

---

# *Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental*

---

*Primera edición  
curso 2003-2004*



○○○  
○○○  
○○○  
UPC

*Asignatura de Ingeniería Ambiental*

*ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos  
Universidad Politécnica de Cataluña*

*Barcelona, mayo de 2004*





El acto de entrega del Premio “Marcel Brú i Turull” de Ingeniería Ambiental, en su Primera Edición del curso 2003-2004, tuvo lugar en la Sala de Actos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, de la Universidad Politécnica de Cataluña, el miércoles, 5 de mayo de 2004.

Al acto fue presidido por el Prof. Francesç Robusté, director de la Escuela y contó con la participación del Prof. Benjamín Suárez, Comisionado de la Universidad Politécnica de Cataluña para la integración en el espacio europeo de educación superior, de Vicenç y Emi, padres de Marcel, de numerosos alumnos de Ingeniería Ambiental y de otros cursos, de antiguos alumnos y amigos de Marcel, y de profesores y miembros de la comunidad universitaria y de la escuela de estudios secundarios de Marcel.

El premio fue donado generosamente por Vicenç Brú i Emi Turull.

El Comité de Selección de los premios estuvo compuesto por un total de 11 personas, entre alumnos del Comité Técnico de Ambient y profesores de la Sección de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Los alumnos premiados fueron Ignasi Crespo Farràs y Jesús González Fernández, por la elaboración del trabajo titulado Pinturas Anti-incrustantes.

Prof. Rafael Mujeriego  
Mayo de 2004.





**Alumnos premiados, alumnos finalistas y alumnos organizadores del Premio “Marcel Brú i Turull” de Ingeniería Ambiental, en su primera edición del curso 2003-2004.**



# Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2003-2004

## PINTURAS ANTI-INCRUSTANTES

Ignasi Crespo Farràs

Jesús González Fernández

### RESUMEN

Con las siglas TBT se conoce a uno de los compuestos orgánicos que están causando mayor impacto en los sistemas naturales y que supone un peligro potencial para la salud del ser humano, el tributilestano. Este compuesto se utiliza como biocida en las pinturas anti-incrustantes de los barcos, para impedir el crecimiento de organismos marinos en los cascos de las embarcaciones. Pero el problema principal radica en que con el paso del tiempo esta pintura cae del casco y precipita en el mar, causando efectos nocivos sobre el medio marino, debido a la elevada toxicidad del TBT.

Es coneix amb les sigles de TBT a un dels compostos orgànics que estan causant major impacte en els sistemes naturals i que suposa un perill potencial per a la salut de l'ésser humà, el tributilestany. Aquest compost s'utilitza com a biocida en les pintures anti-incrustants dels vaixells, per tal d'impedir el creixement d'organismes marins en els cascs de les embarcacions. Però el problema principal radica en el fet que amb el pas del temps aquesta pintura es desprèn del casc i precipita al mar, causant efectes nocius sobre el medi marí, degut a l'elevada toxicitat del TBT.

### INTRODUCCIÓN

El mar es un medio poblado por una gran cantidad de micro y macroorganismos, que provocan una amplia gama de problemas a los objetos sumergidos en él. Debido a su salinidad también es un medio altamente corrosivo para muchos materiales metálicos. La abundancia de iones fuertemente agresivos y su conductividad eléctrica facilitan e intensifican la actuación de las pilas de corrosión.

En este medio, los fenómenos corrosivos y biológicos van ligados. Los organismos presentes en el medio, como los sepúlpidos, los briosos y las algas se fijan en

el fondo y en la línea de flotación de la embarcación dando lugar a diversos problemas entre los que destaca la corrosión. Estas comunidades de organismos producen la formación de ácido sulfhídrico y perforaciones de los revestimientos. A parte de la degradación producida por estos organismos en el casco, éstos se incrustan aumentando su coeficiente de rozamiento. Esto produce una disminución de la velocidad del buque, una pérdida de la capacidad de maniobra y paralelamente un aumento del consumo de combustible en el caso de querer mantener una determinada velocidad. Por ejemplo, un barco no protegido puede acumular hasta 150 kg de estos organismos por metro cuadrado durante seis meses en el mar, lo que en un petrolero con 40 000 m<sup>2</sup> de obra viva supone incrementar su peso en 6 000 tm. Todo ello se cifra en cuantiosas pérdidas económicas.

### OBJETIVOS

En la presente comunicación vamos a desarrollar los siguientes puntos:

1. Evolución de los métodos de protección.
2. Procesos de liberación del contaminante en el medio.
3. Su naturaleza y comportamiento en el medio.
4. Efectos sobre los seres vivos que habitan y/o están relacionados con éste.
5. Alternativas más respetuosas con el medio ambiente.

### EVOLUCIÓN DE LOS MÉTODOS DE PROTECCIÓN

Con el fin de eliminar estos problemas se hace necesaria la aplicación de recubrimientos protectores. Antiguamente, los revestimientos de cobre que comenzaron a ser utilizados por los fenicios y siguieron empleándose con éxito hasta el siglo XVIII sobre embarcaciones de madera, ya que funcionaban

por efecto de la disolución del cobre en agua de mar. Con la aparición de los buques de hierro comenzaron a elaborarse las pinturas popularmente denominadas "patentes" en las que el sulfato de cobre actuaba como principal biocida. A partir de 1960 comenzó a tratarse con pinturas que en su composición contenían, además de cobre, mercurio y derivados órgano-estánicos como el tributilestaño (TBT), un compuesto que resultaba menos dañino que los biocidas usados en ese momento para las pinturas tales como arsénico y DDT. Actualmente existen sistemas de pinturas que comprenden la aplicación de varias capas, primero de recubrimientos anticorrosivos y después de anti-incrustantes. Estas pinturas contienen biocidas que son lixiviados durante la vida útil de la capa de pintura evitando así la incrustación de estos organismos y, en consecuencia, prolongando considerablemente el periodo de vida de una embarcación.

### PROCESO DE LIXIVIACIÓN

La lixiviación es el proceso de liberación de veneno a partir de la pintura anti-incrustante. Los biocidas anti-incrustantes deben cubrir el máximo número posible de especies susceptibles de adherirse al casco del barco. Hay diversos mecanismos que dan lugar a este proceso:

1. Disolución simple o convencional, en la que la película de anti-incrustante formada por resinas y aceites naturales y cuyo producto tóxico es el óxido cuproso que se reblandece, se hincha y se disuelve lentamente de forma incontrolada al entrar en contacto con el agua del mar liberando el biocida que contiene. La velocidad de desintegración de dicha película depende mucho de condiciones como la velocidad del buque (atracado o navegando) la temperatura, la salinidad y el pH del agua. Aún así la liberación de tóxicos es mucho mayor en los primeros meses.
2. En el mecanismo de difusión, la película anti-incrustante está formada por dos tipos de resinas: duras y blandas, dando lugar a una parte soluble y a una insoluble. Por lo tanto al entrar en contacto con el agua del mar, parte de la capa se disuelve, y en la parte insoluble se forman canalillos a través de los cuales por difusión los tóxicos son liberados. Este mecanismo produce una mayor durabilidad del anti-incrustante y no depende tanto de los factores antes nombrados.

Actualmente se ha llegado a nuevos tipos de anti-incrustantes basados en nuevos polímeros tóxicos, que funcionan mediante un mecanismo de disolución auto-controlada. Este es el caso de los TBT's. En contacto con el agua marina, los productos que contienen TBT's reaccionan con ésta dejando ir al TBT como biocida. Estas reacciones se dan muy lentamente con el propósito de mantener la liberación de biocida a lo largo de la vida de la pintura.

### NATURALEZA Y COMPORTAMIENTO DEL MEDIO

El tributilestaño (TBT) es uno de la serie de compuestos denominados órgano-estánicos. El uso del TBT ha extendido la contaminación desde los puertos al interior de los océanos, debido a su entrada directa en el medio y su capacidad de dispersión.

La concentración de este compuesto en el agua y en los sedimentos marinos es una consecuencia de la aplicación y/o limpieza de las pinturas anti-incrustantes aplicadas sobre los barcos o bien la degradación de estas. Los compuestos órgano-estánicos pueden ser adsorbidos en el material articulado del agua y posteriormente quedar disueltos o ser depositados en el sedimento, o bien acumularse en organismos acuáticos.

La degradación del medio es mucho más elevada en los sedimentos que en el agua debido a la mayor interacción entre el TBT y las partículas del sedimento, es por eso que los sedimentos son el mejor registro para determinar los procesos de concentración de estos contaminantes, ya que en la columna de agua las concentraciones son mucho más bajas y hacen más complicado el determinar dichas concentraciones.

### EFFECTOS SOBRE LOS SERES VIVOS

El TBT es un compuesto con una elevada ecotoxicidad, es decir que es altamente tóxico para los organismos marinos debido a su elevada capacidad de penetración en las membranas biológicas, incluso a bajas concentraciones (ng/l), para un gran número de especies biológicas, produciendo malformaciones como el imposex en los gasterópodos o disminuyendo el grosor del caparazón en las ostras. La importancia del efecto tóxico de este compuesto es debida a que los organismos no metabolizan rápidamente el TBT ingerido, sino que lo bioacumulan solubilizándolo en los compuestos lipídicos. Los efectos que se han observado en varias especies marinas presentan un riesgo serio para su salud, incluso para su reproducción. Algunos de estos efectos quedan expuestos a continuación:

Las malformaciones de la concha fue uno de los primeros efectos que se observó en la naturaleza, se produjeron una serie de fenómenos que dañaron severamente la ostricultura en la zona: la aparición de anomalías físicas (malformaciones en la concha caracterizadas por el engrosamiento de las ostras), reducción del crecimiento de los individuos provocado por una alteración en el metabolismo del calcio.

El Imposex es uno de los efectos tóxicos más graves y está extendido por todo el mundo, registrado en más de setenta especies marinas diferentes. Se produce una masculinización (superposición de caracteres masculinos) proporcional a la dosis de contaminante.



Comienza a formarse pene y un vaso deferente. Este vaso se extiende hacia el oviducto y puede llegar a bloquearlo impidiendo la salida de las cápsulas de huevos de modo que las hembras se vuelven funcionalmente estériles. Finalmente, la acumulación de las cápsulas de huevos abortados provoca un trauma que conduce a la muerte del animal por lo que en poblaciones muy afectadas se da una baja proporción de hembras. Identificado en caracoles marinos, es un fenómeno por el que las hembras desarrollan caracteres sexuales masculinos. Este proceso aumenta cerca de puertos y marinas, con lo cual se produce una acusada disminución de la población debido a la disminución de las hembras. Tras la prohibición del uso de TBT en barcos pequeños, la población se recuperó rápidamente en las áreas costeras frecuentadas por tales barcos. Se ha comprobado que los especímenes jóvenes que aún están en fase de crecimiento, son más vulnerables que los miembros maduros de la especie. Estudios realizados sobre poblaciones de caracoles en mar abierto, muestran que el imposex se da con más frecuencia a lo largo de las rutas pesqueras.

La reducción de la resistencia frente a enfermedades infecciosas que se da mayoritariamente en peces planos que viven en el lecho marino, y que están expuestos a concentraciones relativamente altas de TBT, especialmente en zonas sedimentarias como puertos y estuarios. El TBT les ha ocasionado un deterioro en la actividad de sus agallas que les dificultaba la absorción de oxígeno y atacaba a su sistema inmunológico

Estudios recientes han encontrado significativas concentraciones de este compuesto en mamíferos marinos de gran tamaño. Éstos tienen una menor capacidad para metabolizar el tributilestaño en comparación con otros animales y, por tanto, tienden a bioacumular estos tóxicos en sus tejidos a mayores concentraciones. Un caso destacable es el que han revelado estudios recientes sobre los cachalotes que viven y se alimentan en aguas profundas alejadas de puertos y rutas de navegación, quienes han acumulado en sus tejidos cantidades significativas de TBT's y sus metabolitos de degradación.

## EFFECTOS SOBRE LAS PERSONAS

Se ha detectado TBT en bajas concentraciones en muestras de pescado, bivalvos y crustáceos de todo el mundo. Es decir, no puede decirse que los alimentos de origen marino no son adecuados para el consumo humano, pero tampoco pueden descartarse los posibles efectos adversos, aunque sólo se notarían con una alimentación basada en el consumo continuado de animales marinos contaminados.

Otra posible forma de llegada del TBT al ser humano es por la ingesta de agua contaminada o directamente a través de la piel. En nuestro organismo tienden a concentrarse en el hígado, los riñones y en el tejido graso. Otra fracción se elimina a través del pelo o las uñas. Experimentos *in vitro* han

mostrado que el TBT y sus metabolitos interfieren en la respuesta inmune: la exposición a determinadas cantidades de TBT pueden anular hasta el 90% de la capacidad de nuestro organismo para destruir tumores celulares y reducir la resistencia de las personas a las infecciones.

Asimismo, investigadores de la Universidad de Bonn (Alemania) han puesto en evidencia el potencial del TBT como disruptor hormonal, ya que puede afectar al sistema enzimático, responsable de la formación de las hormonas femeninas estrógenos.

## ALTERNATIVAS AL USO DE LOS TBT'S

Debido a la toxicidad que presentan estos compuestos, aparecen biocidas que son usados como alternativas al TBT que buscan ser menos dañinas con el medio ambiente. Una de las alternativas más utilizadas son las pinturas biocidas basadas en Cu. El cobre es mucho menos tóxico que el TBT en el medio acuático. Sus efectos tóxicos tan sólo se han identificado para concentraciones 1 000 veces más altas que el TBT. Sin embargo, el Cu resulta tóxico para la fauna marina.

Existen pinturas biocidas que no contienen estaño que se utilizan en varios tipos de embarcaciones, a pesar de ser un 10% más caras que las fabricadas con estaño y de que necesitan una renovación más frecuente. Por estas razones, su utilización resulta más cara, sobre todo por el mantenimiento. Las pinturas exentas de estaño son eficaces en un periodo de 3 años y medio. Aún así, son pocas las embarcaciones que entran en el muelle para su mantenimiento cada cinco años. Por ello, se está fomentando su utilización por las marcas de pintura más conocidas para así poder competir con las que contienen TBT. Hay compañías que ya se han pasado a la utilización de dichas pinturas. Por ejemplo, los pesqueros del mar del Norte acuden al muelle cada año para repintar sus barcos, lo cual ha producido un auge de las pinturas anti-incrustantes en dicho sector. El interés de los pescadores y los astilleros va dirigido a la utilización de productos no contaminantes y respetuosos con el medio ambiente.

Algunas embarcaciones especiales, como los remolcadores, los botes salvavidas... tienen un riesgo mayor de recubrimiento debido a que pasan un mayor tiempo amarrados y navegan a velocidades más bajas y por la zona costera. Así que la alternativa de las pinturas exentas de estaño funciona muy bien en estas embarcaciones ya que navegan pocos días al año y van al muelle una vez cada tres años.

Otra alternativa es la utilización de capas no-adherentes con una gran superficie deslizante. Pueden utilizarse para prevenir las incrustaciones y además, resulta más fácil eliminarlas con una manguera a alta presión cuando se producen. El único obstáculo es que cualquier problema que surja en la capa no-adherente es muy difícil de solucionar.

La limpieza periódica del casco es también una alternativa a las pinturas que contienen compuestos

órgano-estánicos. Sin embargo, se tiene muy poca experiencia en estas técnicas de limpieza. Esta alternativa es más apropiada para las embarcaciones que navegan en sitios donde hay poca cantidad de organismos que se puedan pegar o adherir al casco. La propia naturaleza crea sustancias que previenen el recubrimiento o que dificultan la adhesión. Estas sustancias pueden utilizarse en las embarcaciones y muy probablemente darán mejores resultados medioambientales. Las investigaciones en este tipo de compuestos están aún en una fase inicial. El objetivo de este método es la utilización de compuestos naturales competitivos con las pinturas basadas en TBT.

Las últimas alternativas exploradas actualmente son las técnicas electroquímicas y superficies con pinchos. Las primeras se basarían en una diferencia de potencial entre el casco y el agua desencadenando así una reacción química que prevendría las incrustaciones. Pruebas realizadas han demostrado que esta técnica puede llegar a ser más efectiva que las pinturas sin estaño antes citadas. Pero su elevado coste (alto consumo de energía) y el más que posible aumento de riesgo de corrosión puede dificultar su normalización. Las superficies con pinchos es otra de las posibilidades, la eficacia de esta técnica dependerá de la longitud y la distribución de los mismos. Claramente es una técnica que no dañaría el medio ambiente y parece evitar razonablemente la adhesión de percebes y algas. Pero hasta el momento, el gran problema que presenta este procedimiento es que los pinchos aumentan la resistencia ofrecida por el barco al agua, disminuyendo su velocidad y aumentando su consumo.

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los problemas derivados del TBT, las diferentes alternativas y las ventajas e inconvenientes que se dan en ambos casos, podemos sacar las siguientes conclusiones:

1. Se debería elaborar una normativa dirigida especialmente a las zonas consideradas toxicológicamente más perjudicadas. Gran parte del TBT es vertido en el agua en zonas del puerto destinadas principalmente a trabajos de pintado y mantenimiento de los barcos.
2. Se deberían tomar medidas para reducir esta fuente de contaminación, creando un sistema de control medio-ambiental para las actividades realizadas en los muelles y los embarcaderos, entre ellas, la limpieza cuidadosa del suelo del muelle, la utilización de redes de malla fina durante la sesión de pintura y la conducción del agua por un sistema de alcantarillado hacia una planta de tratamiento de aguas.
3. Continuar el estudio de nuevas alternativas y mejorarlas, ya que su utilización puede llegar a crear mayor rugosidad en el casco del barco, lo que aumenta su resistencia al agua e incrementa el consumo de combustible, favoreciéndose así las emisiones de CO<sub>2</sub> (efecto invernadero) y SO<sub>2</sub> (lluvia ácida).
4. Es importante que todos los sistemas anti-incrustantes sean seguros para el medio y que la acción se tome para luchar contra la contaminación química producida por las pinturas que contienen TBT como por las que no lo contienen y que también pueden ser perjudiciales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[www.consumaseguridad.com/investigacion](http://www.consumaseguridad.com/investigacion).

Quintela, M. (2002). Cambio de sexo en moluscos gallegos.

<http://ps.superb.net/icod/PUB.HTM>. Kiratli, N., Rodopman, K., Bilican, G. (1995). El efecto de la contaminación de pinturas anti-incrustantes en el mar de Mármara. Msida, Malta.

<http://ps.superb.net/icod/PUB.HTM>. Alzieu, C. (1995). Consecuencias para el medio ambiente de TBT. Issy-les-Molineaux, Francia.

# Segundo finalista del Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2003-2004

## DESTRUCCIÓ DEL MAR ARAL I LES SEVES CONSEQÜÈNCIES

Alba Edo Jové

Guillem Sivecas Gubert

### RESUM

Situat a l'Àsia Central, el Mar Aral era considerat fins a meitat del segle passat com el quart llac més gran del món. Als anys seixanta les autoritats soviètiques van decidir reestructurar l'economia agrícola de l'àrea i intensificar les plantacions de cotó. Donat el clima àrid de la regió, la irrigació era obligatòria i es prengueren com a font principal de rec les aigües de l'Aral. Això va suposar un dels desastres ecològics més importants que ha patit la zona.

Ubicado en Asia Central, el Mar Aral era considerado hasta mitad del siglo pasado como el cuarto lago más grande del mundo. En los años sesenta las autoridades soviéticas decidieron reestructurar la economía agrícola del área e intensificar las plantaciones de algodón. Dado el clima árido de la región, la irrigación era obligatoria y se tomaron como fuente principal de regadío las aguas del Aral. Esto supuso una de los desastres ecológicos más importantes que ha sufrido la zona.

### INTRODUCCIÓ

Fins fa poc, els atlas descrivien el Mar d'Aral de l'Àsia Central com el quart llac més gran del món. Alimentat per dos rius importants -l'Amu Darya al sud i el Syr Darya al nord, tal i com s'observa a la Figura 1- abastava una superfície de 66.000 Km<sup>2</sup>. Amb un volum total calculat amb més de 1.000 Km<sup>3</sup>. Les seves aigües proporcionaven una pesca anual de 40.000 tones, i els deltes dels seus principals tributaris allotjaven desenes de llacs menors i pantans amb una gran varietat biològica, així com una superfície de 65.000 hectàrees de terres humides.

Un estudi recent de Foment de rec en 15 països de la Unió Soviètica (Direcció de Foment de Terres i Aigües del Departament d'Agricultura de la FAO) documenta com el mar d'Aral es convertí en un desastre ecològic i com es podria evitar un major deteriorament, tot i que mai es podrà recuperar completament.

### OBJECTIUS

L'objectiu d'aquest treball és analitzar les devastadores conseqüències de l'explotació de les aigües de l'Aral, explicar quina és la situació actual i veure si hi ha possibilitats d'estabilització o recuperació del llac.

### CANVI EN L'EXPLOTACIÓ AGRÍCOLA I DESENCADENAMENT DEL PROBLEMA

Als anys 60, els encarregats de la planificació assignaren a l'Àsia Central la funció proveidora de matèries primeres, sobretot de cotó. Donat el clima àrid de la regió, la irrigació era obligatòria i el mar d'Aral i els seus tributaris semblaven una font inesgotable. El foment del rec a la part soviètica de la conca del mar d'Aral fou espectacular, es passà d'una superfície de 4500 milions d'hectàrees a gairebé 7 milions d'hectàrees el 1980. La població local augmentà ràpidament, va passar de 14 milions a gairebé 27 milions en el mateix període, i el total d'aigua extreta gairebé es va duplicar a 120 Km<sup>3</sup>, dels quals el 90% es destinaven a l'agricultura.

La conseqüència va ser el que els experts en recursos hídrics anomenen "alteració del balanç hídric predominant" en la conca de l'Aral. També es van explotar en excés diversos tributaris menors, fins que deixaren de contribuir directament les corrents dels dos rius esmentats anteriorment. La baixa eficiència del reg, per la falta de recobriment dels canals i els deficients sistemes de drenatge, produí greus inundacions i salinitat dels sòls, que van arribar a afectar el 40% de les terres irrigades. L'excés d'aplicació de plaguicides i fertilitzants contaminà les aigües superficials i els mantells freàtics, i els ecosistemes dels deltes senzillament van morir. El 1990 més del 95% dels pantans i terres humides s'havien convertit en deserts i més del 50 llacs dels deltes, amb una superfície de 60.000 hectàrees, s'havien assecat.



Figure 1. Mapa de la regió.

## DESERTIFICACIÓ I CANVI CLIMÀTIC

El mar d'Aral també s'està assecant, el seu nivell ha disminuït de 53 metres sobre el nivell del mar fins a 36, la seva superfície s'ha reduït a la meitat i el seu volum tres quartes parts. Avui en dia, aquest llac sobreviu en tres seccions: el mar Menor, o del Nord, a Kazajstan, el mar Central i l'Occidental, situats gairebé del tot a Uzbekistan.

El contingut mineral de les aigües de l'Aral s'ha quadruplicat a 40 g/l, el que impedeix sobreviure-hi a la major part de les varietats de peixos i fauna silvestre locals. El 1982 es va deixar de practicar tota pesca comercial, la captura actualment és insignificant i comunitats senceres de pescadors es troben a l'atur. Les antigues viles i poblacions riberenques es troben en l'actualitat a 70 Km de la vora del llac. La part que ha quedat descoberta de la llera del llac està composta sobretot per grans extensions de sal, i el vent s'emporta una quantitat estimada d'entre 15 i 75 milions de tones anuals d'aquesta sorra i pols, contaminats de plaguicides, a distàncies de fins 250 Km.

L'estudi de la Direcció de Foment de Terres i Aigües afirma que la disminució de la superfície del mar d'Aral ha modificat el clima circumdant, ara més continental, amb estius més breus i calents, sense pluja, i hiverns més prolongats, més freds i sense neu. El període de creixement dels cultius s'ha reduït a una mitjana de 170 dies l'any, mentre que tempestes de pols es produeixen més de 90 dies per any.

Les comunitats afronten greus problemes de salut. A Karakalpakstan, l'aigua potable és salina i està contaminada, amb un alt contingut de metall -com estronci, zinc i manganès- que provoquen malalties com l'anèmia. Els últims 15 anys la bronquitis crònica ha augmentat el 3.000%, talment com les malalties de ronyons i fetge, especialment el càncer, mentre que les artritis han augmentat un 6.000%. No resulta sorprenent que la mortalitat infantil sigui una de les més elevades del món.

## LA HIDROLOGIA REGIONAL

Ja des de 1982 el govern tractà d'elaborar un model d'aprofitament de recursos hídrics per les conques dels rius Syr Darya i Amu Darya, i fixà estrictes límits d'explotació de l'aigua. Poc després es van formar dues organitzacions d'explotació dels recursos hídrics de la conca per l'administració i manteniment de la principal infraestructura hidràulica i supervisar el consum de l'aigua. Al finalitzar el període soviètic, 5 nous estats independents de l'Àsia Central establiren una comissió mixta de coordinació dels recursos hídrics per regular la distribució d'aigua a la conca i consolidar la posició dels diferents països per adoptar una política hidrològica regional. Nombroses organitzacions internacionals i organismes bilaterals estan col·laborant en la preparació de l'esmentada política, i s'estan realitzant estudis regionals i projectes experimentals per traçar un nou plantejament d'explotació de l'aigua, a més d'haver-se establert el Fons Internacional per al Mar d'Aral i el Consell Interestatal del Problema del Mar d'Aral, per coordinar regionalment aquestes iniciatives.

Però, ¿què s'està fent actualment per salvar o impedir que el Mar d'Aral segueixi degradant-se? Entre les propostes que s'estan estudiant actualment hi ha la transferència del mar Caspi al Mar d'Aral. Es preveu i en part s'està portant a terme- aprofitar millor l'aigua de drenatge i les aigües residuals de l'agricultura i introduir cultius més tolerants a les sals. Novament s'estan utilitzant més de 6 Km<sup>3</sup> d'aigües agrícoles de drenatge i residuals directament de rec i 37 Km<sup>3</sup> anuals tornen a les depressions naturals o als rius, on es barregen amb aigua dolça i es poden utilitzar de nou per rec i per altres finalitats.

Encara que aquestes mesures de millora han permès seguir fomentant la irrigació, es consideren insostenibles. Les cinc repúbliques de l'Àsia Central han decidit concentrar-se ara en la gestió de la demanda amb el propòsit de reduir l'explotació hídrica per hectàrea i elevar l'eficiència global de la irrigació, el que suposa rehabilitar els canals i recobrir-los per reduir la filtració i reglamentar el seu ús per programar millor el rec. L'objectiu principal segueix sent satisfer la demanda d'aigua de l'agricultura i, en vista de la limitació del finançament disponible, les mesures s'aplicaran gradualment i dependrà en gran part de l'ajuda internacional.

Molts països han establert quotes al consum d'aigua i multes per excés de consum hídric per l'agricultura, i han deixat als agricultors la responsabilitat de decidir quins cultius han de produir-se en els sistemes de rec. Conseqüentment, els cultius que més irrigació exigeixen, l'arròs al Kazajstan i el cotó a Turkmenistan i Uzbekistan, s'han substituït parcialment per altres que consumeixen menys aigua. Aquests canvis poden contenir la reducció d'aigua, però fan més difícil planificar i supervisar la distribució de recursos hídrics.

## PROSPECTIVES

Des de 1990 s'ha avançat molt. La reducció total de l'aigua a la conca s'ha estabilitzat al voltant de 110 – 112 km<sup>3</sup> per any (el 1965 eren 65). Amb tot, és necessari encara millorar aquesta situació per satisfer la demanda cada vegada més gran dels nous usuaris de recursos hídrics.

S'ha calculat que per restablir l'altura sobre el nivell del mar a 53 metres (la que tenia el 1960) caldria com a mínim l'aportació de 73 km<sup>3</sup> anuals d'aigua durant més de 20 anys. Els governs dels països riberencs ho consideren un "objectiu no realista". Altres opcions més factibles inclouen l'estabilització del llac al seu nivell del 1990 (38 metres), amb una aportació total d'aproximadament 35 km<sup>3</sup> per any. Tot i així, això no posaria punt i final a la degradació ambiental ni a la desertificació del fons lacustre que ha quedat a la intempèrie. Existeix una altra proposta de restablir la secció del nord del llac amb una alçada d'entre 38 i 40 metres sobre el nivell del mar, pel que fa falta descarregar com a mínim entre 6 i 8 km<sup>3</sup> a aquesta part del Mar d'Aral durant els propers cinc anys.

El delta de l'Amu Darya i a la part occidental del llac es produeixen efectes prometedors. Des del 1989, un projecte d'Uzbekistan ha vingut utilitzant un sistema col·lector de drenatge per portar més aigua al delta. Aquestes aigües, combinades amb l'aigua dolça, omplen els llacs poc profunds i han permès restablir-se a la flora i a la fauna silvestres a les zones que havien abandonat, a més que d'aquesta manera s'atura l'erosió de la llera lacustre que havia quedat a la intempèrie. Una altra conseqüència d'aquest projecte ha estat l'augment de pesca anual, que al 1993 va ser de 5 tones, en comparació amb les 2000 tones del 1988.

## CONCLUSIONS

1. L'abús en l'explotació dels recursos hídrics va dur a la desertificació del Mar Aral.
2. El mar ha reculat de 56 a 36 metres per sobre el nivell del mar
3. El contingut mineral de l'aigua s'ha quadruplicat.
4. El canvi que en termes econòmics només havia d'afectar a l'agricultura ha acabat repercutint en altres sectors com el de la pesca que ha vist disminuir la seva activitat fins a desaparèixer.
5. La contaminació de l'aigua ha tingut conseqüències no només a la fauna i la flora sinó també en la salut dels habitants de la zona: l'abocament de plaguicides així com l'augment considerable de metalls de l'aigua (estronci, zinc i manganès) ha provocat que l'índex de malalties es dipari especialment les relacionades amb el fetge i els ronyons.
6. Malgrat la reducció total d'aigua es troba estabilitzada, és necessari emprendre accions per millorar la situació de l'Aral, ja que degut a les perspectives de millora de la zona, a poc a poc es reprendrà l'activitat econòmica i aquesta activitat

demandarà nous recursos hídrics que ara com ara són insostenibles.

7. La substitució parcial de les agricultures com l'arròs i el cotó que suposen una gran demanda d'aigua per altres que en requereixen menys, ajuda a posar en marxa la millora esmentada, tot i així fa més difícil el control i la planificació de la distribució de recursos hídrics.
8. S'han establert plans de coordinació de recursos hídrics per part dels cinc nous estats independents formats després del període soviètic
9. S'han establert quotes pel consum d'aigua i multes per la sobreexplotació dels recursos hídrics.

## RECOMANACIONS

Com que els recursos hídrics de la conca ara són relativament estables, o disminueixen lleugerament pel canvi climàtic, fa falta prendre mesures per salvar tota l'aigua addicional que arriba a l'Aral del consum actual del riu aigües amunt. L'estudi del DA de la FAO afirma que es necessita un gran programa per reduir la pèrdua del líquid en els rius i canals. Cal dotar a aquests de recobriments i automatitzar la distribució de l'aigua, impedir l'expansió del reg i generalitzar la microirrigació i altres tècniques d'estalvi d'aigua a les zones actualment irrigades, reorientar directament al llac l'aigua de drenatge i la que es filtra dels dipòsits i els canals. També cal tornar la fracció d'aigües no consumides desviades als sistemes de reg. Segons el Banc Mundial, la introducció de programes d'aprofitament hídric també contribuirien a economitjar recursos hídrics.

## PROPOSTA DE REDISTRIBUCIÓ TERRITORIAL

Els problemes de la qualitat de l'aigua augmenten de riu amunt a riu avall per l'augment de salinitat i del contingut de plaguicides de la corrent que alimenta el llac i pel mal estat de les plantes de tractament d'aigües de la conca. Establir normes de qualitat de l'aigua i acatar-les podria repercutir notablement en la quantitat d'aigua considerada disponible pel consum. Llavors es podria introduir un impost per "contaminació".

Els països d'aigües amunt del riu, si estiguessin segurs que l'aigua realment es dirigiria al Mar d'Aral, estarien disposats a alliberar més aigua, conclou l'estudi. Una mesura important en el futur seria considerar el Mar d'Aral i els dos deltes com un "sisè Estat", i correspondria a les cinc repúbliques de l'Àsia Central assignar la distribució del líquid. En la ronda de discussions entre aquests països, s'ha proposat una xifra de 20 km<sup>3</sup> anuals en els anys de pluges normals per satisfer aquesta demanda ecològica d'aigua, reduïda a 12 km<sup>3</sup> anuals l'any sec que es presenta decaualment.

Totes aquestes opcions i solucions s'han estudiat com part de la política regional d'aprofitament de l'aigua que, tot i així, competeix només als països de l'antiga Unió Soviètica. En una etapa posterior, s'incorporaria

Afganistan –en el territori del qual hi ha prop del 12% de la conca del Mar d’Aral- per assegurar l’aprofitament sostenible dels recursos hídrics.

## REFERÈNCIES

AQUASTAT, (1997) Irrigation Development in Countries of the Former Soviet Union. A càrrec de la Direcció de Foment de Terres i Aigües del Departament d’Agricultura de la FAO.  
<http://www.fao.org/ag/aGL/AGLW/aquastat/reports/index2.stm>

# Tercer finalista del Premio Marcel Brú i Turull de Ingeniería Ambiental, curso 2003-2004

## APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS GRISES EN EL INODORO

Albert Herrero Casas

Javi Ortigosa Marín

### RESUMEN

El aprovechamiento del agua es una de las actuaciones englobadas dentro de una actitud respetuosa hacia el medio ambiente. Dado que el problema ambiental es de una importancia creciente en la actualidad, queremos proponer un sistema que permita aprovechar el agua de la pila del lavabo para llenar la cisterna del inodoro.

L'aprofitament de l'aigua és una de les actuacions englobades dintre d'una actitud respectuosa envers el medi ambient. Donat que el problema ambiental és d'una importància creixent a l'actualitat, volem proposar un sistema que permeti aprofitar l'aigua de la pica del lavabo per omplir la cisterna de l'inodor.

### INTRODUCCIÓN

El agua es indispensable para nuestra vida, ya que la utilizamos no sólo para beber sino para lavarnos, limpiar,... A medida que ha aumentado la calidad de vida en nuestro país ha ido subiendo el gasto de agua, lo que nos ha hecho darnos cuenta que es un recurso escaso.

Una política ahorradora de agua, como la que ha seguido la ciudad de Zaragoza en los últimos años, permite reducir el consumo. Aun así gastamos mucho agua potable para usos que no lo requerirían, por ejemplo fregar, lavar, usar el inodoro... En algunos países ya hay casas con instalaciones que aprovechan el agua de la lluvia o que poseen un doble circuito para dar un uso a esta agua reutilizable. Además en algunas poblaciones costeras se diferencia agua de consumo con otra no del todo desalada para otros usos.

Creemos que instalar un sistema de los anteriores supone un coste importante. Por este motivo en nuestro trabajo proponemos una pequeña solución al aprovechamiento de este tipo de aguas fácilmente instalable y que no costaría mucho dinero, basado en conectar el desagüe de la pila del lavabo con la cisterna del inodoro. Este sistema nos permitiría ahorrar parte del consumo de agua de las cisternas

de los inodoros, que es bastante importante, utilizando el agua que gastamos al usar la pila del lavabo. En nuestro trabajo nos dedicaremos a comentar el funcionamiento del sistema, sus ventajas y sus inconvenientes.

### FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

A continuación describimos el funcionamiento del dispositivo que proponemos. Empezaremos por exponer la idea más simple del mecanismo y después iremos añadiendo complementos que solucionen o minimicen los problemas con que nos encontremos, aunque su aplicación aumentaría el coste del producto.

#### Mecanismo Base

El aparato se basa esencialmente en una conexión entre la pila del lavabo y la cisterna, de forma y manera que toda el agua que sale por pila llene la cisterna. En este modelo no tendremos otro tipo de aportación de agua.

La conexión entre la pila y la cisterna será mediante una tubería inclinada de unos 4-5 cm de diámetro que irá desde el desagüe de la pila hasta un extremo superior de la cisterna. Normalmente la distancia entre el inodoro y la pila no excede los 50 cm por tanto con un desnivel de unos 2 cm bastará para que baje con fluidez.

El principal problema de esta conexión es que en la mayoría de casos la parte superior de la cisterna está más alta que el desagüe de la pila. Pensamos que la mejor solución consiste en subir ligeramente la pila (unos 5 cm) e instalar una cisterna con menos altura y más anchura que las usuales.

La cisterna tiene una capacidad de unos 8 litros y sus dimensiones son aproximadamente de 12 cm de profundidad, 25 cm de alto y 30 cm de ancho. Las figuras 1 y 2 muestran las dimensiones aproximadas del lavabo y el esquema de la cisterna. Por un extremo superior de la cisterna llega la tubería procedente de la pila. Como todo el agua proviene

del grifo no necesitaremos el sistema que hay en los inodoros actuales. Para los casos en que se llene demasiado el depósito, en el extremo opuesto de la cisterna instalamos un conducto para que rebose el agua sobrante, que vierte directamente en el water.

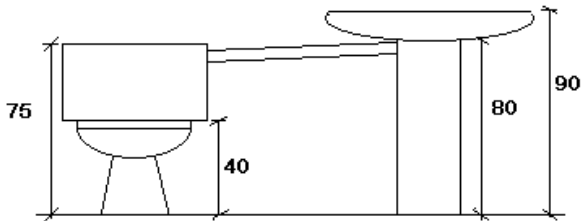


Figura 1. Situación del inodoro y la pila (Cotas en cm).

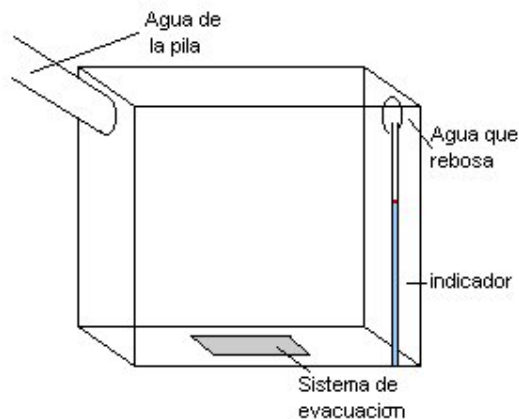


Figura 2. Esquema de la cisterna.

A un lado de la cisterna colocamos un tubo transparente conectado al fondo de la cisterna y dentro introducimos una pequeña bola de color que flote. De esta forma sabremos en cada momento el nivel de agua de la cisterna.

El último elemento de la cisterna que nos queda por describir es el botón que nos permitirá evacuar el agua de la cisterna a la taza. Nos parece que la forma de ahorrar la máxima cantidad de agua es mediante un botón que sólo deje salir agua mientras está apretado ya que no siempre que se tira de la cadena se necesita la misma cantidad de agua y de esta forma se puede adaptar mejor el gasto a las necesidades.

### Ventajas e Inconvenientes

La principal ventaja de este sistema es el ahorro de agua que supone en la vida cotidiana de los usuarios. Constituye una manera más de adoptar una postura ecológica y respetuosa con el medio ambiente.

Este sistema presenta alguna otra ventaja, como representa el hecho de que muchas veces el agua que llegue al water procedente de la pila estará provista de jabones que inhibirán la generación de

malos olores en el inodoro y ayudarán a mantener más limpio el inodoro, reduciendo de esa forma el gasto de productos de limpieza, disminuyendo de esa forma el vertido de fosfatos al medio.

Consideramos también la posibilidad colocar una tapa en la superficie superior de la cisterna, que se pueda abrir para verter dentro agua procedente de otros usos y que todavía pueda ser reutilizada. El ejemplo más claro lo encontramos en el agua que hayamos utilizado para fregar. En lugar de echarla directamente al water como solemos hacer actualmente, podemos rellenar la cisterna con ella para poder utilizarla cuando realmente sea necesaria.

El principal problema de este sistema hace referencia a la comodidad del usuario. Habrá momentos en los que éste se encuentre con que le hace falta más agua en la cisterna de la que hay en ese momento. En tal caso deberá abrir el grifo de la pila hasta que el nivel de agua en la cisterna sea suficiente para sus necesidades. Esto se puede traducir en tener que lavarse las manos antes de tirar de la cadena, aunque puede que ni siquiera así el agua disponible sea suficiente y entonces sí que el usuario tendrá que esperarse unos instantes con el grifo abierto. Esto supone una pequeña incomodidad de espera que debería estar contrarrestada por la buena conciencia del acto de beneficio para el medio ambiente que estamos realizando pero no obstante, propondremos algunos mecanismos adicionales que solucionen este problema a costa de aumentar un poco la complejidad del sistema.

Otro posible problema es la acumulación de los residuos que acompañan al agua que desagua por la pila en la cisterna, como pueden ser pelos, jabón, pasta de dientes... Se tienen que tomar medidas para evitar que ninguno de ellos dañe algún componente del sistema. Para ello por ejemplo, dotaremos de un pequeño filtro al tubo del indicador del nivel del agua. Además sería conveniente limpiar la cisterna periódicamente. Para facilitar dicha tarea, la parte superior de la cisterna sería fácilmente extraíble.

### Alternativas

Tal y como hemos remarcado en el apartado anterior, el hecho de quedarse sin agua resulta bastante incómodo. Por este motivo vamos a analizar una serie de sistemas que puedan mejorar este aspecto. De todas formas hay que tener en cuenta que conforme vayamos mejorando el sistema tecnológicamente, también subirá el precio total.

La primera opción es la de instalar una válvula controlada por un temporizador de forma que al activarlo por medio de un botón, se abra la válvula dejando pasar una cierta cantidad de agua. De esta forma cuando algún usuario lo crea necesario podrá accionar el temporizador y al siguiente usuario no le faltará agua. Sin embargo, si se acciona el botón cuando la cisterna no está suficientemente vacía se perderá agua por el rebosadero. No obstante, si se va con cuidado y se seleccionan bien las veces en que se utiliza el temporizador, estas pérdidas serán mínimas.



En segundo lugar se podría considerar la posibilidad de incorporar un sistema igual que el de los inodoros actuales pero con un mecanismo que lo mantenga bloqueado y que cuando lo necesitemos lo podamos desbloquear. Nuestra propuesta es una barra pequeña que no deje bajar la boya que regula el flujo de agua, al sacarla bajaría la boya y se llenaría la cisterna, pero entonces la barra volvería a bloquearla.

## USO DEL APARATO

En este apartado estudiaremos la aplicación del aparato en la práctica y analizaremos su viabilidad. Primero haremos una serie de hipótesis desde el punto de vista teórico y posteriormente incorporaremos un estudio práctico que hemos realizado, para comprobar la veracidad de nuestras hipótesis.

La viabilidad de este sistema dependerá fundamentalmente de la relación entre las veces que se utiliza la pila del lavabo y las veces que se tira de la cadena.

Parece lógico considerar que cada vez que se tira de la cadena, la pila va a ser utilizada a continuación. Además se gastará agua de la pila cuando nos lavemos los dientes, cosa que ocurrirá como media dos veces al día, y cuando nos lavemos la cara. Estimamos que cada habitante de la casa puede usar la cadena aproximadamente 4 veces al día, por tanto creemos que la pila será utilizada el doble de veces que la cisterna.

Hemos realizado diferentes pruebas de gasto en los distintos usos de la pila, llegando a la conclusión de que en un lavado de manos normal se gastan unos 2 litros de agua y en otros usos (dientes, cara,...) tomamos también 2 litros de media. Por otra parte hemos considerado que para aguas menores se utilicen 3 litros de la cisterna (que equivaldría a una lavado de manos abundante) mientras que para

aguas mayores se utilice la cisterna entera, de 8 litros de capacidad (aproximadamente 3 lavados de manos). De todas formas hay que tener en cuenta que usaremos más veces la cisterna para aguas menores.

Haciendo un balance entre el agua que sale de la pila y la que gastamos en el inodoro vemos que los volúmenes de agua son parecidos, aunque eso no quiere decir que la cisterna nunca se vaya a quedar sin agua, porque la ordenación en el tiempo de esos usos hará que unas veces haya demasiada agua en la cisterna y por tanto rebosará mientras que otras veces puede faltar agua. Por ejemplo, la primera situación se podría dar cuando todos los miembros de la casa fuesen a lavarse las manos de forma consecutiva sin que nadie utilizase el inodoro en ese intervalo de tiempo, cosa que puede pasar antes de una comida. Podría haber falta de agua en la cisterna en los casos en que dos personas utilizasen el inodoro una detrás de otra y ambas necesitasen la totalidad de la cisterna.

Partiendo de la base que nos lavamos siempre las manos después de utilizar el inodoro, si esto lo hacemos antes de tirar la cadena, en el peor de los casos tendremos que llenar 4-5 litros de agua exterior. Si por el contrario preferimos lavarnos las manos después de usar la cisterna, el resultado sería igual siempre y cuando todo el mundo hiciera lo mismo.

Hemos creído oportuno llevar a cabo un estudio para ver si las hipótesis que hemos hecho son ciertas o no. Vivimos en un piso de cuatro estudiantes y durante dos semanas hemos hecho un recuento del número de usos de la cisterna y del número de usos de la pila cada día, tal como se aprecia en la Tabla 1. Además, hemos diferenciado entre el uso de la cisterna para aguas menores y para aguas mayores, ya que esta especificación es importante para realizar correctamente el balance de agua que sale tanto de la pila como de la cisterna.

Tabla 1. Número de veces que realizamos las acciones en un día.

Lavabo 1				Lavabo 2			
Lavado manos	Otros usos pila	Aguas menores	Aguas mayores	Lavado manos	Otros usos pila	Aguas menores	Aguas mayores
7	10	7	1	6	4	4	3
8	6	6	2	6	5	4	3
10	6	7	2	5	4	3	2
9	7	5	1	7	6	5	2
6	6	4	3	7	5	5	2
7	5	5	3	6	4	4	1
8	7	6	3	7	5	6	2
8	7	5	2	8	4	5	2
9	6	4	2	9	5	5	3
8	5	4	1	8	5	4	3

Tabla 2. Valores medios del anterior análisis.

Lavabo 1				Lavabo 2			
Lavado manos	Otros usos pila	Aguas menores	Aguas mayores	Lavado manos	Otros usos pila	Aguas menores	Aguas mayores
8	6,5	5,3	2	6,9	4,7	4,5	2,3

Tal como podemos apreciar en la Tabla 2, el número de usos de la pila en media es aproximadamente el doble que el de la cisterna, como habíamos previsto. De todas formas no podemos basarnos sólo en la media, porque el funcionamiento debe ser diario y la proporción varía considerablemente si miramos diferentes días. Nos sirve para tener una visión global del balance de agua en el sistema pero no quiere decir que no nos vayamos a encontrar con periodos concretos en que utilicemos más la cisterna que la pila y nos encontremos por tanto con falta de agua. De estas observaciones se desprende también que el número de veces en que se necesitará un uso parcial de la cisterna es mayor que el de los casos en que se requerirá de toda ella.

En algunos días el lavado de manos no iguala al de usos de la cisterna, cosa que queremos creer que podría ser un descuido a la hora de apuntar.

También podemos observar que en el lavabo 1 hay quizá más actividad que en el 2, eso puede ser debido a que el 2 está más alejado del comedor y de la entrada.

## CONCLUSIONES

1. El sistema propuesto en este trabajo es aplicable a muchos lavabos de una forma bastante sencilla y barata.
2. El sistema tiene un inconveniente relacionado con la pequeña incomodidad que supone su funcionamiento, pero puede ser solucionado sofisticando un poco más el dispositivo.
3. Suponiendo que todo el mundo utilizara este sistema estimamos a partir de los resultados de la Tabla 1 y de la Tabla 2, que se podrían ahorrar unos 25 litros por persona y día.

## BIBLIOGRAFÍA

No hemos encontrado estudios sobre aparatos similares que hayan sido realizados anteriormente. De igual forma en Internet se pueden hallar sistemas con finalidades de ahorro de agua pero que no tienen nada que ver con el aquí propuesto.