INTRODUCCION

En el último siglo, la demanda de agua en el mundo ha crecido un 600 %, el aumento de la población con el consiguiente aumento de los cultivos para su alimentación y el desarrollo industrial han sido los responsables de este crecimiento. El acceso al agua limpia y la capacidad de aprovechamiento como recurso productivo ha condicionado el progreso humano. Es necesario un cambio radical en la manera de pensar y actuar, tanto por parte de los gestores como de los usuarios del agua. No superar el ritmo de regeneración natural de los recursos y contribuir al desarrollo sostenible es el objetivo.

Todo lo anterior nos lleva a la **reutilización** del agua, entendida como el uso de unas aguas previamente utilizadas, como fuente alternativa de recurso. El proceso de tratamiento necesario para que un agua depurada pueda ser reutilizada se denomina generalmente *regeneración* y el resultado de este proceso *agua regenerada*. De acuerdo con su resultado etimológico, la regeneración de un agua consiste en devolverle, parcial o totalmente, el nivel de calidad de que tenía antes de ser usada.

Las fuentes de abastecimiento tradicionales están resultando insuficientes, incluso en territorios con recursos hídricos, por lo tanto las aguas regeneradas se configuran como una fuente alternativa de abastecimiento, económica y segura desde el punto de vista sanitario y ambiental.

En nuestro país, no estaba legalmente permitido, el uso del agua regenerada hasta la publicación del Real Decreto 1620/2007, considerándola peligrosa hasta para regar, excepto pequeñas aplicaciones pioneras anteriores consideradas no regladas.

El desarrollo actual de la tecnología de regeneración permite obtener efluentes de agua regenerada de diversas cualidades, incluso hasta un nivel más alto que la del agua potable. La viabilidad técnico –económica de regenerar y reutilizar aguas regeneradas ha sido analizada en profundidad en varios estudios universitarios por medio de tesis doctorales.

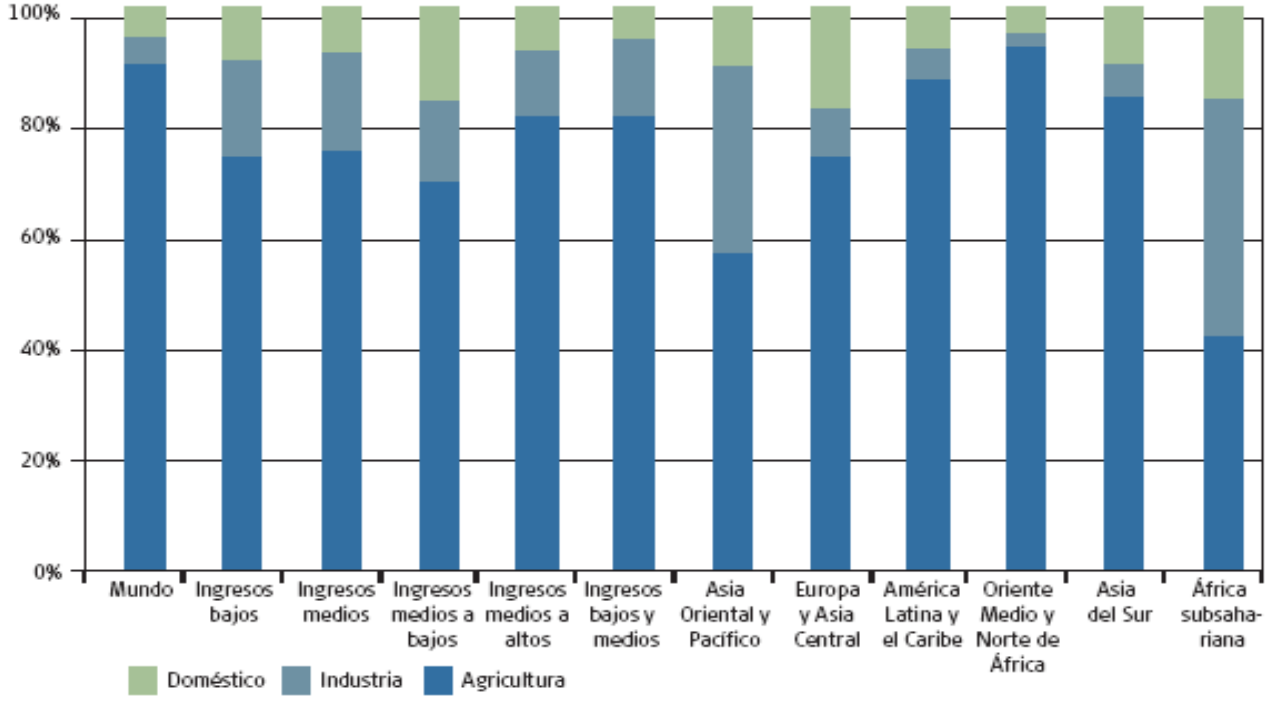
Los “otros usos” que se vienen empleando son:

- Usos urbanos (riego jardines públicos, limpieza de calles, agua contra incendios....)
- Usos medioambientales (caudales ecológicos, zonas húmedas,.....)
- Agua contra incendios forestal
- Usos recreativos (campos de golf, parques temáticos.....)
- **Usos industriales y generación de energía eléctrica**
- Recarga de acuíferos, protección intrusión salina en acuíferos deltaicos

Cuando el agua regenerada alcanza una calidad análoga a potable, esta reutilización se subdivide en indirecta, cuando el agua regenerada es mezclada con otra agua natural, es el caso de la infiltración o inyección en un acuífero natural del cual se extraerá agua con calidad prepotable tipo A1, y de reutilización directa, cuando introducimos el agua regenerada en la red de distribución de agua potable (restringido según art. 4 punto 4 del RD).

El debate sobre el futuro de la regeneración y de los procesos de regeneración está centrado en usos para riego, otros usos y la reutilizacion indirecta para aguas potables.

Figura 8.3: El uso industrial del agua frente a los usos doméstico y agrícola



Fuente: II informe de las Naciones Unidas 2006

DIAGNOSIS DE USOS INDUSTRIALES Y GENERACIÓN DE ENERGÍA

Antecedentes

El agua es un elemento común en los procesos y transformaciones industriales. Es tan importante que a veces ha sido factor limitante en el desarrollo económico de las actividades fabriles y, en consecuencia, en la ordenación territorial. También se considera primordial su uso para refrigeración en las centrales de generación de energía eléctrica en cuanto al uso de combustibles fósiles y nucleares.

Hay dos aspectos básicos que se asocian a la utilización de agua. Uno es puramente cuantitativo, como son los grandes caudales de agua consumidos por determinados sectores de la industria. El otro aspecto es de carácter cualitativo y hace referencia a los requisitos para su óptima utilización.

A medida que la escasez de recursos se ha ido agudizando, por el imparable crecimiento de las demandas urbanas de agua por el incremento de la población, se inició en general un proceso de sobreexplotación de aguas subterráneas, -fuente principal de abastecimiento industrial atendiendo que la gran industria se encuentra muchas veces inmersa en las grandes conurbaciones urbanas-, y que como fuente de abastecimiento en épocas recientes, parecía inagotable y a un coste ridículo.

La caída de los consumos de agua industriales de los últimos años tiene su causa principal en la caída del sector industrial, con cierres, reconversiones de empresas, deslocalización y disminución de la implantación de nuevas industrias. A ello hay que sumar, por otro lado, la incidencia importante de un incremento en el ahorro del uso de agua (reciclaje y reprocesado) propiciado por los problemas de escasez-calidad-costo.

A nivel sectorial destacan como grandes centros consumidores, los complejos petroquímicos, dotados en cabecera de una refinería de petróleo. Dichos complejos (excepto Puertollano i en un futuro la anunciada refinería de Extremadura) se encuentran ubicados en zonas litorales, con escasos recursos hídricos.

Otros sectores consumidores son los de la química básica inorgánica, ennoblecimiento textil, curtición de piel, industria alimentaria con todos sus subsectores (cárnica, láctea, bebidas refrescantes y alcohólicas, conservas, zumos de frutas, ect. y la industria papelera (fabricación de pasta y papel).

Procedencia de los recursos

En general, puede decirse que sólo las industrias de baja demanda llegan a suministrarse totalmente de las redes urbanas; por el contrario, las grandes consumidoras utilizan las redes de forma parcial y para funciones que exigen calidad de uso potable, como la industria alimentaria, motivado por el incremento de las tarifas de suministro frente a los costes de captación directa.

Sólo las cuencas altas de los ríos y con menos frecuencia las medias, la industria llega a suministrarse parcial o totalmente de forma directa de aguas superficiales. En los tramos bajos de las cuencas la calidad del agua superficial y la escasa regulación existente, conjuntamente con la existencia de acuíferos aluviales o deltaicos importantes, hacen que el suministro se realice básicamente mediante captaciones subterráneas para beneficiarse del filtrado y de la capacidad de regulación del acuífero.

El agua, condicionante de la localización industrial

A la hora de planificar y decidir una inversión industrial y su emplazamiento el agua constituye un factor esencial de la decisión, hasta el punto de que si se halla disponible, es un recurso en general, sin gran repercusión de costes, pero su escasez o mala calidad en un área puede desde ser un limitador a condicionante de la elección del propio proceso productivo hasta urgir a un cambio de emplazamiento. En ambos casos se produce, y desde su inicio, un ajuste del volumen utilizado al que le imponen las condiciones de disponibilidad, calidad y precio.

El ahorro del agua en la industria

La repercusión de los costes del agua de suministro sobre los costes totales de producción se puede estimar entre el 0,5 y el 6%. La preocupación por los costes es patente en todos los sectores industriales y sobretodo en aquellas zonas en donde el incremento progresivo del coste del acondicionamiento de agua o bien la necesidad de complementar las captaciones propias mediante conexión a redes urbanas o suministro de terceros – con costes muy superiores del agua- ha creado una concienciación hacia el ahorro del recurso.

El uso y reciclaje del agua en la industria

El agua interviene dentro de la factoría industrial de forma muy dispersa en función del producto final elaborado y del sistema de fabricación adoptado para su obtención.

Para simplificar se han distinguido cinco tipos de funciones del agua en las plantas industriales: *agua de proceso, producción de vapor, refrigeración, limpieza y consumo humano.*

Predomina la función *refrigeración* en los siguientes sectores: refino de petróleo, petroquímica, química básica, polimerización de plásticos i cauchos, en los que de forma casi generalizada cobra también el uso del agua para *la producción de vapor* y *proceso*, la industria alimentaria, con caudales también importantes para el agua de *proceso* y de *limpieza*, vidrio y gran parte de los transformados metálicos.

Con mayor peso del agua de *proceso* están los siguientes sectores: fabricación de pasta de papel, papel y cartón, acabados textiles, curtidos, conglomerantes y prefabricados de hormigón.

Cabe destacar el peso relativo importante del agua de *limpieza* en los siguientes sectores: lácteos, cervezas y refrescos, industrias de licores y vinícolas, cárnicas, químicas.

Finalmente el peso del agua para *uso humano* es bajo, con mayor importancia, lógicamente en las actividades de baja demanda.

La implantación de circuitos cerrados para las torres de refrigeración y el reciclaje de las de proceso constituyen los principales sistemas de optimización de recursos hídricos en la industria.

Las tecnologías basadas en el uso de membranas para la regeneración de aguas, abren un campo muy extenso en todas sus variantes, que van desde la micro filtración hasta la ósmosis inversa para reciclar agua usada y productos hasta ahora contemplados como efluentes residuales.

La utilización de membranas en las aguas usadas persigue alguno de los tres objetivos siguiente:

- Concentrar la contaminación en un reducido volumen
- Recuperar productos de alto valor económico
- Recircular agua usada.

Es importante señalar que las membranas no destruyen la contaminación, sino que permiten concentrarla en un pequeño volumen. Este concentrado a veces puede reutilizarse de nuevo, pero la finalidad que aquí nos ocupa es el aprovechamiento interno del agua como reciclaje.

La diferenciación entre los caudales brutos o de reutilización y los caudales de suministro, viene representada por el ratio de reciclaje. Este, se ha definido como el cociente entre ambos caudales, pudiendo interpretarse, grosso modo, como el numero de vueltas o de utilizaciones del agua suministrada dentro de la planta.

La futura demanda industrial

No cabe esperar que el aporte de nuevos recursos de agua a las áreas industriales de las cuencas con mayores problemáticas de abastecimiento pueda realizarse a un coste de agua igual al actual; siendo previsible un encarecimiento general en el conjunto de los costes actuales de suministro y vertido.

Por otra parte la industria ha diversificado sus fuentes de suministro, según requiriese una mayor calidad o fuera admisible una mayor tolerancia, conectándose a las redes urbanas o explotando captaciones propias, respectivamente. Así se ha llegado a que numerosas industrias disponen de redes separativas de suministro, como solución a los problemas de calidad/cantidad que tienen planteados.

Las industrias ajustan el volumen de agua que necesitan en función de la calidad y el precio del recurso; es decir, no se producen desfases duraderos entre el uso industrial y la demanda industrial del agua. Sí se pueden producir, en cambio, diferencias de mayor persistencia entre el volumen demandado y el recurso disponible, las cuales originan los déficit que deben ser satisfechos con la asignación de recursos suficientes en cantidad y calidad y con niveles adecuados de garantía y costes.

Mención específica a la refrigeración en industrias y centrales de producción de energía eléctrica

Las centrales de producción de energía eléctrica, al igual que muchos otros procesos industriales, deben ceder al foco frío grandes cantidades de energía en forma de calor. El medio utilizado para esta transferencia es habitualmente el agua en un circuito de refrigeración.

Los circuitos de refrigeración semiabiertos disponen de una torre en la que la mayor parte de agua se enfría gracias al calor latente de vaporización de una pequeña parte, cediendo el sistema calor a la atmósfera que actúa así de foco frío. El agua evaporada se compensa aportando al circuito idéntico volumen de agua nueva.

Como el agua al evaporarse no arrastra consigo las sales disueltas, de persistir esta situación, las sales se irían acumulando en el circuito, llegando un momento en el que las corrosiones y/o precipitaciones serían enormes. Para evitar esta situación se purgan todas las sales que se aportan.

Con el fin de economizar la máxima cantidad de agua posible se concentra el agua del circuito tantas veces como lo permita la composición iónica (conductividad) del agua de aporte y la resistencia a la corrosión de los materiales del circuito.

Viabilidad de la reutilización en circuitos de refrigeración

Este tipo de reuso se viene practicando a escala mundial en numerosos países desde principios de la década de los 90, existiendo una refinería de petróleo en California pionera, desde hace más de 30 años.

Las centrales de generación de energía, las refinerías de petróleo y complejos petroquímicos, y la industria química están siendo las más beneficiadas, no sólo para *aguas de aporte a circuitos de refrigeración*, si no también para satisfacer consumos de *aguas de caldera y de proceso.*

Los circuitos de agua de refrigeración suelen ser los mayores consumidores de agua, totalizando más del 50 % del consumo global. Los avances tecnológicos logrados en los tratamientos de agua permiten utilizar aguas de baja calidad, consiguiéndose controlar con éxito los tres problemas típicos que suelen presentarse en los equipos de estos circuitos: ensuciamientos de origen inorgánico ("scaling"), orgánico ("biofouling") y corrosiones.

Los constituyentes responsables del "scaling" son: calcio, manganeso, sulfatos, alcalinidad, fosfatos y silicatos. De la combinación de estos iones y cationes presentes en las aguas de refrigeración surgen precipitados, en forma de incrustaciones que suelen estar constituidas por: fosfato cálcico (muy común), silicato y sulfato cálcico, (bastante común) y carbonato cálcico(menos común): Todos los constituyentes que potencialmente pueden originar incrustaciones deben controlarse con un tratamiento químico y/o ajustando el ratio de reciclaje.

Características aconsejables de las aguas de reutilizadas para estos usos

Fosfatos: Tal como se ha dicho anteriormente, producen incrustaciones calcáreas por su baja solubilidad y su presencia requiere la necesidad de ajustar el tratamiento químico de los circuitos de refrigeración. Hoy en día, con la nueva generación de aditivos dispersantes, se puede llegar a admitir en el agua circulante concentraciones de hasta 20 ppm. Este parámetro no constituye un gran problema siempre que se mantenga controlada su presencia y se estabilice adecuadamente.

Sólidos en suspensión: Producen ensuciamiento y por ser un nutriente contribuye a incrementar la actividad microbiológica, al formar el biofilm.

Amoníaco: Origina corrosión en las aleaciones de cobre y por ser un nutriente contribuye a incrementar la actividad la actividad microbiológica. Se puede admitir hasta 30 ppm en el agua de aporte controlando la corrosión de cobre y usando sales de bromo como biocida.

DBO residual: Contribuye a incrementar la actividad microbiológica

Dureza: Para evitar que se produzcan incrustaciones calcáreas se suele limitar su presencia en el agua de reciclado en torno a 1500 ppm de $CaCO_3$.

Sulfatos: Se puede admitir hasta 1.800 – 2.000 ppm.

Cloruros: Se suele considerar hasta 3.000 ppm para el acero al carbono y hasta 1300 para el acero inoxidable tipo ferrítico.

Nitratos: Intervienen en la síntesis de proteínas y en consecuencia favorecen el crecimiento de microorganismos, en particular de las algas; su contenido puede incrementar el coste del tratamiento que debe corregirse con biocidas. No tienen ningún

efecto corrosivo, sino más bien pasivante ni incrustante. Las concentraciones máximas admisibles son 25 ppm como NO3 (NALCO) o 100 ppm (BETZ)

Además, según el Real Decreto 1620/2007, las aguas de aporte deben cumplir para calidad 3.2 para usos en torres de refrigeración los siguientes parámetros:

Nematodos intestinales: 1 huevo/10 L

Escherichia Coli: Ausencia UCF/100mL

Sólidos en suspensión: Producen ensuciamiento y contribuye a incrementar la actividad microbiológica, al formar el biofilm. Su contenido se limita a 5mg/L.

Turbidez: 1 NTU para el agua de aporte, no obstante el Real Decreto 865/03 admite un contenido de 15 NTU para el agua del circuito.

Bacterias: El mismo RD limita las bacterias aerobias a 10.000 UCF/ml

Legionella pneumophila: ausencia UCF/L para el agua regenerada de aporte, aunque el RD admite hasta 50 col/L.

Teniendo en cuenta los comentarios expuestos anteriormente, se especifica en la tabla siguiente la calidad estándar para un agua regenerada de aporte a torre de refrigeración:

CONTAMINANTES	concentración
Amoníaco (CS/Aleaciones Cu)	7/0,8 ppm
Fosfatos	3 ppm
DBO	> 4ppm
TOC	15 ppm
DQO	20 ppm
MES	5 ppm
Conductividad	> 2.000 microS/cm
Cloruros (CS/SS)	>350/>175 ppm
Sulfatos	>300 ppm
Dureza	>35 º f
Alcalinidad m	200

Calidad típica para agua de aporte a torre de refrigeración

<u>Hay que tener en cuenta y no confundir el agua de aporte al circuito con el agua contenida en el circuito de reciclo, cuya contaminación va incrementándose al ritmo de los ciclos.</u>

En aguas de captación convencional y normalmente sin acondicionar con pretratamiento, los ciclos de reciclo suelen variar entre 2’5 y 4. Por el contrario, con el tratamiento de regeneración, las aguas pueden alcanzar calidades muy superiores, comportando en consecuencia el aumento de los ciclos de reciclo, siendo en definitiva un incremento de ahorro del consumo adicional ya que reduce el caudal de drenaje del circuito de refrigeración.

AGUAS PROVENIENTES DE FUENTES CONVENCIONALES vs. AGUAS REGENERADAS

Los usos industriales habitualmente necesitan unos tratamientos de acondicionamiento antes de utilizar las aguas provenientes de fuentes convencionales (descalcificación, eliminación de iones y cationes específicos, etc.,) para preparar el recurso a las necesidades específicas, digamos el uso industrial necesita un agua " a la carta" en contra de otras reutilizaciones que pueden acomodarse "a un menú para todos" como el caso de riegos públicos, campos de golf, etc.).

Esta singularidad hace que los tratamientos de regeneración puedan y deban cumplir las doble función de obtener un agua de calidad similar a la de abastecimiento convencional, con el plus necesario por su especificidad; esta notoriedad hace que los tratamientos de regeneración no sean blandos y sencillos, sino que condicionan el uso de membranas (parcial o totalmente). Sólo de esta forma las propuestas de cambio del recurso pueden prosperar, haciendo ver al industrial que se le esta sirviendo un agua de mejor calidad y adecuada perfectamente a su uso, evitándoles sus pretratamientos previos, con la eliminación de procesos de afine, contaminación que se genera en su industria, lavados, etc. Este cambio de mentalidad sólo será efectivo si el operador le garantiza cualitativamente i cuantitativamente la garantía del suministro.

Los costes de regeneración, al necesitar procesos severos son elevados y por este motivo hay que ir a propuestas de elevados consumos i no cabe dedicarse al menudeo.

CONCLUSIONES

Las propuestas sugeridas en este documento se dirigen a las nuevas implantaciones de plantas de generación de energía eléctrica bajo la modalidad de ciclo combinado, y en localización en zonas del levante mediterráneo. De acuerdo con la Ley 54/1997 del sector eléctrico, estas instalaciones están sometidas a planificación indicativa con la Administración, o sea es posible acercar posiciones entre su ubicación optima desde el punto de vista eléctrico (redes de transporte y distribución) y la "recomendación" de reutilizar agua regenerada proveniente de algún foco generador importante (EDAR urbana), como así ha sucedido en Málaga recientemente. Es más fácil la utilización de agua regenerada en una nueva implantación, que una sustitución en una implantación existente, aunque no puede descartarse en principio.

Otros sectores como se ha referido en el estudio serían los complejos petroquímicos y la sustitución de alguna empresa del sector papel, no obstante el reciclaje interno hasta llegar al vertido cero, si se puede producir, hace menos atractiva la opción sustitución. Con todo, una u otra solución estará condicionada a la comparación de costes.

La única cautela desde el punto de vista sanitario, es el crecimiento de la *Legionella.* Recientes estudios microbiológicos apuntan a que no se incrementa el riesgo por utilizar agua regenerada, con respecto a las fuentes tradicionales, si se cumplen las buenas prácticas y se produce una desinfección en continuo en base a una combinación de UV y cloración en línea.

En Barcelona a 8 de abril de 2010

José Maria Puigdengoles Vallvé
AGENCIA CATALANA DEL AGUA - Generalitat de Catalunya