



NUEVAS TENDENCIAS EN LA DEPURACION Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

por Domingo Jiménez Beltrán*

1. OBJETO

Con este artículo se pretende hacer una revisión del planteamiento del problema de depuración de aguas residuales en base a las nuevas tendencias basadas en:

- Diseño de sistemas integrados (Abastecimiento - Depuración - Reutilización).
- Optimización del uso del recurso agua.
- Integración en el contexto local (Medios personales y técnicos. Tecnologías apropiadas).
- Aplicación de criterios conservacionistas. Máximo aprovechamiento de procesos naturales de depuración, utilización de energías renovables, creación de infraestructuras e instalaciones optimizables progresivamente hacia la solución final total del problema. (No a soluciones parciales de urgencia y desechables a corto plazo).

2. DEFINICIONES BASICAS

Contaminación de aguas: «Presencia de ciertos elementos (o energías) en *concentraciones (o intensidades) no deseadas* y tales que puedan afectar a la salud y bienestar del hombre o ser una amenaza para la naturaleza».

Este concepto se maneja con dos acepciones:

- Asociado al uso anterior del agua que ha determinado unas variaciones en su calidad.

(*) Ingeniero Diputación Provincial de Madrid.

- Asociado a los usos potenciales futuros.

En esta sección trataremos de asociar la mayor o menor contaminación de un agua en relación con sus usos futuros, concepto que está más en relación con la definición dada.

Depuración o tratamiento

Proceso que conlleva la disminución de concentraciones (o intensidades) de elementos (o energías) no deseadas presentes en el agua.

Este concepto se maneja también con las dos acepciones antes señaladas, recibiendo de hecho denominación distinta.

Depuración: Cuando se trata de aguas usadas (o «servidas» según la Organización Mundial de la Salud —OMS—) y que se trata de restituir a sus condiciones previas.

Tratamiento: Referente a aguas que se pretende sirvan para uso determinado.

Teniendo en cuenta que un planteamiento integral del problema trata de optimizar los usos del recurso sería interesante utilizar sólo la palabra «Tratamiento» y eliminar la carga psicológica de la «Depuración»; a nadie le gusta que le den «agua depurada», pero no le molesta el «agua tratada». En la realidad el 85 % del agua utilizada es agua servida o «agua depurada».

Reciclaje

Proceso dirigido a reintegrar el agua al sistema en las mismas condiciones (aproximadamente) en que estaba antes de utilizarla.

Reutilización

También llamado «Aprovechamiento de aguas servidas» por la O.M.S.

Utilización de aguas usadas previamente con o sin tratamiento previo, se suele distinguir:

Aprovechamiento indirecto: Cuando el agua ya utilizada una o más veces para usos domésticos o industriales se descarga en aguas limpias (o no) superficiales o subterráneas y se vuelve a utilizar en forma diluida.

Aprovechamiento directo: Es la utilización deliberada y sistemática de aguas servidas, normalmente tratadas, para permitir usos específicos (riego, recreativos, industria, recarga de acuíferos...) o múltiples.

En este artículo incidiremos sobre el aprovechamiento directo como de mayor interés en planteamientos integrales y locales; el aprovechamiento indirecto es la práctica común (más del 85 % del agua utilizada) sobre todo en España, dada la escasez del recurso, y requiere planteamientos a nivel de cuenca.

De los dos conceptos reciclaje y reutilización es indudablemente el segundo el que permitirá una mayor optimización del sistema, pudiendo decir, como resumen de las definiciones, que el grado de contaminación del agua debe referirse a sus usos y que el tratamiento del agua debe estar orientado a los mismos.

3. ALGUNAS CONSIDERACIONES BASE PARA UN REPLANTEAMIENTO DE LA DEPURACION

A continuación, exponemos una serie de aspectos que aunque un poco dispersos dan finalmente unas bases para actuación.

— La carga contaminante de las aguas residuales urbanas es del 0,1 al 0,2 %, el resto es «agua». A este respecto y para recalcar su valor la O.M.S. pretende que se llamen «aguas servidas».

— Según propuesta del Consejo Económico y Social de Naciones Unidas en 1958, «No se utilizará agua de alta calidad, a menos que sobre (?), para fines que admitan calidades inferiores».

— Según la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (E.P.A.) para poder acceder al Crédito Oficial (Federal Register Febrero 11, 1974), hay que considerar la viabilidad como alternativas o tecnologías complementarias a las clásicas (Tratamientos biológicos y/o físico-químicos) de:

- Tratamiento y reutilización.
- Aplicaciones al terreno (Procesos naturales).

— El término «depuración» debe sustituirse por el de «tratamiento» y no siendo éste un término de aplicación general hay que adaptarlo localmente, según los receptores, usos posteriores...

— *Hay que evitar:* Las tecnologías generadas

en contextos distintos a aquél en que se van a aplicar buscando «Tecnologías apropiadas» y adecuadas a la escasez de agua.

- La aplicación de tecnologías por vía de urgencia, que nos hipotecan para una optimización posterior del sistema por someter las mejoras futuras a aprovechar lo ya instalado (Primario - Secundario - Terciario..., en EE.UU. el problema ahora son los lodos fosfatados del tratamiento terciario) entrando en una espiral de mejoras tecnológicas sin fin.

- Las tecnologías o análisis de viabilidad disuasorias, procedentes de países desarrollados y que asocian problemas sanitarios, de control... a las tecnologías apropiadas o procesos de depuración natural, para no permitir que los países con infraestructura de saneamiento y depuración poco desarrollada se salten todas las etapas por ellos recorridas (y cuya tecnología no han vendido suficientemente) y entrar en planteamientos propios.

- El miedo a diseñar o experimentar sistemas, procesos o instalaciones que no vengan de países desarrollados.

- El intento de resolver los problemas con soluciones, normativa, reglamentación... de aplicación general. El sistema institucional y administrativo debe potenciarse para contemplar la mayor parte de los problemas de agua «caso por caso».

— *Hay que buscar:* • Soluciones simples controlables y definitivas dentro de un plan de mejora hacia la solución total.

- No crear una espiral de exigencias, aprender a vivir con nuestra propia porquería (a la que habría que llamar de otra forma como se hace con el estiércol (equivalente a abono en concepto vulgar) de los animales, aceptarla ya que jamás llegaremos a ocultarla totalmente.

- Participación de generalistas (Hombres del Renacimiento como están pidiendo en EE.UU.) en el diseño de los sistemas, que eviten la deformación del especialista, ingeniero o experto, que orienta el diseño hacia su campo específico, tratando de reflejar su experiencia limitada y particular y olvidando los principios y exigencias básicas.

- Diseño de sistemas orientados a la reutilización controlada, no a la depuración para reciclaje o usos múltiples, con particular interés en procesos que suponen simultáneamente ventilación y depuración. (Procesos naturales).

- Separar al máximo las aguas servidas, según su uso previo, y las aguas de abastecimiento o tratadas, según su uso posterior, (Redes reparativas de alcantarillado y distribución).

- Planteamientos distintos en ciudades y en el medio rural, en este último se puede llegar más fácilmente a un diseño integral. No ceder ante la imposición de las tecnologías urbanas.

- Optimización del sistema en base al principio de autosuficiencia y autocontrol (mejor son las aguas servidas propias reutilizadas con aprovechamientos directos autocontroladas, que el aprovechamiento indirecto de un cauce que controlan otros).

4. TEMAS A TRATAR QUE CONFIGURAN LAS NUEVAS TENDENCIAS

Como resultado de lo anterior parece interesante abordar.



Nuevas tendencias en la depuración y aprovechamiento de aguas residuales

4.1. El aprovechamiento directo o deliberado de aguas servidas

Por cuanto transforma el concepto de depuración en tratamiento orientado a un uso.

4.2. Los procesos naturales de depuración

En cuanto es una alternativa o complemento a los procesos clásicos, son muy adecuados a planteamientos integrales e integrados en el contexto local, son tecnologías apropiadas, permiten simultáneamente un aprovechamiento de las aguas y sus cargas contaminantes, son conservacionistas energéticamente y están en el esquema hacia una solución completa y definitiva.

4.3. Diseño de sistemas integrales

A través de algunos ejemplos.

4.1. Aprovechamiento directo o deliberado de aguas servidas

Dicho de otra forma: Reutilización directa de aguas residuales con o sin tratamiento (depuración previa).

En el esquema 1 se plantean algunos de los usos posibles de las aguas tanto de origen doméstico como industrial.

La utilización en *Agricultura* de aguas residuales es una práctica muy antigua y común. En 1968 Law citaba casi 100 referencias del uso controlado de aguas del alcantarillado como recurso hidrológico agrícola. Como ventaja particular puede citarse además de disponer de agua, el aporte de nutrientes (materia orgánica, nitrógeno, fósforo) al suelo que representa.

Las limitaciones fundamentales en cuanto a este uso son las exigidas por la salud de los trabajadores o personal en contacto con estas aguas y las determinadas por el tipo de cosechas y consumo a que se destinen los productos obtenidos, siendo la contaminación bacteriana o la presencia de oligoelementos tóxicos (boro, metales pesados...), salinidad... algunos de los parámetros a controlar. De las aplicaciones al terreno hablamos más en detalle al tratar de los procesos naturales de depuración.

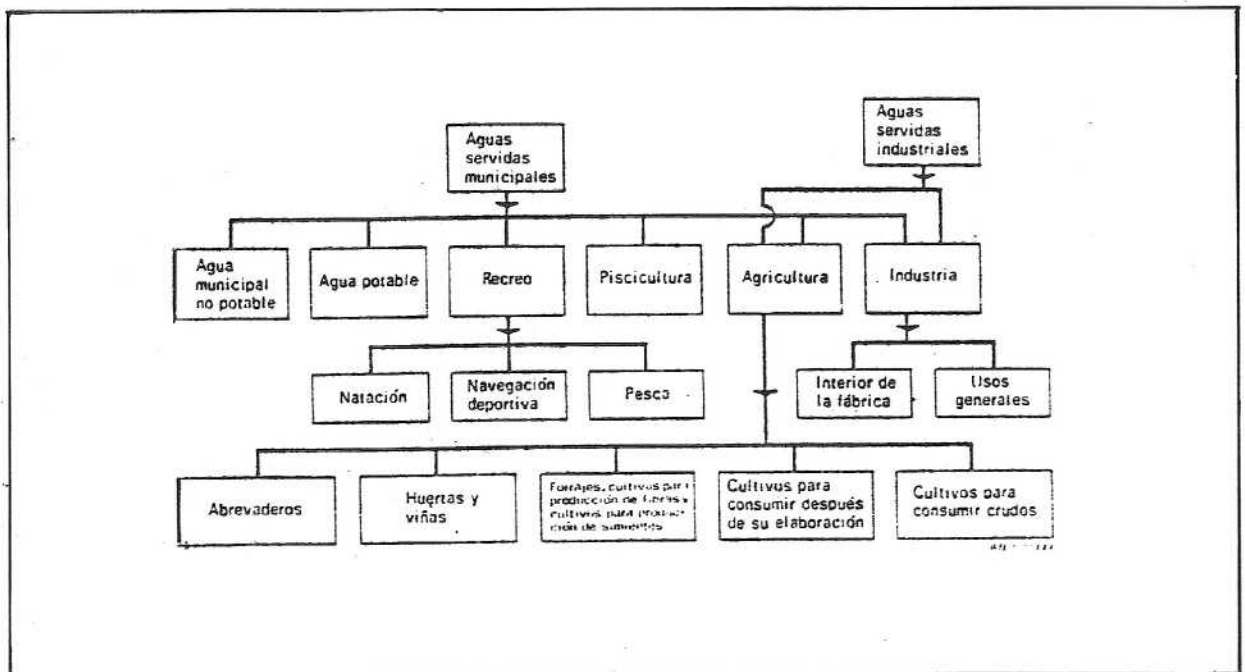
En la figura 2 se resumen los métodos de tratamiento recomendados para satisfacer los criterios sanitarios establecidos para el aprovechamiento de aguas residuales. (Informe de una reunión de expertos de la O.M.S.); estos métodos son orientativos y, hay que hacer consideraciones específicas en cada caso.

La *Industria* realiza cada vez con más frecuencia una ventilación de sus propias aguas, tanto por criterios económicos, en cuanto a recuperación de las cargas «contaminantes», que se incorporan al proceso, y disminución del consumo de agua bruta, como por exigencias de legislación sobre vertidos que determinan que un agua depurada es mejor que la de aportación (Fig. 3 en la que se aprecia que el afluente procedente de la depuración de una planta industrial cuyo proceso se indica, es mejor que el agua del Río Rin del que se abastece la Industria). Esta reutilización interna es clásica en Industrias Papeleras, siderúrgicas, centrales térmicas... y de aplicación general a ciertas aguas de todas las industrias, como son las de refrigeración, que tienden a montarse en circuito cerrado o semicerrado (torres de refrigeración atmosférica.)

Además en algunas industrias se utiliza ya como agua de refrigeración el afluente de depuradoras municipales con tratamiento secundario.

Dentro del contexto de este artículo, puede ser

FIG. 1. APROVECHAMIENTO DE "AGUAS SERVIDAS" (REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES)



MÉTODOS DE TRATAMIENTO RECOMENDADOS PARA SATISFACER LOS CRITERIOS SANITARIOS ESTABLECIDOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

	Riego			Recreo		Aprovechamiento municipal		
	Cultivos no destinados al consumo humano directo	Cultivos que se consumen cocinados; piscicultura	Cultivos que se consumen crudos	Sin contacto humano	Con contacto humano	Aprovechamiento industrial	Agua no potable	Agua potable
Crterios sanitarios (véase más abajo la explicación de los símbolos)	A + F	B + F o D + F	D + F	B	D + G	C o D	C	E
Tratamiento primario	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Tratamiento secundario		●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Filtración por arena o métodos equivalentes de depuración		●	●		●●●	●	●●●	●●
Nitrificación						●		●●●
Desnitrificación								●●
Clarificación química						●		●●
Adsorción con carbón								●●
Intercambio iónico u otros medios de eliminación de iones						●		●●
Desinfección		●	●●●	●	●●●	●	●●●	●●● ^a

Crterios sanitarios:

A Ausencia de partículas sólidas gruesas; eliminación apreciable de huevos de parásitos.

B Igual que A, más eliminación apreciable de bacterias.

C Igual que A, con eliminación más eficaz de las bacterias y cierta eliminación de virus.

D No más de 100 organismos coliformes por 100 ml en el 80% de las muestras.

E Ningún microorganismo coliforme fecal en 100 ml, ninguna partícula vírica en 1000 ml, ningún efecto tóxico en el hombre y observación de los demás criterios aplicables al agua potable.

F Ninguna sustancia química que provoque la aparición de residuos nocivos en plantas o peces.

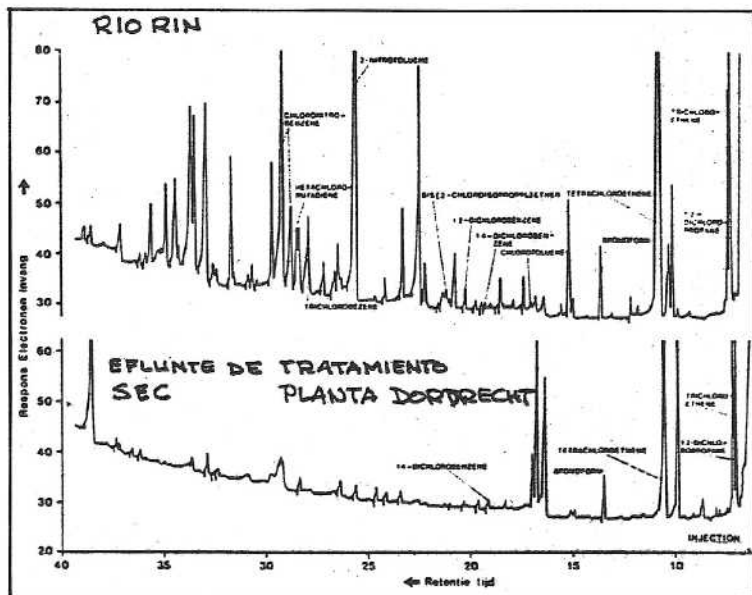
G Ninguna sustancia química que cause irritación de las mucosas o de la piel.

Para satisfacer los criterios sanitarios establecidos son indispensables los procesos marcados con ●●●. Además, es también indispensable la aplicación de uno o más de los procesos marcados con ●●●, y pueden necesitarse a veces los métodos señalados con ●.

^a Cloro libre al cabo de una hora.

FIG. 2. (DE UNA REUNION DE EXPERTOS DE LA OMS)

FIG. 3. CROMATOGRAMA DE LAS AGUAS DEL RIO RIN Y DEL AFLUENTE SECUNDARIO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL



interesante el considerar específicamente el *aprovechamiento municipal* de aguas residuales, distinguiéndose por su problemática dos grupos de usos:

- Los que *no exigen agua potable*, entre los que cabe citar: Riego de calles, campos de golf, parques públicos, arcenes y cunetas de carreteras. Relleno de lagos destinados a la navegación y pesca deportiva y hasta, a veces, a la natación. Inyección subterránea para evitar la intrusión de aguas salinas o salobres. Piscicultura...

- Las que *exigen aguas potables*, o sea, apropiadas para la ingestión por el hombre. Estos usos exigen planteamientos y controles muy específicos y su desarrollo y aplicación se está llevando a cabo con mucho cuidado y basándose sobre todo, en establecimiento de unidades de demostración que aseguren su viabilidad.

Las tecnologías para uso de *aguas servidas* municipales con exigencias de *no potable* están perfectamente desarrolladas y en principio parecen aceptadas por el público requiriéndose solamente establecer su viabilidad creando una acogida infraestructural para este uso.

- El programa a este respecto de la Agencia de Protección Ambiental (E.P.A.) de EE.UU., a desarrollar antes de 1984 incluye:

- Identificar aplicaciones para aprovechamiento de aguas servidas.

Nuevas tendencias en la depuración y aprovechamiento de aguas residuales

— Desarrollar formas o procedimientos institucionales para introducir aguas servidas en redes específicas de distribución.

— Determinar la posibilidad de los usuarios potenciales (Industria, Servicios...) para adaptarse a diversas calidades de aguas.

— Evaluar redes separadas de distribución según calidades e incentivos para procurar su uso.

— Evaluar los incentivos necesarios para la reutilización como alternativa a tratamientos costosos para satisfacer normas de vertido muy estrictas.

Estos serían los aspectos a considerar para poner en marcha programas municipales de aprovechamiento de aguas residuales.

Existen multitud de ejemplos de aprovechamiento municipal de aguas servidas, cuya viabilidad quedó perfectamente demostrada en la instalación del lago Tahoe en California, construido en los años 60, y en el que se tratan 28.000 m.³/ día de afluentes (lodos activados, adición de cal, filtración en lecho de arena, adsorción en carbón activo y cloración) que se llevan a un pantano, India Creef, 4.000.000 m.³, utilizado para navegación deportiva, natación, pesca y riego. Las características de estas aguas se recogen en la fig. 4 adjunta (Datos 1968-74).

FIG. 4. CARACTERISTICAS DEL VERTIDO LAGO TAHOE 68-7

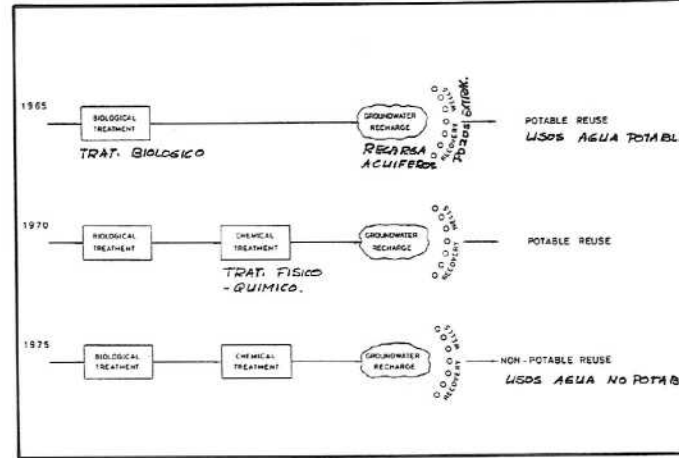
Parámetro	Valor medio	Valor no superado 98%	Valor no sup. 99%
DBO5 mg/l	1,3	5,36	6,36
COO mg/l	9,6	24,5	30,7
MES mg/l	—	—	—
Color (U.J.)	0,3	1,2	1,5
Fósforo mg/l	0,2	0,9	1,2
Coliformes (NMP/100 ml)	0,02	5,1	13

En cuanto al uso de aguas servidas para abastecimiento público ha habido algunas experiencias de abastecimiento parcial para completar el suministro de agua potable, de emergencia y programadas, como son las de Chamte, Kansas (EE.UU.), 1956-57 por tiempo limitado, Windhoek, Namibia (1969), donde hubo un período en el que hasta un tercio del abastecimiento de la ciudad se componía de aguas residuales, no habiéndose observado efectos para la salud.

• En la actualidad, existen muchos proyectos en este campo, siendo uno de los problemas que tienen que resolver, además del sanitario el de la aceptación por el público, que, a veces, se consigue a través de reinyectar el agua en los acuíferos, lo cual además de mejorar el agua y evitar intrusiones salinas, salva la resistencia psicológica correspondiente (Proyecto de la Isla de Perqueralles, Francia). En cualquier caso estos proyectos requieren una programación y control continuados que puede obligar a cambios de estrategia y usos, siendo un ejemplo a este respecto el Proyecto de aprovechamiento de aguas de la región de Dan (15 mi-

llones de m.³/año) en Israel que evolucionó desde el esquema previsto en 1965. (Tratamiento biológico - inyección en acuíferos - usos múltiples) hasta el final que entró en funcionamiento en 1975 que incluía un tratamiento químico intermedio y usos limitados del agua (no potable) tal y como se recogen en fig. 5.

FIG. 5. EVOLUCION DEL PROYECTO "REGION DE DAN (ISRAEL) REUTILIZACION AGUAS RESIDUALES"

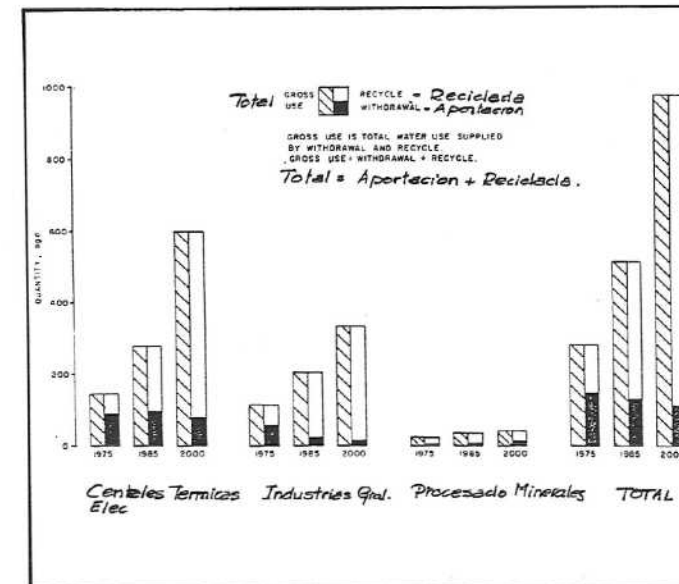


Con un planteamiento integral y progresivo existen grandes proyectos de aprovechamiento de aguas servidas en la costa Oeste de EE.UU. (Orange, Los Angeles, Santa Clara, Marín...), Japón (Tokio, Kawasaki, Ohsake...), Australia, Sudáfrica..., Israel...

• En España existen algunos proyectos en las Baleares (Riego cosechas, campos de golf, inyección en acuíferos...) y otras provincias, además de muchas aplicaciones en estudio.

La fig. 6 adjunta señalala evolución prevista en cuanto a la parte de las aguas requeridas por las Industria en EE.UU. que será agua reciclada en los años 1985 y 2000, pudiendo observarse que a pesar de un mayor uso de agua el consumo total

FIG. 6. UTILIZACION DE AGUA POR LA INDUSTRIA EE.UU. EVOLUCION PREVIA



de agua de aportación disminuirá. La fig. 7 resume los aprovechamientos de aguas residuales en el estado de California.

Problemas asociados a la utilización de aguas servidas

Podríamos distinguir los posibles problemas de ciertos usos de aguas urbanas servidas, como son:

Riego:

- Restricción en los tipos de cosechas.
- Menor producción como resultado del aumento de salinidad del agua.
- Aumento de concentración en metales en los productos.
- Restricciones en el acceso a los terrenos.

Debido al posible mayor contenido en sales, metales pesados, virus de las aguas servidas.

Industriales:

- Mayores costes de tratamiento interno de aguas.
- Reducción del número de ciclos del agua de refrigeración más purgas y agua de aportación seruida.
- Aumento de los depósitos en tuberías y de la corrosión.

Debido al mayor contenido en materia orgánica y salinidad.

Y el problema general a casi todos los usos municipales o propios de agua potable que es el sanitario y toxicológico y determinado por la presencia de bacterias, virus y compuestos tóxicos que puedan afectar a la salud del hombre.

Por supuesto, la utilización de aguas servidas impone mayores riesgos para el público y el trabajador, de exposición a organismos patógenos y sustancias tóxicas que la utilización de aguas de origen no residual. Los riesgos son mínimos cuando la exposición al contacto o ingestión no es probable y se incrementan cuando aumenta dicha exposición.

FIG. 7. UTILIZACION AGUAS SERVIDAS CALIFORNIA, 1979

(REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES)

Aplicación	Nº de áreas	Caudal 10 ³ m ³ Año	Porct. Total
Riego cereales, leñosas	190	128.478	56,8
Riego zonas recreo	104	29.450	13,0
Riego frutales, viñas	21	9.925	4,4
Control polvo en construc.	12	234	0,1
Riego Prod. Consumo	8	6.128	2,7
Usos industriales	8	10.616	4,7
Lagos uso recr. restringido	6	2.835	1,3
Lagos con fines paisajísticos	6	2.632	1,2
Recarga acuíferos	5	31.996	14,2
Lagos uso recr. no restringido	1	3.020	1,3
Mejora zonas húmedas	1	767	0,3
Acuicultura	1	2	<0,1
TOTAL	363	226.083	
		miles m ³ /año (≈226 Hm ³ /año)	

Las experiencias en Israel comparando comunidades en las que se practicaba riego por aspersión con aguas servidas parcialmente tratadas procedentes de lagunajes y un tratamiento de desinfección, con otras comunidades sin tales prácticas, señalaba mayor frecuencia de enfermedades de origen viral (fiebres tifoideas, salmonelosis, hepatitis infecciosa...). Sin embargo, en California no ha podido confirmarse ningún deterioro en el aspecto sanitario derivado de la utilización de aguas servidas, lo que confirma que la solución está en un uso controlado de dichas aguas. En la fig. 7 (no incluida) se recogen los sistemas de tratamiento recomendados (o alternativos) y las calidades de agua exigidas según distintos usos y de acuerdo con la normativa vigente en California revisada en 1978 (Wastewater Reclamation Criteria), normativa que para la mayoría de los proyectos exige un estudio específico de los riesgos involucrados, ya que tan importante como los procesos utilizados, es la seguridad de las instalaciones y los sistemas de control utilizados.

Considerando la diversidad de problemas según los distintos usos, no hay que olvidar que debe considerarse cada caso en especial, el tratar de obtener aguas susceptibles de múltiples usos, incluidos consumo, puede llevar a sistemas tan complejos como el indicado en la fig. 8 adjunta, y exigencia de controles rigurosos como se derivan de la reglamentación tan estricta existente en distintos países (fig. 9), así como la realización de estudios toxicológicos complejos y de identificación de multitud de compuestos orgánicos hoy encontrados en las aguas cuyas listas son interminables, y muchos de los cuales se consideran cancerígenos.

4.2. Procesos naturales de depuración

Existen muchos procesos naturales de depuración de los cuales el hombre se aprovecha en forma normalmente no deliberada y que son todos aquellos que se ponen en juego en el recorrido del agua por su ciclo natural y en el cual el hombre como hemos visto inicialmente, puede intervenir, y que podemos resumir en procesos de filtración (terreno, capas subterráneas), absorción (sedimentos, terreno), oxidación (química o bioquímica, autodepuración de cauces), evaporación, además de otros muchos en que intervienen las plantas (absorción radicular y foliar), animales, a través de la ingestión y retención de ciertos elementos y posterior paso a otros medios distintos del agua.

Aquí nos vamos a referir a ciertos procesos específicos en los que se integra la depuración de afluentes con la reutilización de éstos tanto del soporte como de su carga contaminante, en particular.

PROCEDIMIENTOS DE APLICACION AL TERRENO Y ACUACULTURA

4.1.1. Procedimientos de aplicación al terreno

Pudiendo distinguir tres alternativas que se recogen en la figura 10.

Riego: Puede ser según los tres sistemas exis-



Nuevas
tendencias
en la depuración
y aprovechamiento
de aguas
residuales

FIG. 8. TRATAMIENTO COMPLETO AGUAS RESIDUALES PARA USOS MULTIPLES

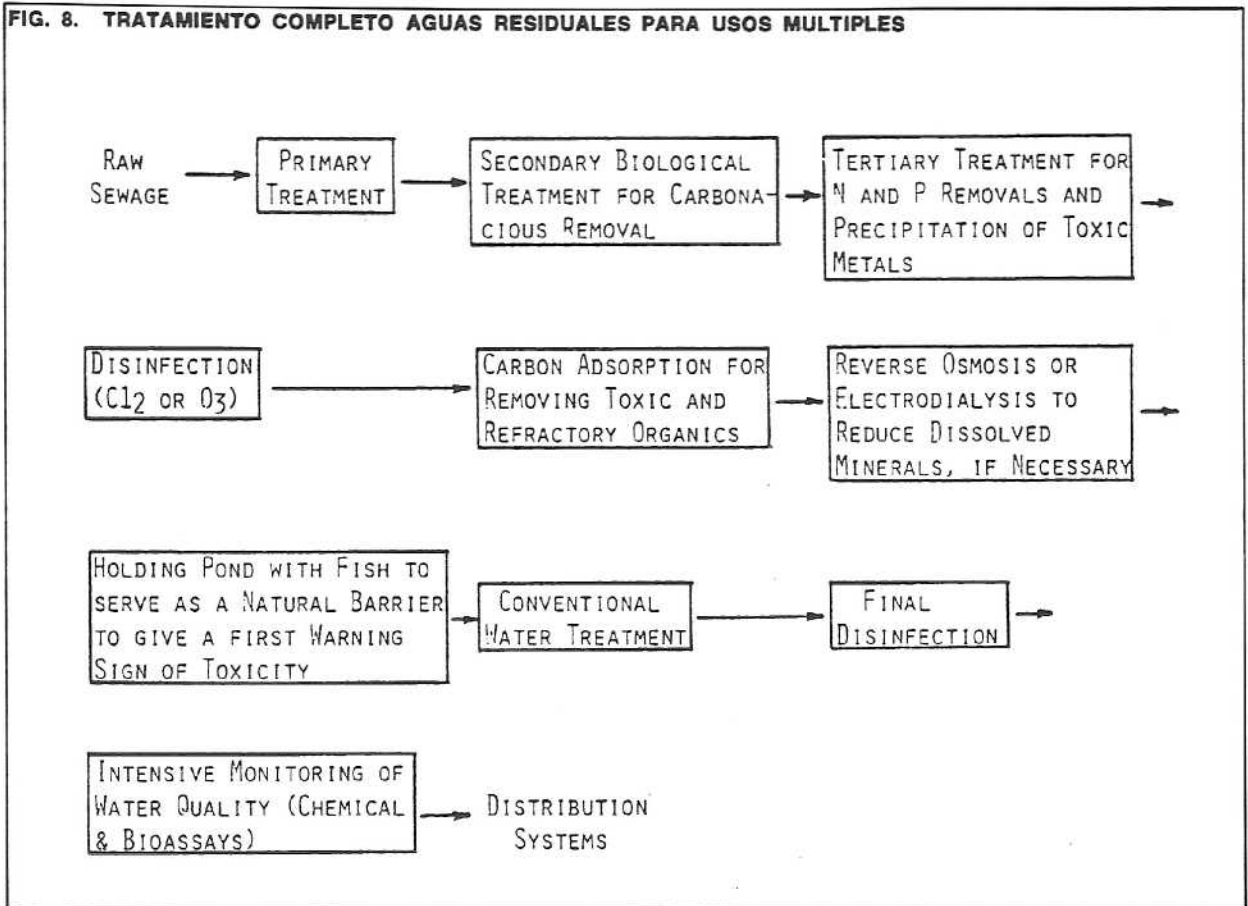
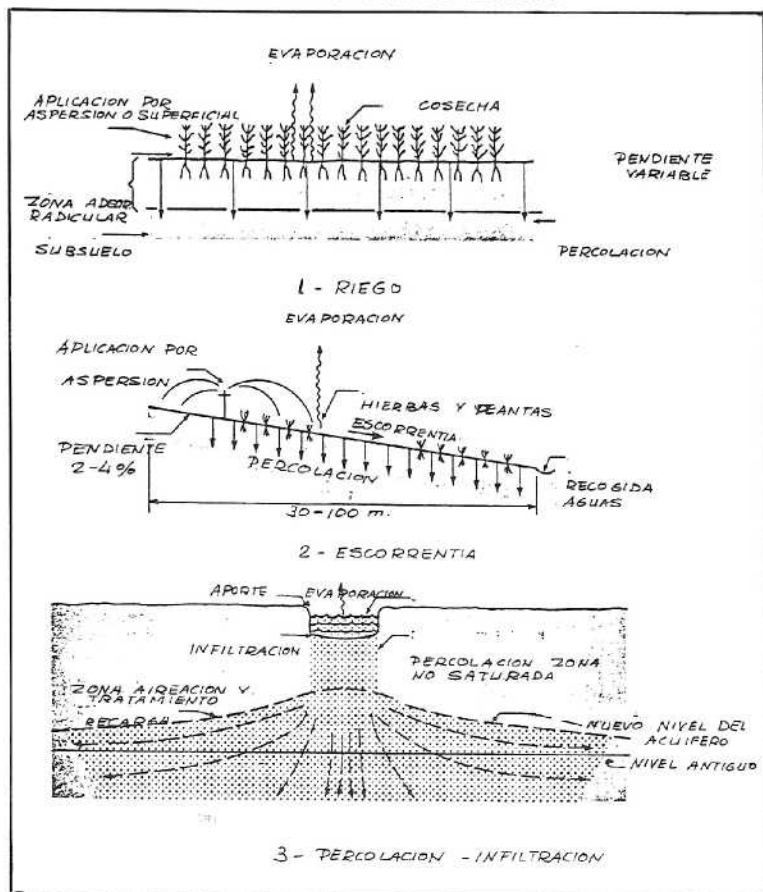


FIG. 9. CRITERIOS CALIDAD AGUAS - LIMITES QUE PUDIERAN AFECTAR A LA SALUD DEL HOMBRE. PROPUESTAS DE ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (WHO) - SERVICIO SALUD PUBLICA EEUU (USPHS) - AFRICA DEL SUR (SABS), RUSIA (USSR), ACADEMIA DE CIENCIAS EEUU (NAS), MINISTERIO SALUD PUBLICA INGLES (UK), AUSTRALIA, JAPON, AGENCIA FEDERAL PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE (EPA) EEUU

Parámetro	Propuesta por									
	WHO									
	USPHS (1962)	Japan (1968)	UK	USSR (1970)	European (1970)	International (1971)	SABS (1971)	NAS (1972)	Australia (1973)	EPA (1975)
Arsenic	10	50		50	50	50	50	100	50	50
Barium	1.000			4.000	1.000	—	—	1.000	1.000	1.000
Cadmium	10			10	10	10	50	10	10	10
Chromium	50	50		100	50	—	50	50	50	50
Copper	1.000	10.000		100	50	50	1.000	1.000	10.000	—
Cyanide	10	10		100	50	50	10	200	10	—
Lead	50	100		100	100	100	50	50	50	50
Mercury	—	1		5	—	1	—	2	—	2
Phenolic compounds	1	5		1	1	1	1	1	—	—
Selenium	10	—		1	10	10	—	10	10	10
Silver	50	—		—	—	—	—	—	50	50
Zinc	5.000	1.000		1.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Organic Matter (CCE)	200	—		—	200-500	—	—	300	700	—
Pesticides										
Total chlorinated hydrocarbon										
Total organo phosphorus and carbamates	—	—		—	—	—	—	1.066	—	1.092
Total chlorophenoxys	—	—		—	—	—	—	52	—	110
Nitrate-Nitrogen (mg/l)	10	10		10	<11,5	10	10	10	10	10
Fluoride (mg/l)	0,6-1,7	0,8		1,5	0,7-1,7	0,6-1,7	1,0-1,5	1,4-2,4	1,5	1,4-2,4
Coliforms/100 ml	<1	0	<10	—	—	0	<10	—	0	<1
Elicoli 1/100 ml	—	0	0	—	—	0	0	—	0	—
Total plate count/ml	—	—	—	—	—	—	<100	—	—	—
Virus/l	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—

Valores en mg/l si no se indica otra unidad.

FIG. 10. METODOS DE APLICACION AL TERRENO



tentes.

- Aspersión.
- Surco o gravedad.
- Inundación.

La depuración se consigue tanto por el paso del efluente a través del suelo como por los procesos de absorción de las plantas.

Es el método más común de aplicación al terreno, parte del agua se irá a través del suelo por percolación (aguas subterráneas) otra se incorporará a las plantas y el resto pasaría a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Las cargas que admite este sistema son hasta de más de 2 m.³ agua/m.² de terreno y por año.

Los objetivos de esta aplicación pueden ser: Mejorar las cosechas, aumentar al máximo la aplicación de aguas servidas, riego zonas de recreo, parques, bosques, siendo los planteamientos distintos según los objetivos. No deben olvidarse los problemas de variación estacional de sistemas.

En este caso, la depuración se pretende conseguir a través de los procesos químicos, físicos y biológicos a que se ve sometida el agua por filtración sobre el terreno; para esta aplicación se buscan terrenos permeables, lo que permite disponer de menor superficie que en otras aplicaciones para el mismo volumen de afluente. La mayor parte del agua realimenta los acuíferos y una parte se pierde por evaporación, recomendándose como mínimo unos 5 m. de espesor de suelo antes de alcanzar la capa freática, siendo los suelos deseados arenas y gravas no muy gruesas.

Los objetivos de esta aplicación pueden ser: Recarga de acuíferos, reutilización de aguas a través de pozos o drenajes.

Escorrentia sobre cubierta vegetal

La depuración del agua se consigue a través de los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar mientras discurre a través de la vegetación por una pendiente. La mayor parte del agua se recoge como escorrentia en el fondo de la cuenca; el resto se pierde por evaporación, transpiración y percolación. Los suelos que se requieren son aquellos poco mermeables, requiriéndose un manto de unos 20 cm. de cobertura de suelo de calidad.

La eficacia en la depuración de aguas residuales urbanas de las tres alternativas indicadas, queda patente en la fig. 11 adjunta, en la que se señalan los rendimientos o reducción en los parámetros contaminantes clásicos, pudiendo observarse su gran efectividad en la reducción de nutrientes, equivaliendo a un tratamiento terciario. Estos valores son meramente indicativos, ya que hay que tener en cuenta los aspectos de cada aplicación específica.

— Limitaciones de las aplicaciones al terreno.

a) En la calidad de las aguas servidas utilizadas.

Siendo parámetros a considerar:

— Sólidos disueltos totales o salinidad, indicada normalmente por la conductividad (menos de 500 mg./e. o 0,75 mmhos/cm. no hay problema, más de 5.000 mg./e. 0 7,5 mmhos/cm. puede haberlos).

— Materia en suspensión, problemas mecánicos.

— Materia orgánica (DBO, DQD, COT), normalmente no es un problema pueden serlo ciertos compuestos orgánicos tóxicos.

— Compuestos de nitrógeno, siendo importante la relación entre éstos (Amonio, nitrógeno orgánico, nitrato, nitrito). El nitrato pasa fácilmente a través del suelo hasta los acuíferos.

— Compuestos de fósforo, a veces la capacidad de fijación del suelo es limitada.

— Relación entre nutrientes M.O./N/P/K.

— Iones inorgánicos, pueden presentar problemas algunos como cloruros, sulfatos, boro, carbonatos... Normalmente se hallan en concentraciones aceptables en las aguas residuales.

— Metales pesados, algunos de ellos son esenciales para el crecimiento de las plantas, pero la mayoría son tóxicos a ciertos niveles para la planta y microorganismos.

— Índice SAR =
$$\frac{\text{Na}}{\text{Ca} \cdot \text{Mg}}$$
 o de absorción del

2

sodio (concentraciones en miliequivalentes/litro), valores de este índice superiores a 9 pueden afectar la permeabilidad del suelo.

— Boro, es un micro nutriente esencial para las plantas, pero es tóxico en concentración de 1 a 2 mg./l.

— Bacterias, el suelo es muy efectivo en la retención de microorganismos (baterias y probablemente virus) por filtración y absorción, sin embargo, su presencia puede plantear problemas sanitarios, sobre todo en el riego por aspersión; la



Nuevas tendencias en la depuración y aprovechamiento de aguas residuales

FIG. 11. COMPARACION DE METODOS DE APLICACION AL TERRENO (APLICACIONES EN EEUU)

OBJETIVO	Métodos		
	Riego	Escorrentia	Percolación
— Recuperación agua mejorada (a)	0-70 %	50-80 %	Hasta 97 %
— Uso como tratamiento Sec → Terciario			
• Eliminación de:			
• DBO5 y MES	> 98 %	> 92 %	85-99 %
• Nitrógeno (Comp.)	> 85 % (b)	> 70-90 %	0-50 %
• Fósforo (Comp.)	80-99 %	40-80 %	60-95 %
— Uso para cosechas	Bueno	Posible	Poco
— Uso como reciclaje al terreno	Completo	Parcial	Completo
— Para recarga acuíferos	0-70 %	0-10 %	Hasta 97 %
— Problemas en climas fríos	Adecuado (c)	(d)	Excelente

Notas: (a) Muy variable.
 (b) Depende de plantación.
 (c) Diversas situaciones.
 (d) No hay muchos datos.

magnitud del problema depende de la exposición a que se sometan los trabajadores y del uso de los productos del campo.

b) En las características del terreno disponible, siendo importante analizar:

— Compatibilidad con los planes regional y locales.

— Proximidad a cursos de agua superficiales.

— Disponibilidad de parcelas (Propiedad, precio...).

— Clima, precipitaciones, temperatura, evaporación, vientos de la zona.

— Topografía, pendientes, erosionabilidad, preparación del terreno necesario.

— Características del suelo, físicas, químicas (pH, salinidad, nutrientes, potencial de infiltración y percolación...).

— Hidrogeología de la zona.

Todos estos parámetros requieren una evaluación para asegurar una correcta aplicación al terreno, lo que exige una programación en que partiendo de:

— Las características de las aguas residuales disponibles.

— Los emplazamientos potenciales.

Se establecen las alternativas de aplicación, se selecciona entre éstas la oportuna según planteamientos técnicos-económicos y ambientales y se analiza su viabilidad final, en comparación con los procedimientos clásicos de depuración o como respuesta a otros objetivos.

La fig. 12 adjunta señala los distintos parámetros de aplicación de los tres sistemas alternativos considerados. (Condiciones EE.UU.).

FIG. 12. COMPARACION DE SISTEMAS DE APLICACION AL TERRENO. (Datos EEUU)

PARAMETRO	SISTEMAS		
	RIEGO	ESCORRENTIA	PERCOLACION
— Factor de carga (a) (mm h. agua/semana)	10-100 (a)	50-140	100-3000
— Aplicación anual (cm. h. agua/año)	70-240	240-750	600-15000
— Técnicas aplicación	Aspersión Riego sup.	Aspersión	Superficial
— Suelo requerido	> Lig. permeables Buena product. con riego	Lig. permeab.	Muy permeables
— Posibilidades de afectar aguas subt.	Moderada	ligera	Cierta
— Prof. requerida hasta aguas subterráneas	≈ 1,5 m.	No determinada	≈ 4,5 m

Notas: (a) Se pueden alcanzar 100 mm/semana estacionalmente la media varía de 50 mm/semana.

4.2.2. Acuicultura

Antes de entrar en la utilización de aguas residuales a cultivos en medio acuático es interesante diferenciar de todas las aguas servidas unas que su casi única contaminación es de tipo energético, es decir, las aguas de refrigeración industriales, sin entrar en detalles, estas aguas son una fuente enorme de calor a baja temperatura (Más del 60 % de la energía consumida en una Central Térmica se escapa en forma de incremento de temperatura del agua de refrigeración en un circuito abierto) que puede utilizarse para:

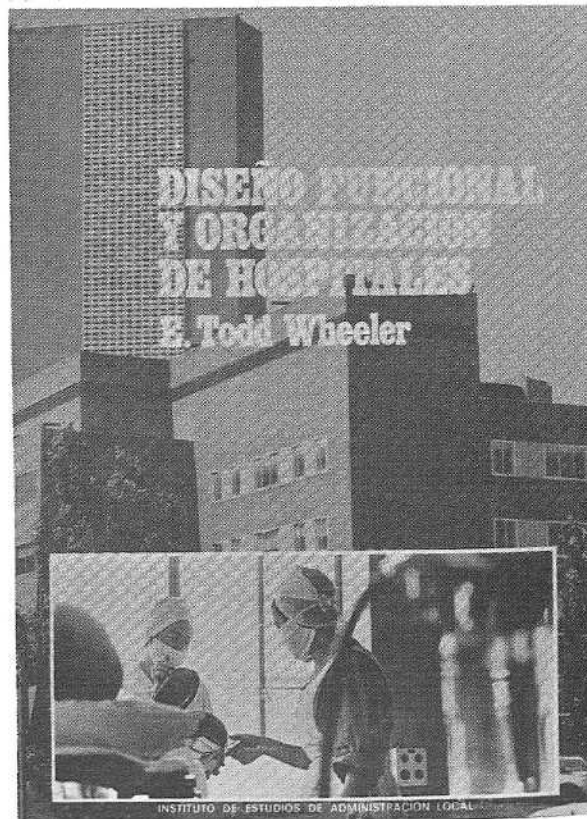
- Calentamiento de invernaderos.
 - Calentamiento de suelos de cultivo al aire libre.
 - Aclimatación de piscinas y lagunas para cultivo de especies acuáticas (plantas, peces...).
 - Calefacción doméstica.
- Existiendo ya multitud de instalaciones monta-

das al calor de grandes plantas industriales (Centrales Térmicas, incluyendo Nucleares, Siderúrgicas...).

Las aguas residuales municipales en la misma forma que mejoran el soporte de las plantas en los cultivos pueden aumentar la producción de plantas acuáticas o el de peces u otros organismos, al mismo tiempo que se consigue una depuración de las mismas. La efectividad de estos sistemas está claramente demostrada como tratamientos terciarios para la eliminación de nutrientes (nitrógeno, fósforo), llegando a representar reducciones en costo superiores al 30 % sobre los tratamientos clásicos (condicionado siempre por la relación Fósforo/Nitrógeno Kjeldual). Su efectividad como tratamiento secundario está limitada por la dificultad en alcanzar las reducciones deseadas en la DBOS y MES, cuando ésta se consigue las reducciones en costo con respecto a los sistemas clásicos oscilaron entre el 3,8 y el 22 % en estudios realizados en EE.UU. en 1976.



1977.
701 págs.
1.600 ptas.



1976.
543 págs.
1.200 ptas.