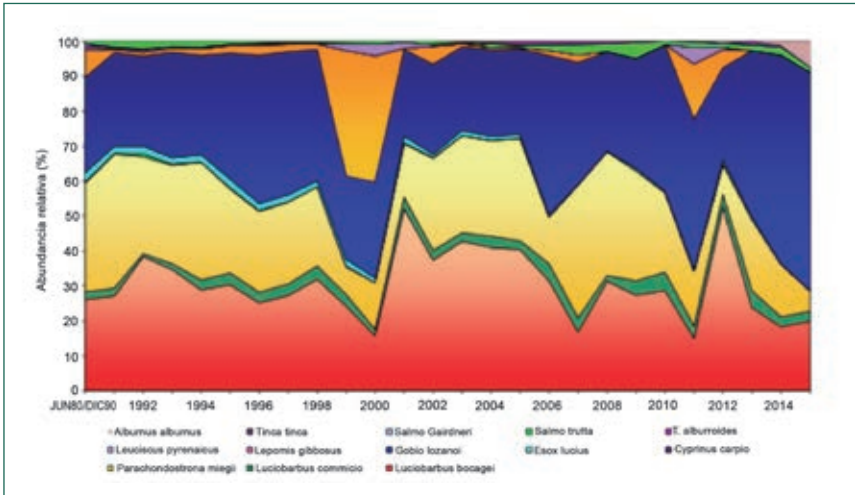


Figura 9. Evolución interanual de especies piscícolas aguas abajo de la central.

al número de especies (referencia seguimiento de 2015), según refleja la Tabla 3.

Como puede observarse, la especie mayoritaria es el *Gobio lozanoi*, especie propia de aguas claras y no contaminadas, lo que constituye un indicativo de la buena calidad de la misma en la zona. Se trata de una especie exótica en Castilla-La Mancha, aunque históricamente implantada y procedente de la cuenca del Ebro.

Otras especies mayoritarias, autóctonas, son el *Luciobartus bocagei* y el *Parachondrostoma miegii*, endémicas de la península ibérica. *Alburnus alburnus* es una especie exótica de carácter invasor, introducida en los años 90. Por otro lado, hay que hacer mención a la presencia de la trucha común (*Salmo trutta*), declarada de interés preferente en Castilla-La Mancha. Los hábitats de esta especie tienen consideración de protección especial en la comunidad autónoma, por el carácter restringido de la distribución de la misma.

Prácticamente todas las especies detectadas aguas arriba de la central, se encuentran también aguas abajo, lo que indica la ausencia de efecto barrera provocado por el azud de la misma (Figura 7).

Respecto al estado de los especímenes investigados, las Tablas 4 y 5 recogen los parámetros más relevantes, relativos a la campaña de 2015 (sólo se reflejan datos cuando el número de especímenes es de al menos 20).

El factor de condición (relación entre peso y longitud furcal) obtenido es similar para cada especie en las dos estaciones de muestreo. La longitud furcal es característica de cada especie, siendo superior a la unidad en aquellas de morfología fusiforme. Los valores obtenidos indican una buena adecuación funcional de los peces a las condiciones ecológicas.

Para las especies detectadas en ambos puntos, se observa cierta tendencia a individuos de mayor tamaño aguas abajo, lo que indicaría una preferencia de las aguas más profundas por los de mayor edad. Los resultados son también consistentes con la migración prereproductiva, que favorece la presencia de individuos más jóvenes en los tramos más altos del río.

Respecto a la evolución interanual de las distintas especies, no se observan alteraciones significativas, tal como recogen las Figuras 8 y 9.■