



EL MEJILLÓN CEBRA THE ZEBRA MUSSEL



ALBERT BERTRAN GRAU

Técnico en Medio Ambiente de la Central Nuclear de Ascó.
Ingeniero técnico industrial eléctrico.

*Technical Environment at the Ascó NPP.
Electrical Industrial Engineer.*

JOSÉ LUIS ESPARZA MARTÍN

Jefe de Medio Ambiente en la Asociación Nuclear Ascó-Vandellós.
Doctor en Medicina y Máster en Medio Ambiente.

*Head of the Environment in Nuclear Asco-Vandellós Association.
Medical Doctor and Master in Environment.*

LAURA MUNTÉ CLUA

Técnico en Medio Ambiente de la Central Nuclear de Ascó.
Licenciada en Biología y postgrado en Dietética y Nutrición por la Universidad Autónoma de Barcelona.
Técnico Superior en Prevención de Riesgos Laborales.

*Technical Environment at the Ascó NPP.
Technician in Occupational Health and Safety.
Degree in Biology Degree in Dietetics and Nutrition at the Autonomous University of Barcelona.*

INTRODUCCIÓN

La presencia de especies alóctonas en un hábitat ajeno, puede tener, habitualmente, consecuencias que afecten negativamente a la fauna y la flora autóctonas. Las especies invasoras difícilmente encuentran enemigos naturales en los ecosistemas que invaden, adaptándose de esta forma al nuevo hábitat. Hace miles de años que la introducción de nuevas especies ha sido un fenómeno habitual en Europa. Este hecho se produce como respuesta al cambio climático y al gran número de actividades humanas bien sea el comercio, la migración, la agricultura y la introducción de especies domésticas y silvestres. Es evidente que muchas de estas actividades influyen en la distribución de las especies en Europa y en todo el mundo. En algunos casos las especies introducidas desplazan a las autóctonas y, en ausencia de predadores naturales, pueden llegar a dominar y cambiar la estructura, la función y el equilibrio de un ecosistema. No obstante gran parte de las especies introducidas suelen tener poca influencia sobre el ecosistema o los aspectos socioeconómicos. De hecho en muchos casos tienen efectos beneficiosos aunque algunas especies tienen un impacto negativo y hasta pueden provocar situaciones devastadoras.

El mejillón Cebra (MC), *Dreissena polymorpha*, es una de esas especies cuya introducción en un nuevo ecosistema supone un riesgo grave de desastre ecológico y socioeconómico a corto y medio plazo. Así lo pone de manifiesto la extensa literatura científica que se ocupa del problema de la introducción, expansión y efectos negativos del MC (Ackerman et al, 1994). Este riesgo debe ser contrarrestado mediante medidas preventivas para evitar, por un lado la introducción en zonas no afectadas y por otro, su proliferación donde ya está presente. Pero, a pesar de estas medidas, se puede pasar rápidamente de estar en situación de riesgo ambiental a observar y padecer directamente los efectos perjudiciales como consecuencia de su desarrollo. La gran explosión demográfica que experimenta el MC, hace prácticamente imparable la progresión, colonización de los distintos substratos naturales y artificiales que se encuentran en contacto con el medio acuático (Hunter & Bailey, 1992).

Durante más de cien años los europeos han ignorado una serie de hechos atribuibles a la presencia del MC. Los efectos que se han podido observar han sido manifiestos: taponamiento de cañerías y tubos; incremento del potencial corrosivo del acero y del hierro; contaminación del suministro de agua potable; formación de incrustaciones en los cascos de los barcos; desplazamiento potencial de otros bivalvos; alteración y destrucción del hábitat piscícola; cambios limnológicos de los lagos y ríos...

El objetivo de este artículo es, por un lado, dar a conocer el MC, su comportamiento, los efectos sobre el ecosistema y los inconvenientes que provoca en la industria, concretamente en los sistemas de refrigeración de la central nuclear de Ascó (CNA) y por otro lado, hacer un repaso de las estrategias y tecnologías para el control del mejillón así como presentar la solución adoptada en la central para combatir esta plaga.

EL MEJILLÓN CEBRA

El mejillón Cebra es un molusco bivalvo de agua dulce y originario de los mares Negro y Caspio.

Morfología. Destacan tres partes bien diferenciadas; la concha, los sifones y el biso. La concha, de formas muy variadas, es de coloración oscura y tiene un patrón de bandas concéntricas de color marrón y crema. Los sifones; uno dorsal y otro ventral. El primero posee gran cantidad de tentáculos mientras que el segundo, de forma cónica es más pequeño que el anterior. El agua entra y sale por estas oberturas mediante la acción de los cilios que cubren la superficie de la cavidad. El biso es un elemento glandular de gran importancia. Se encuentra en el pie y secreta proteínas fibrilares adhesivas en forma de filamentos que son las responsables de adherirse a las superficies duras gracias a la secreción de un moco insoluble en agua que fija el mejillón al sustrato. Estos filamentos le confieren gran eficacia en la fijación al sustrato evitando su desprendimiento por las corrientes de agua. Para que se fije el MC, primeramente debe de haber un sustrato por el que, una vez localizado se desplace por su superficie y segregue el moco que facilitará la unión. Si el MC necesita despegarse del sustrato por algún motivo, abandona la masa de filamentos (Mackie et al, 1996).

Reproducción. El MC comienza a ser sexualmente maduro en el primer año de vida, cuando la concha tiene un diámetro de 8-10 mm. Los

INTRODUCTION

The presence of non-native species in a foreign habitat can often negatively affect the native flora and fauna. The invading species do not often have natural enemies in the ecosystems they invade, leading them to adapt easily to their new habitat. New species have been introduced regularly in Europe for thousands of years as a result of climate change and a wide range of human activities such as trade, migration, agriculture and the introduction of both domestic and wild species. It is evident that many of these activities influence the distribution of the species in Europe and throughout the world. In some cases the species introduced displace the native species and, with no natural predators, can end up dominating and changing the structure, function and the equilibrium of the ecosystem. Nevertheless, many of the species introduced have little influence on the ecosystem or the socioeconomic aspects. In many cases they are beneficial although some species have negative effects and can even cause devastating situations.

The Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*, is one such species that when introduced into a new ecosystem can pose a serious threat of ecological and socio-economic disaster in the short to medium term. This is supported by the extensive scientific literature on the problem of the introduction, spread and negative effects of the ZM (Ackerman et al, 1994). The risk must be counteracted with preventive measures to avoid the ZM being introduced to non-affected areas and proliferating in areas where it is already present. However, in spite of the measures taken, it is easy for an environmental threat to develop into a situation of actual damage as a result of its development. The enormous demographic explosion of the ZM makes it almost impossible to stop its progression and colonization of the different natural and artificial substrates that are in contact with water (Hunter & Bailey, 1992).

For more than one hundred years Europeans have been unaware of a series of facts that can be attributed to the presence of the Zebra Mussel. The effects that have been observed are: the blocking of pipes and tubes; an increase in potential steel and iron corrosion; the contamination of drinking water supplies; incrustation on boat hulls; the possible displacement of other bivalve species; changes in and destruction of the fishing habitat; and limnological changes in lakes and rivers.

The aim of this article is, on the one hand, to provide information about the ZM, its behavior, its effects on the ecosystem and the problems it poses for industry (especially in the CNA cooling systems) and, on the other hand, to review the strategies and technologies needed to control the mussel and to present the solution adopted by the power plant to combat the plague.

THE ZEBRA MUSSEL

The Zebra Mussel is a freshwater bivalve mollusk originally native to the Black and Caspian Seas.

Morphology. Three main parts can be identified, the shell, the siphons and byssus. The shell comes in very different shapes and is dark in color with a concentric pattern of brown and cream stripes. There is one dorsal and one ventral siphon. The first of these has many tentacles whilst the latter is smaller and conical in shape. The water is drawn in and pumped out through these openings by the cilia which cover the surface of the cavity. The byssus-gland is of great importance. Located on the foot, it secretes adhesive protein threads in the shape of filaments which it uses to attach itself to hard surfaces thanks to the secretion of a mucous



gametos, se liberan cuando la temperatura del agua alcanza los 12°C, normalmente durante el otoño. La máxima actividad se observa con temperaturas comprendidas entre los 15 y 17°C en los meses de mayo o principios de junio (Pathy, 1994). Los huevos tienen un diámetro de 40-50 µm. Las hembras pueden poner hasta dos millones de huevos en un periodo de dos años y las fecundaciones varían de 30.000 a 1.600.000. La fecundación tiene lugar en el agua. Las larvas que han nacido en la primavera y se fijan a las superficies al principio del verano, pueden alcanzar los 8-9 mm siendo MC sexualmente maduros en el otoño y contribuir al incremento en la presencia de larvas. Los huevos, a los pocos días se convierten en larvas veliger con autonomía para nadar gracias a una corona de cilios vibrátiles. Las larvas en sus inicios tienen un tamaño de 40-70 micras de diámetro y cuando se fijan mediante los cilios alcanzan los 180-290 µm. La mayoría de larvas muere por no estar fijada. Se estima que tan sólo del 1 al 3% de las larvas llegan a adultas (Miller, 1992).

Fisiología. A pesar que el MC tiene bien definidas sus preferencias ambientales, es capaz de soportar gran variedad de condiciones. Puede tolerar largos periodos de ayuno, desecación, temperaturas extremas y variabilidad en la concentración del oxígeno disuelto. Los mejillones son capaces de adaptarse a regímenes de temperatura variable, alta variabilidad del pH así como del contenido de calcio y bajo contenido en nutrientes. Soportan cierto grado de polución, pero cuando se presenta de forma aguda, es capaz de cerrar sus valvas por periodos que alcanzan las dos semanas antes de abrirlas de nuevo.

Los límites de temperatura que necesitan para su desarrollo varían entre las diferentes poblaciones de Cebra. Análisis preliminares de poblaciones en el lago St Clair en USA sugieren valores mínimos de temperatura para los diferentes estadios de crecimiento. Así, 10°C para la gametogénesis; 8-10°C para el desarrollo y 16-16°C para las larvas veligers. Estos resultados son similares a los descritos por otros autores (Waltz, 1978; Stanczykowska, 1977).

Estudios recientes citan que el Cebra necesita para el crecimiento de la concha, concentraciones de calcio 7-8 mg/l y de 12-14 mg/l para asegurar la reproducción.

Las variables más importantes para el desarrollo del MC se resumen en tres: pH, temperatura y concentración de calcio. Otras de menor importancia son la variación de los nutrientes, el fósforo total, la turbidez y el oxígeno disuelto.

that is insoluble in water and attaches the mussel to the substrate. These filaments are highly efficient at attaching it to the substrate and preventing it being dislodged by the currents in the water. For the ZM to become attached, it must first find a substrate which it can move over to secrete the mucous it requires to attach itself. If the ZM needs to unstick itself, from the substrate for any reason, it abandons its mass of filaments (Mackie et al, 1996).

Reproduction. The ZM becomes sexually mature in its first year of life, when the shell diameter is around 8-10 mm. The gametes, or sperm cells, are released when the temperature of the water reaches 12°C, normally during the fall. Maximum activity is observed at temperatures between 15 and 17°C in May or the beginning of June (Pathy, 1994). The eggs have a diameter of 40-50 µm. Females can lay up to two million eggs over a two-year period and fertilization varies between 30,000 and 1,600,000. Fertilization takes place in the water, and the larvae that are born in spring and attach themselves to the surfaces at the beginning of the summer can reach 8-9 mm and be ZM sexually mature in the fall, thereby contributing to the increase in the presence of larvae. Within only a few days the eggs become veliger larvae which are free-swimming thanks to a crown of vibratile cilia. To start with the larvae have a diameter of 40-70 microns, but when they attach themselves using the cilia, they reach 180-290 µm in size. The majority of the larvae die as it does not become attached. It is estimated that only 1 to 3% of the larvae reach adulthood (Miller, 1992).

Physiology. Although the ZM has a well-defined preferred environment, it is able to withstand a wide variety of conditions. It can tolerate long periods of food deprivation, desiccation, extreme temperatures and variability in the concentration of dissolved oxygen. The mussels are able to adapt to variable temperatures, a high variation in the pH of the water as well as variation in calcium content and a low nutrient content. They can withstand a high level of pollution, and when this occurs in an acute form they are able to close their valves for periods of as long as two weeks before opening them again.

The temperatures needed for their development vary between the different species of Zebra Mussel. The preliminary analyses carried out on the populations in Lake St. Clair in the USA suggest minimum temperatures for the different stages of growth. These are 10°C for gametogenesis; 8-10°C for development and 16-16°C for the veliger larvae. These results are similar to those obtained by other researchers (Waltz, 1978; Stanczykowska, 1977).

Recent studies have shown that the Zebra Mussel needs 7-8 mg/l concentration of calcium for its shell to grow, and 12-14 mg/l for reproduction.

The three most important variables for the development of the ZM are: pH, temperature and concentration of calcium. Other, less important factors include the variation of nutrients, total phosphorous, turbidity and dissolved oxygen.

THE DISSEMINATION OF THE ZEBRA MUSSEL

The ZM is originally native to the Black Sea and has spread to several different European areas mostly as a result of navigation, arriving either attached to ships' hulls or present in their bilge waters. Over a period of a century and a half they have spread this way mainly throughout northern Europe, reaching such disparate places as the English canals, the Italian pre-alpine lakes and the Greek basins in the 90's. When trade began between the United States, Canada and the Soviet Union after the cold war, a large number of

DISEMINACIÓN DEL MEJILLÓN CEBRA

El MC proviene del Mar Negro y se extiende por diferentes regiones europeas sobre todo a través de la navegación, fijado a los cascos o en el agua de las sentinas. Así, a lo largo de un siglo y medio se han diseminado primeramente por toda la zona norte europea hasta llegar a lugares tan distantes como los canales ingleses, los lagos prealpinos italianos y las cuencas griegas en la década de los 90. Con el inicio de las relaciones comerciales entre Estados Unidos, Canadá y la Unión Soviética al finalizar la Guerra Fría, se importaron gran cantidad de especies y entre ellas el MC del que se tiene conocimiento de su presencia en los Grandes Lagos desde 1984. En la actualidad ha infestado prácticamente toda la mitad oriental de América del Norte.

De la llegada del MC a la Península Ibérica se encuentran citas de finales del s. XIX que refieren su aparición en el río Duero cerca de Porto, en Portugal. Pero, probablemente, se trataba de alguna introducción accidental de especies muertas (*Azpeitia Moros, 1933*). Se detectaron especies jóvenes de mejillones en un punto concreto de la ribera del Llobregat, de origen desconocido y que desaparecieron con las inundaciones de octubre de 1982. La noticia de la llegada del MC a Cataluña y, concretamente, al río Ebro tuvo lugar a principios del verano de 2001. Gracias a una financiación de urgencia por parte del Ministerio de Medio Ambiente, se realizó una prospección de toda la zona afectada. Del estudio se extrajo que la invasión era ciertamente grave, que su origen se centraba en el embalse de Ribarroja y se le atribuyó el calificativo de plaga (*Altaba, 2002*). El motivo de la colonización, aunque se ignora, seguramente se debió a la llegada de una barca infestada de MC o bien a la descarga de agua de lastre con contenido de larvas.

IMPACTOS DEL MEJILLÓN CEBRA

Impactos generales. Podemos destacar una serie de impactos generales que se resumen en las interacciones que provocan sobre el medio entre las especies y los alimentos, desplazando a las especies autóctonas, cambios en la diversidad biológica y genética, debidos a la formación de híbridos con especies nativas; introducción de parásitos y enfermedades que tienen consecuencias peligrosas para la salud humana, la ecología y los aspectos socioeconómicos.

Impactos ecológicos. Estos acontecen sobre los mejillones nativos. Los MC no son selectivos y colonizan todas las especies. Primero se extinguen las especies raras. El resto desaparece más tarde o bien disminuyen su población. La infestación es tan grande que los mejillones nativos no pueden abrir sus valvas. Además son capaces de clarificar el agua y extraer materiales y nutrientes que depositan en el fondo en forma de bioheces. De esta manera es de esperar una reducción en la producción y biomasa de los pelágicos (autótrofos, heterótrofos, hervívoros y peces).

Impactos socioeconómicos. La atracción de MC por superficies duras localizadas a una profundidad moderada hace que las tuberías de agua, bien para el suministro a los municipios o a la industria, sean susceptibles de colonización de MC que forman grosores superiores a los 20 cm. Este hecho es la causa de serios problemas en la región de los Grandes Lagos de donde se extraen diariamente unos 2,5 Hm³/d para cubrir las necesidades de más de 25 millones de habitantes, granjas, industrias y centrales eléctricas (*Miller, 1992*). El coste medio del control del MC en las instalaciones nucleares en el año 1995 fue superior a los 800.000\$. El coste que supuso el control del MC en EEUU en el año 2001 alcanzó los 5.000 millones de dólares (*US Geological Survey*).

Beneficios. Se puede hablar de beneficios si se tiene en cuenta la capacidad del MC para clarificar el agua gracias a la capacidad de bio-sedimentación de las partículas en suspensión, hecho que mejora la calidad del agua. En Holanda y en Rusia, se han realizado estudios dirigidos a mejorar la calidad del agua y extraer los contaminantes y también el aprovechamiento como fuente potencial de proteínas y calcio, que se puede convertir en alimento valioso para los peces y aves acuáticas.

EL RÍO EBRO. SITUACIÓN ACTUAL

La gran capacidad de dispersión de las larvas, favorece una rápida expansión de esta especie aguas arriba y abajo del embalse de Ribarroja, punto

species were imported, including the ZM, with its presence first being recorded in the Great Lakes in 1984. It has now infested practically the whole of the eastern half of North America.

With regards to the arrival of the ZM in the Iberian Peninsula, records dating from the late 19th century have been found which point to its appearance in the River Duero near Porto in Portugal. However, this probably refers to an accidental introduction of dead species (*Azpeitia Moros, 1933*). Some young species were detected on the banks of the Llobregat. It is not known where they came from, but they disappeared in the floods of 1982. News of the arrival of the ZM in Catalonia, specifically in the River Ebro, came in 2001. Thanks to emergency funding on behalf of the Ministry of the Environment, a search was made of the whole of the affected area. The study showed that the invasion was most definitely serious and originated from the Ribarroja reservoir. It was given plague status (*Altaba, 2002*). Although the origins of the colonization are unknown, it was most probably due to a boat infested with ZM or the discharge of ballast water containing larvae.

THE IMPACT OF THE ZEBRA MUSSEL

General impact. A series of general impacts can be highlighted and summarized by the effects the ZM has on the environment with regards to native species and food supply. It displaces native species, provokes changes in biological and genetic diversity due to the creation of hybrids with native species, and introduces parasites and diseases that have serious consequences for human health, ecology and socioeconomic aspects.

Ecological impact. These affect native mussels. The Zebra Mussels are not selective and colonize all species. First rare species become extinct, then others disappear later or their populations are reduced. The infestation is so great that the native mussels cannot open their valves. Moreover, the ZM are able to clarify the water and extract materials and nutrients which they then deposit on the bed as pseudofaeces. A reduction in the production and biomass of pelagic species (autotrophs, heterotrophs, herbivores and fish) can obviously be expected.

Socio-economic impact. The fact that the ZM is attracted to hard surfaces at moderate depth means that water pipes, used either to supply towns or industry, are susceptible to colonization by Zebra Mussels which can form layers up to 20 cm thick. This has caused serious problems in the Great Lakes where around 2.5 Hm³/d are extracted per day to cover the needs of more than 25 million inhabitants, farms, industries and electrical power plants (*Miller, 1992*). The average cost of controlling the ZM in nuclear facilities in 1995 was over \$800,000. The cost for controlling the ZM in the USA in 2001 reached \$5 billion (*US Geological Survey*).

Benefits. Certain benefits can be attributed to the ZM as it clarifies the water. This is done thanks to its capacity for the bio-sedimentation of suspended particles, which improves water quality. Studies have been carried out in Holland and Russia with a focus on improving water quality, extracting contaminants and making the most of the potential source of proteins and calcium that can become a valuable food supply for fish and water birds.

THE CURRENT SITUATION OF THE RIVER EBRO

The great ability of the mussel to disperse larvae has led to a rapid spread of the species both above and below the Ribarroja reservoir, where the ZM was first

donde se observaron por vez primera en 2001. Un año después, aguas arriba de Flix se contaron más de 40.000 ejemplares por m² (Altaba, 2002). Estudios realizados por la Confederación Hidrográfica de Ebro, destacan la presencia del bivalvo en gran parte de la cuenca del Ebro. Se ha constatado la presencia de larvas en todo el recorrido del río desde el embalse del Sobrón hasta Amposta, población del delta del Ebro. El MC ha llegado a constituir un problema tal que, no sólo hace peligrar las condiciones ambientales sino que las económicas ya se encuentran en una grave situación. Este es el caso de la población de Flix, localidad eminentemente industrial en la que gran parte de sus habitantes vive de la central hidroeléctrica de Endesa, o de la planta química de Erquímia. Además, a 6 km río abajo se encuentra la central nuclear de Ascó. Todas ellas necesitan del Ebro para su funcionamiento: las centrales utilizan el agua para refrigeración y la electroquímica para producir hipoclorito sódico, entre otros productos. El mejillón se halla en una densidad tal que es capaz de taponar las rejillas, compuertas, cadenas, tuberías y canales utilizados por la industria. Se desconocen todavía muchos aspectos de las repercusiones del MC en la Península. Lo que sí parece seguro es que la conexión entre cuencas, tal y como ya ocurrió en gran parte de Europa y América del Norte, favorecería la propagación a gran velocidad. El Júcar y, posteriormente, el Segura se han unido al Ebro y ya cuentan en sus cuencas con la especie invasora.

POBLACIÓN DE MC EN LA CENTRAL NUCLEAR DE ASCÓ

La CNA, está ubicada en el margen derecho del Ebro en la comarca de la Ribera d'Ebre, entre las poblaciones de Flix y Ascó, provincia de Tarragona a unos 110 km de la desembocadura del Ebro. Las dos unidades de CNA utilizan como fuente de refrigeración el agua del río a través de un circuito terciario independiente. El agua es dirigida al condensador, ubicado a la salida de la turbina, para condensar, a través de sus tubos, el vapor expandido que ha servido para hacerla girar. Una vez el agua atraviesa los tubos del condensador, el total del agua utilizada se retorna al río cumpliendo los valores límites de calentamiento para causar la mínima influencia del entorno. La toma de agua de refrigeración está formada por cajones de hormigón armado. Básicamente hay cuatro sistemas que utilizan el agua del río: el sistema de agua de circulación que incluye los subsistemas de refrigeración y descarga del agua de circulación y de extracción de aire y limpieza del condensador; el sistema de servicios de componentes; el sistema contra-incendios y el sistema de agua de servicios de las salvaguardias tecnológicas. El sistema de agua de circulación suministra la refrigeración necesaria a los condensadores principales del turbogenerador con la finalidad de mantener el foco frío del ciclo térmico en los valores óptimos durante la explotación normal de la central de manera que se optimice su rendimiento térmico. El sistema de agua de servicios de componentes tiene la función de generar la carga de calor generada en el propio sistema, transfiriéndola al sistema de aguas de circulación aguas debajo de los condensadores principales. El sistema de salvaguardia sólo utiliza agua del río puntualmente y tiene como función eliminar la carga de calor de los sistemas de refrigeración de salvaguardias tecnológicas y de los generadores de fuel disipándolas a la atmósfera a través de las torres de refrigeración. El sistema contra-incendios sólo utiliza agua puntualmente. El sistema utiliza el agua del río durante la ejecución del programa de vigilancia periódico de las bombas. Todos estos sistemas son candidatos al control de la evolución del MC.

SITUACIÓN INICIAL

En la primavera de 2002 se inspeccionaron dos cajas de toma de agua en la casa de bombas apreciándose una presencia desigual del bivalvo. En una de las cajas de agua la fijación era de unos cuantos sujetos por m² mientras que en la otra caja era menor y limitada a unas pocas zonas. En los meses de abril y mayo de 2002 se observó la existencia de MC durante el proceso de limpieza de dos cambiadores. La presencia era testimonial y se localizaban en la tapa del cambiador y en la parte inferior de las cajas de agua. A finales de mayo se comprobó la obstrucción parcial por fijación de los mejillones de un tubo flexible para tomar muestras de agua del río.

detected in 2001. One year later, more than 40,000 specimens per m² were counted in the waters above Flix (Altaba, 2002). Studies carried out by the Confederación Hidrográfica de Ebro (the Ebro Hydro-graphic Confederation) have revealed the presence of the bivalve in a large part of the Ebro basin. Larvae have been shown to be present the full length of the river from the Sobrón reservoir to Amposta, a town in the Ebro delta. The ZM has become such a problem that not only is it dangerously affecting environmental conditions, but economic conditions are also being badly affected. Such is the case of the town of Flix, a highly industrial area where the livelihood of the majority of the population is linked to the Endesa hydro plant, or the Erquímia chemical plant. Moreover, the CNA is located 6 km further down the river. All these facilities rely on the Ebro to function: the plants use the water for cooling, and the electrochemical company uses it to produce sodium hypochlorite, among other products. The mussels are present in such a quantity that they are able to block the grilles, lock gates, chains, pipes and channels used by the industry. Many of the repercussions of the presence of the ZM in the Peninsula are still unknown, but it seems certain that connections between basins favors its rapid propagation as has occurred over a large part of Europe and North America. The River Júcar and, more recently, the River Segura have been linked to the Ebro and now have the invading species in their basins.

THE ZEBRA MUSSEL POPULATION IN THE ASCÓ NUCLEAR POWER PLANT

CNA is located on the right bank of the Ebro in the county of Ribera d'Ebre, between the towns of Flix and Ascó in the province of Tarragona, some 110 km from the mouth of the River Ebro. The two units of the Ascó Nuclear Power Plant use the river water as a cooling source via an independent tertiary circuit. The water is sent to the condenser, located at the turbine outlet, where the expanded steam used to make the turbine turn is condensed through the tubes. Once the water has passed through the condenser pipes, it is returned to the river in compliance with the limits placed on the temperature to ensure minimal effects on the environment. The cooling water inlet comprises two reinforced concrete water boxes. There are basically four systems that use the river water: the cooling water system that includes the subsystems for cooling and circulation water discharge, air-extraction and cleaning the condenser; the component service system; the fire-protection system and the technological safeguards service water system. The circulation water system provides the required cooling for the main turbo-generator condensers to keep the cold point of the thermal cycle at an optimum temperature during normal plant operation so that thermal performance is optimized. The job of the component service water system is to generate the heat charge generated in the system itself, transferring it to the circulation water system under the main condensers. The safeguard system only uses the river occasionally to eliminate the heat in the technological safeguards cooling systems and the fuel generators, releasing it into the air via the cooling towers. The fire-protection system also only uses the river on occasion. This system uses the river water while the periodic pump monitoring program is being carried out. The evolution of presence the ZM must be monitored and controlled in all these systems.

INITIAL SITUATION

In the spring of 2002, two water inlet boxes were inspected in the pump house and an irregular presence of the bivalve was discovered. In one of the water

CONTROL DEL MC EN LA CENTRAL NUCLEAR DE ASCÓ

En mayo de 2002 se presentan y evalúan los diferentes métodos de control de la población del mejillón en sus sistemas, estructuras y componentes, su aplicabilidad en planta y los rasgos más importantes de cara al tratamiento. Una vez evaluadas las diferentes opciones de control de las instalaciones se opta por una solución del tipo preventivo. Se decide efectuar tratamiento térmico sin descartar en ningún momento otro método y teniendo en cuenta los siguientes puntos: mínimo impacto ambiental, siempre que se respeten los límites permitidos; el tratamiento consiste en recircular el agua de la descarga, hacerla retornar a los condensadores de la unidad incrementando la temperatura que, mantenida un tiempo suficiente, asegure la mortalidad del 100% de los mejillones y de las larvas. Atendiendo al ciclo de vida del mejillón, se tiene en cuenta la variable temperatura además de otras variables físico-químicas del agua tales como el pH y la concentración de calcio.

La temperatura del agua es la determinante del inicio de la gametogénesis. Por debajo de 13°C, el desarrollo de los veligers está inhibido. A pesar que los adultos pueden soportar temperaturas de 0°C, las altas temperaturas ofrecen un límite de supervivencia. Por encima de los 28-30°C tienen dificultad para alimentarse y no sobreviven a los 32-34°C. Estos hechos establecen la temperatura que se ha de alcanzar para obtener un tratamiento térmico eficaz. Para la aplicación de un tratamiento térmico eficaz se debe considerar el realizarlo durante los meses que la temperatura del río sea superior a los 13-14°C para coincidir con los periodos de puesta y reproducción. Con respecto a la onda térmica, existe una relación entre el tiempo de exposición a la máxima temperatura y el valor de esta. Un tratamiento térmico eficaz requerirá a 36°C una exposición de 4 horas. En cambio, solamente necesitará 45 minutos a una temperatura de 40°C. Estos valores son correctos para una población aclimatada a 25°C. De todo lo expuesto se deduce que la onda de choque a aplicar para obtener unos resultados satisfactorios, se divide en tres tramos: 1) tramo inicial, de 2h independiente de la temperatura a alcanzar; 2) tramo intermedio, donde se alcanza la temperatura máxima de tratamiento y se mantiene durante un tiempo que dependerá de la propia temperatura; 3) tramo final, o de enfriamiento hasta la temperatura inicial, se estima en 1h de duración con independencia de la temperatura máxima alcanzada.

LÍMITES DE LA PLANTA AL TRATAMIENTO TÉRMICO

Se debe considerar que la temperatura del agua de refrigeración viene determinada por la temperatura del agua del río aguas arriba por encima del canal de toma y por el volumen de recirculación en el canal de descarga. La función principal del caudal de agua de circulación es condensar el vapor de escape de las turbinas de baja, manteniendo el foco frío del ciclo térmico. Evidentemente, un aumento de la temperatura del agua de circulación incrementará la presión absoluta del condensador y disminuirá el rendimiento del ciclo que se manifestará en una disminución de la potencia eléctrica generada. Por otro lado la planta tiene otras limitaciones que vienen regidas por: la temperatura del río aguas debajo de la descarga; el caudal mínimo de descarga; los límites impuestos por el caudal máximo de recirculación. Esta limitación puede impedir alcanzar la temperatura de choque térmico en el caso de bajas temperaturas del agua del río; y otras limitaciones prácticas debidas a los límites operativos.

Por lo que respecta a los efectos del tratamiento por choque térmico en el sistema de refrigeración principal, se manifiestan básicamente en el aumento de la presión del condensador. El valor de temperatura aceptable para el tratamiento efectivo contra el MC es de 38°C. Por otro lado, se considera realizar el tratamiento durante horas de menos impacto económico. La duración, como ya se ha citado anteriormente, depende de la temperatura máxima alcanzada, estimándose una duración a lo largo de los tres tramos de unas 4h, aproximadamente.

Desde el inicio de los tratamientos de choque térmico en el año 2002 en la CNA, los resultados se han mostrado satisfactorios con ausencia total de colonizaciones e individuos fijados. Se constata con el tratamiento no sólo la ausencia de mejillones adultos fijados a las superficies

boxes there were a few ZM attached per m², whilst in the other there were less present and these were limited to a few specific areas. In April and May 2002 the existence of ZM was observed during cleaning of the two exchangers. The presence was insignificant with the mussels being attached to the exchanger lid and on the lower part of the water boxes. At the end of May the partial obstruction by attached mussels of a flexible tube for taking river water samples was observed.

CONTROLLING THE ZEBRA MUSSEL IN THE ASCÓ NUCLEAR POWER PLANT

In May 2002 different methods were presented and evaluated for controlling the mussel population in the structures, systems and components of the plant. Their applicability for the plant and their most important aspects with regards to treatment were also looked at. Once these different options for control within the facilities had been evaluated, a preventive solution was chosen. It was decided that a thermal treatment would be used (although without rejecting other possible methods) and the following was taken into account: minimal environmental impact, always respecting permitted limits. The treatment consists of re-circulating the discharge water so that it returns to the unit condensers thereby increasing the temperature which, when maintained long enough, ensures 100% mortality among mussels and their larvae. In accordance with the lifecycle of the mussel, the temperature variable is taken into account as well as other physicochemical variables of the water such as the pH and the concentration of calcium.

The temperature of the water determines the initiation of gametogenesis. Below 13°C, the development of the veligers is inhibited. While adults can withstand temperatures of 0°C, high temperatures limit their survival. At temperatures of above 28-30°C they have difficulty feeding and they cannot survive at temperatures of 32-34°C. These facts establish the temperatures needed to obtain an effective thermal treatment. For the thermal treatment to be effective, it must be done during the months where the river temperature is above 13-14°C to coincide with the periods of egg-laying and reproduction. With regards to the thermal wave, there is a relationship between the maximum temperature exposure time and the value of it. An effective thermal treatment requires an exposure of 36°C for 4 hours. However, only 45 minutes are needed for a temperature of 40°C. These values are correct for a population acclimatized to 25°C (Jenner et al, 1988). It is deduced from this that for satisfactory results to be achieved the shock wave that must be applied must comprise three sections: 1) the initial section, lasting for 2 hours independently of the temperature to be reached; 2) the intermediate section where the maximum treatment temperature is reached and maintained for a period of time that will depend on the target temperature; 3) the final section where the water is cooled again to its initial temperature. This is estimated to take 1 hour independently of the maximum temperature reached.

Limits of thermal treatment at the plant

It is important to remember that the temperature of the cooling water is determined by the temperature of the river water above the inlet channel and by the recirculation volume in the discharge channel. The main function of the circulation water flow is to condense the exhaust steam from the LP turbines, while maintaining the cold point of the thermal cycle. It is obvious that an increase in temperature in the circula-

mojadas de las cajas de aguas sino también la ausencia de Cebraz jóvenes en estas superficies. La ausencia de MC se extiende hasta zonas donde el agua circula a baja velocidad y estructuras angulares donde es más factible la presencia del mejillón.

DISCUSIÓN

La presencia de seres alóctonos fácilmente adaptables al nuevo medio, pueden ocasionar verdaderos efectos devastadores del ecosistema inicial. El MC originario del Mar Negro ha invadido una gran parte de los ríos europeos, norte de los Estados Unidos y, finalmente, ha llegado a las cuencas de algunos ríos de la Península Ibérica. Su presencia es preocupante desde el aspecto ecológico alterando las propiedades del agua y la flora del río donde habita. Asimismo tiene un impacto importante sobre las instalaciones que utilizan el agua del río para la producción o para los diferentes sistemas de refrigeración además del impacto que puede provocar sobre las redes de riego agrícola y de agua de consumo. El control del MC en la industria ha de estar basado en el respeto máximo de las aguas y evitar todo tipo de vertidos fruto de un tratamiento desmesurado o agresivo de las instalaciones afectadas.

Un método con consecuencias asumibles, consiste en provocar un choque térmico en los sistemas de agua afectados de manera que se evite la fijación y se facilite la muerte de los animales fijados.

Los estudios realizados en la CNA revelan que estamos en un estado invasivo de mejillón y que hemos de actuar en el conocimiento del comportamiento y el ciclo vital para obtener unos resultados óptimos con tratamientos no invasivos. La experiencia del tratamiento térmico sobre los sistemas de refrigeración ha sido satisfactoria a pesar de que se tendrán que ir adaptando a la evolución del Cebra al nuevo hábitat y a la optimización del tratamiento con datos históricos del río, evolución del mejillón y respuesta al choque térmico. No debemos descartar la posibilidad de otros métodos de control donde el incremento del choque térmico no sea aceptado por los equipos. Es evidente que la solución no es solamente de carácter industrial sino que debe darse una respuesta conjunta entre las partes mayoritariamente afectadas: el río y la industria.

Como conclusión se puede afirmar que hasta el momento, el impacto del MC en la planta no ha sido significativo.

BIBLIOGRAFÍA / REFERENCES

- [1] Acknerman, J.D., B. Sim, S.J. Nicol, and R. Claudi, 1994. A review of the early life history of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): Comparisons with marine bivalves. *Can. J. Zool.* 72: 1169-1179.
- [2] Altaba, C.R. 2002. La distribución geográfica i ecològica dels bivalves d'aigua dolça recents dels Països Catalans. *Butlletí de la Institució Catalana de Història Natural*, 60: 77-103.
- [3] Azpeitia Moros, F. 1933. Conchas bivalvas de agua dulce de España y Portugal. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 38(1): 1-458 y 39(2): 459-763., lams. I-XXXVI.
- [4] Hunter, R.D., and J.F. Bailey. 1992. *Dreissena polymorpha* (zebra mussel): colonization of soft substrata and some effects on unionid bivalves. *The Nautilus*, 106(2): 60-67.
- [5] Mackie, Gerald L., and Don W Schloesser, 1996. Comparative biology of zebra mussels in Europe and North America. *An Overview*. *American Zoology*, 36: 244-258.
- [6] Miller, S. 1992. The Pesky Zebra Mussel. *Environ. Sci. Technol.*, 26: 2334-2336.
- [7] Pathy, D.A. 1994. The life history and demography of zebra mussel, populations in Lake St Clair, Lake Erie, and Lake Ontario. M Sc. Thesis, University of Guelph, Ontario.
- [8] Stanczykowska, A. 1977. Ecology of *Dreissena polymorpha* in lakes. *Pol Arch Hydrobiol.* 24: 461-530.
- [9] US Geological Survey). <http://nas.er.usgs.gov/zebra.mussel>
- [10] Waltz, N. 1978. The energy balance of the fresh water mussel *Dreissena polymorpha* Pallas in the laboratory experiments and in Lake Constance. II. Reproduction, *Arch Hydrobiol supp* 55: 106-119.

tion water will increase the absolute pressure of the condenser and reduce the performance of the cycle that will be seen as a reduction in the electrical power generated. The plant also has other limitations resulting from the temperature of the river downstream from the discharge point; the minimum discharge flow; and the limits imposed by the maximum recirculation flow. This limitation can prevent the thermal shock temperature being reached when the river temperature is low. Other practical limitations due to operational limits also exist.

With regards to the effects of the shock treatment on the main cooling system, these basically consist of a pressure increase in the condenser. The acceptable temperature for an effective treatment against the ZM is 38°C. Consideration is also given to carrying out the treatment at times when it will have less of an economic impact. As previously mentioned, the duration depends on the maximum temperature reached, with a total duration of the three sections being estimated at approximately 4 hours.

Since the shock treatment was first introduced in CNA in 2002, the results have been satisfactory with a total absence of colonization and attached adults. It has been observed that, not only is there a total absence of adult mussels attached to the wet surfaces of the water boxes, but there are also no young Zebra Mussels on these surfaces. The absence of ZM extends to areas where the water flows slowly in angular structures where the presence of the mussels would be more likely.

DISCUSSION

The presence of non-native species which are highly adaptable to their new environment can cause devastating effects on the initial ecosystem. The ZM from the Black Sea has invaded many European rivers, the north of the United States and has eventually reached the river basins of some of the rivers in the Iberian Peninsula. Its presence is worrying from an ecological point of view as it alters the properties of the water and the flora of the river it inhabits. It also has a serious impact on the facilities that use the river water for production or for their different cooling systems, as well as the impact it can have on the agricultural irrigation and drinking water networks. The control of the ZM in industry must be based on a maximum respect for the water and avoid all discharge resulting from excessive or aggressive treatment in the affected facilities.

One method with acceptable consequences consists of producing a thermal shock in the affected water systems so that attachment is avoided and any attached animals are killed.

Studies carried out by CNA have revealed that we are in a situation of being invaded by the mussel and we must act in accordance with the behavior and lifecycle of the ZM to obtain optimum results with non-invasive treatments. The experience of the thermal shock treatment of the cooling systems has been satisfactory, although this will have to be adapted to the evolution of the Zebra Mussel in its new habitat and past data on the river, as well as the evolution of the mussel and its response to the shock treatment. We must not discard the possibility of other control methods in cases where the equipment will not cope with thermal shock. It is certainly clear that the solution is not only of an industrial nature, but that a joint response must be made by the most affected parties: the river and industry.

In conclusion, the impact of the Zebra Mussel on the plant has not been significant as yet.