

Posibilidades de reutilización de aguas residuales y riesgos sanitarios derivados (*)

Por A. RAMBLA GIL

La reutilización de aguas residuales tratadas para fines agrícolas, industriales, recreativos e incluso para el consumo doméstico implica una serie de problemas de tipo sanitario que es preciso conocer por los graves riesgos que en otro caso pueden derivarse. Virus, bacterias, compuestos químicos, radiactividad, etc., responden de diversa forma a los tratamientos y las condiciones de seguridad de las explotaciones son de gran importancia. De todo ello trata este trabajo, que incluye al final algunos ejemplos de tratamiento empleados ya en diversos casos de reutilización de aguas residuales.

INTRODUCCION

La reutilización de aguas usadas implica serios riesgos para la salud, debiendo observarse una serie de precauciones previas a su empleo. Las aguas usadas domésticas contienen de ordinario toda la gama de organismos patógenos presentes en la colectividad que las produce y prácticamente todos los principales enterovirus pueden aislarse tanto en las aguas residuales no tratadas como en los efluentes de plantas depuradoras clásicas. Por ejemplo, los riesgos que presenta para la salud pública la utilización de aguas usadas para el riego fueron puestos en evidencia por la epidemia de cólera que se declaró en Jerusalén a fines del verano de 1970. Las encuestas han revelado que algunos cultivos de mariscos habían sido regados con aguas usadas no tratadas, con desprecio de la reglamentación del Ministerio de Sanidad. Se ha puesto de relieve que en la India las anquilostomiasis y otras infecciones intestinales eran mucho más frecuentes en los trabajadores de las tierras regadas con aguas usadas que en la población agrícola en general. Por el contrario, en los Estados Unidos, la vigilancia sanitaria de los empleados de plantas depuradoras no ha revelado que éstos estén expuestos a riegos excesivos de enfermedad o de incapacidad. Unas buenas prácticas de higiene personal parecen ser suficientes para proteger la salud de los trabajadores obligados profesionalmente al contacto con aguas usadas.

Si las aguas usadas urbanas van a utilizarse para actividades industriales es preferible no introducir el efluente en la fábrica sino después de que haya sido

tratado y desinfectado y de que haya recuperado una calidad bacteriológica próxima a la del agua de bebida. Tal tratamiento reducirá al mínimo los riesgos de epidemias graves en el caso de uniones accidentales entre las conducciones por las que circula el efluente y las que conducen el agua que sirve para la bebida o para la preparación de los alimentos. Si, después del tratamiento, las aguas utilizadas deben ser reutilizadas en fábricas de productos alimenticios deben satisfacer las normas aplicables al agua de bebida.

Los peligros que presenta para la salud la reutilización de las aguas usadas con fines recreativos son más difíciles de evaluar y se determina mal si ciertos casos de enfermedades transmisibles son imputables al baño en aguas contaminadas por efluentes. A título de precaución no se debería utilizar para la práctica de los deportes náuticos y acuáticos más que las aguas usadas que hayan sufrido un tratamiento muy avanzado y que satisfagan casi las normas microbiológicas exigidas al agua para la bebida.

La reutilización de aguas usadas y de aguas de ríos polucionados para usos domésticos, comprendiendo entre ellos la bebida, presenta desde el punto de vista microbiológico ciertos riesgos potenciales evidentes, pues la ingestión de ciertos agentes patógenos, incluso en pequeño número, puede entrañar enfermedades en sujetos no inmunizados. Las técnicas actuales de tratamiento de aguas permiten eliminar o inactivar la casi totalidad de las bacterias patógenas, pero es más difícil actuar contra los virus transmitidos por el agua y se conocen casos en que los enterovirus han resistido el paso por estaciones de depuración clásicas que tratan aguas de ríos fuertemente contaminados. Solamente cuando el agua ha experimentado un

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de noviembre de 1981.

primer tratamiento muy avanzado que haya permitido eliminar casi enteramente las sustancias amoniacales y los residuos orgánicos, es cuando se puede seguir el tratamiento consistente en mantener durante una hora una concentración de cloro libre de 0,5 mg/l, recomendado por la OMS para inactivar eficazmente los enterovirus.

El tratamiento mediante carbón activo, eliminando las materias orgánicas, aumenta la eficacia de las operaciones de desinfección. Para la reutilización directa de las aguas usadas el empleo de técnicas tales como tratamientos químicos fuertemente alcalinizantes, filtración y tratamiento por carbón activo antes de la desinfección permite aparentemente obtener tasas de inactivación de virus suficientemente elevadas para asegurar la protección de los consumidores.

Se admite generalmente que la reducción relativa del número de coliformes es un buen índice de la eficacia microbiológica de los procedimientos de tratamiento de las aguas usadas. La sedimentación primaria permite obtener una reducción del 30-40 % en el número de coliformes, mientras que el porcentaje obtenido con la mayor parte de los procedimientos de tratamiento biológico completo es del 90-95. Se ha constatado que en los estanques de estabilización, el porcentaje alcanza generalmente 99 por un periodo de retención de 30 días.

Se ha procedido a estudios sobre la viabilidad de diversos organismos indicadores y patógenos en suelos o en cultivos regados con aguas usadas. Tales estudios han demostrado que el número de los organismos patógenos que pueden sobrevivir en condiciones normales de actividad agrícola basta para constituir un peligro para la población cuando ésta consume sin cocer los productos de cultivos recientemente regados con aguas usadas brutas o parcialmente tratadas. Para que la utilización de las aguas usadas en agricultura no esté limitada, es preciso que el tratamiento y la desinfección de estas aguas sean muy completos. Es técnicamente posible producir a partir de aguas usadas un efluente que no contenga más de 100 coliformes/100 ml. El riego no limitado de los cultivos por medio de un efluente de esta calidad bacteriológica haría correr pocos riesgos a la salud.

Si deben utilizarse aguas usadas como fuente de abastecimiento de agua para la bebida, es preciso aplicarles las normas microbiológicas más estrictas exigidas a las aguas destinadas a tal fin. La ausencia de coliformes en una muestra de 100 cl. es una norma realista que puede alcanzarse y mantenerse en instalaciones que funcionen correctamente.

Teniendo en cuenta el riesgo elevado de infección que resultaría de un fallo mecánico que pasara desapercibido o de un error humano, deben preverse controles rigurosos y dispositivos de seguridad en todas las instalaciones que aseguren el tratamiento de las aguas usadas con vistas a su utilización para la bebida.

Diversas sustancias químicas pueden influir en la salubridad del agua en razón o bien de sus efectos tóxicos o bien de sus propiedades organolépticas. Lo que hay que preguntarse es en qué medida será posible formular criterios para los centenares de sustancias químicas, orgánicas o inorgánicas que se pueden encontrar hoy día en las aguas polucionadas y que no están por ahora contempladas en las normas aplicables al agua de bebida. Se han puesto a punto métodos por los toxicólogos para determinar las concentraciones máximas admisibles para los residuos de pesticidas, aditivos alimenticios y otras sustancias químicas presentes en los alimentos. No se ha hecho un esfuerzo exhaustivo hasta el presente de sacar partido de ellos para el agua de bebida. Es esencial reparar esta omisión sobre todo en razón al número creciente de casos de reutilización involuntaria de las aguas usadas contaminadas por sustancias químicas de origen industrial y agrícola que crean circunstancias en las cuales las normas clásicas de salubridad del agua son totalmente inadecuadas.

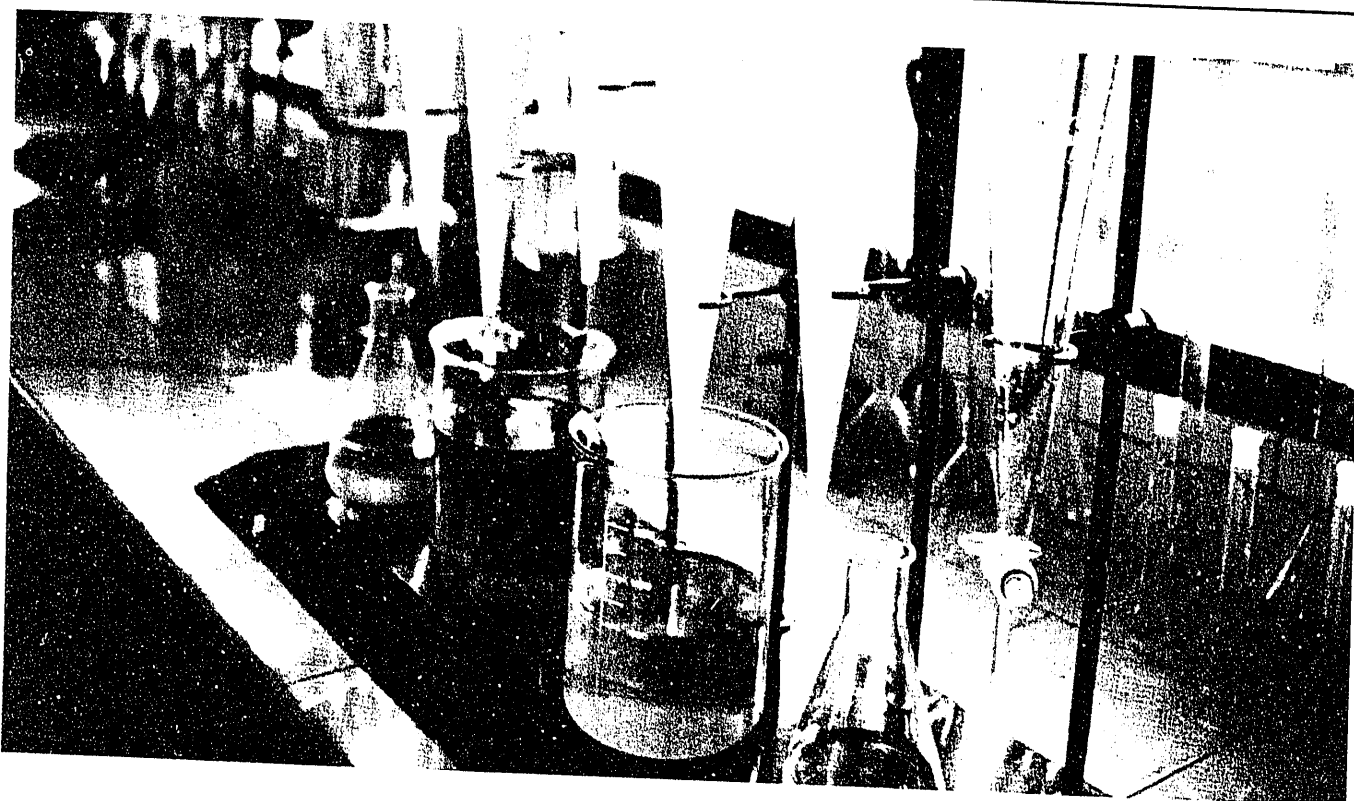
Pasaremos revista a continuación de forma algo más detallada a los agentes que mayores peligros presentan a la reutilización de aguas residuales.

Virus

Según recientes estudios sobre infecciones virales transmitidas por el agua y sobre su prevención, las epidemias no pueden considerarse en la actualidad como la única señal para medir la seguridad de los abastecimientos de agua. Esos episodios en zonas bien dotadas sanitariamente son accidentales y ocasionales; más bien será la transmisión regular de virus aún en niveles bajos la que debe considerarse como fuente de enfermedades endémicas. Veamos por qué es así, y lo que ello significa en cuanto a la reutilización de aguas como fuente de abastecimiento de agua potable.

La amenaza endémica de los virus se deriva de ciertos factores clave:

1. La dosis infecciosa de los virus es muy baja; recientes estudios utilizando vacunas de poliovirus indicaron que una "plaque forming unit" tomada oralmente podría infectar al 30 por ciento del grupo de experimentación.



2. La enfermedad clínica se observó en sólo una pequeña fracción de los infectados; el cociente de los casos clínicos a los de infección subclínica varía desde 1/10 a 1/1000 según las especies de virus empleadas.

Las infecciones subclínicas de virus entéricos en el hombre pueden considerarse inócuas para la salud. Sin embargo, ciertos virus entéricos están asociados con graves efectos posteriores sobre las personas infectadas o incluso sus hijos. Se ha acusado a los virus coxsackie de ser agentes teratogénicos y la afinidad de estos virus con el tejido del corazón se reconoce cada vez más.

3. Un mismo tipo de virus puede producir enfermedades con periodos de incubación y manifestaciones clínicas muy diferentes; por ejemplo un virus coxsackie puede producir meningitis en una persona, miocarditis en otra y diarrea en una tercera. Evidentemente, este factor podría complicar aún más la identificación epidemiológica de una fuente de infección viral causada por el agua.

4. La cantidad de cloro mortal con respecto a diferentes virus es variable y generalmente mucho más baja que cuando se aplica a bacterias. Recientes experimentos de la EPA (Environmental Protection Agency) norteamericana han demostrado esta variabilidad y han

abierto asimismo vías al conocimiento de otras interesantes cuestiones sobre el comportamiento de los virus. Un experimento mostró que el mismo grado de enfermedad con la misma concentración necesitó 2,7 minutos para destruir un reovirus y 36,5 minutos para el poliovirus del tipo II. Asimismo se ha demostrado que la velocidad de inactivación para diversos virus disminuyó durante la última parte del periodo de inactivación; teóricamente este comportamiento puede referirse a la aparición de trozos de virus o virus absorbidos por partículas, que son probables y pueden favorecer la resistencia a la inactivación.

Es evidente que este panorama variable en cuanto a la inactivación por el cloro y la baja dosis infecciosa, junto con los factores fisiológicos de la infección subclínica y las variaciones patológicas resultantes de la exposición al mismo virus, están oscureciendo los considerables riesgos sanitarios producidos por los virus del agua de bebida.

Una planta de tratamiento terciario de aguas residuales con un 99 por ciento de reducción de virus descarga 1-7 unidades de virus por cada 100 ml.

- Con una cloración adecuada para una reducción del 99,99 por ciento de virus todavía hay al menos 1×10^6 unidades por cada $4.000 \text{ m}^3/\text{día}$.

Este es el tipo de fuente de abastecimiento que muchos consideran válido para su reutilización sin ningún tratamiento adicional.

Con un 0,2 por ciento del abastecimiento total ingerido como agua de bebida y suponiendo un 30 por ciento de tasa de infección:

Hasta 600 personas se verían afectadas diariamente por diversas infecciones clínicas y subclínicas.

Si las personas infectadas a su vez extienden sus virus por medio de contactos personales a la comunidad, cada caso puede crear una "onda" que afecte a muchas personas a través de una vía no hídrica.

Por tanto la infección debida al agua es de un orden de magnitud mucho mayor de lo que parece. Una investigación ha mostrado que el pH del agua residual o del proceso afecta la inactivación de los virus. Por ejemplo un alto pH promueve la existencia de productos de cloración como el OCl— que es muy efectivo contra los poliovirus mientras que un pH bajo promueve HOCl, que es efectivo contra "E. coli".

Es asimismo un hecho que aunque numerosos proyectos de investigación han conseguido avances en la medición de virus y en técnicas de control, los métodos utilizados en la actualidad no son muy eficientes ni económicos.

Es especialmente difícil avanzar en el problema de los virus debido a lo insidioso de la acción viral y a que las ramificaciones de los riesgos subclínicos son tan extensivas. Gran parte de las enfermedades crónicas en el mundo civilizado pueden relacionarse con bajas infectividades víricas y el agua es una vía potencial para esa infección. Estos hechos y las especulaciones lógicas conciernen no sólo a la reutilización directa de aguas residuales sino también a la eficacia y seguridad de las prácticas actuales de tratamiento de agua para la bebida. Se ha afirmado que la investigación de los problemas de los virus en el agua está en su infancia. Los principales problemas acerca de qué virus hídricos son importantes para nosotros, de cómo pueden ser detectados cuantitativamente e identificados en aguas de todas las calidades, de cómo son eliminados por tratamientos efectivos y de cómo pueden ser destruidos en aguas de todas las calidades permanecen sin respuesta.

Bacterias

Un segundo grupo de interés son las bacterias. El examen y extrapolación a partir de los datos obtenidos sobre colifécales y estreptococos en

estudios avanzados sobre tratamiento de aguas residuales muestran que un tratamiento previo a la cloración puede eliminar las salmonelas y otras bacterias entéricas patógenas en la misma magnitud que son eliminados los virus; además se demuestra que una cloración subsiguiente destruirá las bacterias más eficazmente que se destruyen los virus.

Sin embargo pueden ocurrir circunstancias poco corrientes y las bacterias pueden no ser manejadas tan fácilmente. Por ejemplo en el hospital de Cook County (Illinois, USA) se identificó una bacteria de la familia E. coli —normalmente sin peligro— como la culpable de numerosos casos de diarrea infantil aguda. Otros estudios sobre infecciones en hospitales han mostrado que bacterias no entéricas, bajo ciertas circunstancias y en concentraciones suficientes pueden presentar riesgos sanitarios. Además, dos tipos de estas bacterias: la flavobacteria (involucrada en cuatro casos de septicemia subsiguientes a operaciones a corazón abierto) parecen ser resistentes a la cloración y pueden multiplicarse grandemente, con tiempo y en un medio apropiado. Si a estos descubrimientos se añade el conocimiento de que algunas fases de los procesos de tratamiento avanzado de aguas residuales pueden facilitar la multiplicación de bacterias y de que el reciclado puede servir para mantener y aumentar esa siembra de bacterias, hay razones para investigar y tratar los aspectos bacteriológicos con precaución. Por ejemplo hay crecimiento de bacterias en membranas de diálisis y ósmosis, columnas intercambiadoras de jones y columnas de carbón; si este crecimiento incluyera colonias de bacterias resistentes a la cloración como son las flavobacterias, entonces la planta de recuperación y el proceso de reutilización podría servir para promover estos agentes infecciosos antes que para servir como barrera frente a ellos.

De ahí la necesidad de investigación posterior y ensayos específicos para organismos tales como pseudomonas, salmonelas, shigella y klebsiella para estudiar sus potenciales efectos sobre la salud pública.

Otros organismos de importancia para la salud pública

En las aguas residuales hay una gran variedad de otros organismos que pueden causar daños a la salud. Entre ellos, de forma prominente están los protozoos, algunos de los cuales resisten la cloración y han provocado enfermedades parasitarias de garganta en los niños y casos de meningitis cerebral. Nematodos libres se han encontrado en

abastecimiento de agua y pueden servir como vehículos para enterovirus, salmonelas y shigelas.

Ultimamente, se han extendido infecciones por helmintos debido a la práctica de utilizar aguas residuales para el riego de jardines y prados de césped; ascaris, trichuros y otras infecciones por organismos semejantes pueden extenderse de este modo. Infecciones graves y extensas de ascaris y trichuros ocurrieron debido al riego de jardines con aguas residuales en varios países europeos en los años siguientes a la II Guerra Mundial. Los más afectados fueron los residentes de Munich en Alemania. El riego con efluentes de pastos se ha comprobado también que infecta el ganado con gusanos que a su vez pueden infectar al hombre. Organismos como *Endamoeba histolytica*, un parásito intestinal, pueden ser resistentes a los procesos de tratamiento de aguas residuales, por lo que toda precaución es poca, a pesar de que normalmente otros parásitos son eliminados por los citados tratamientos.

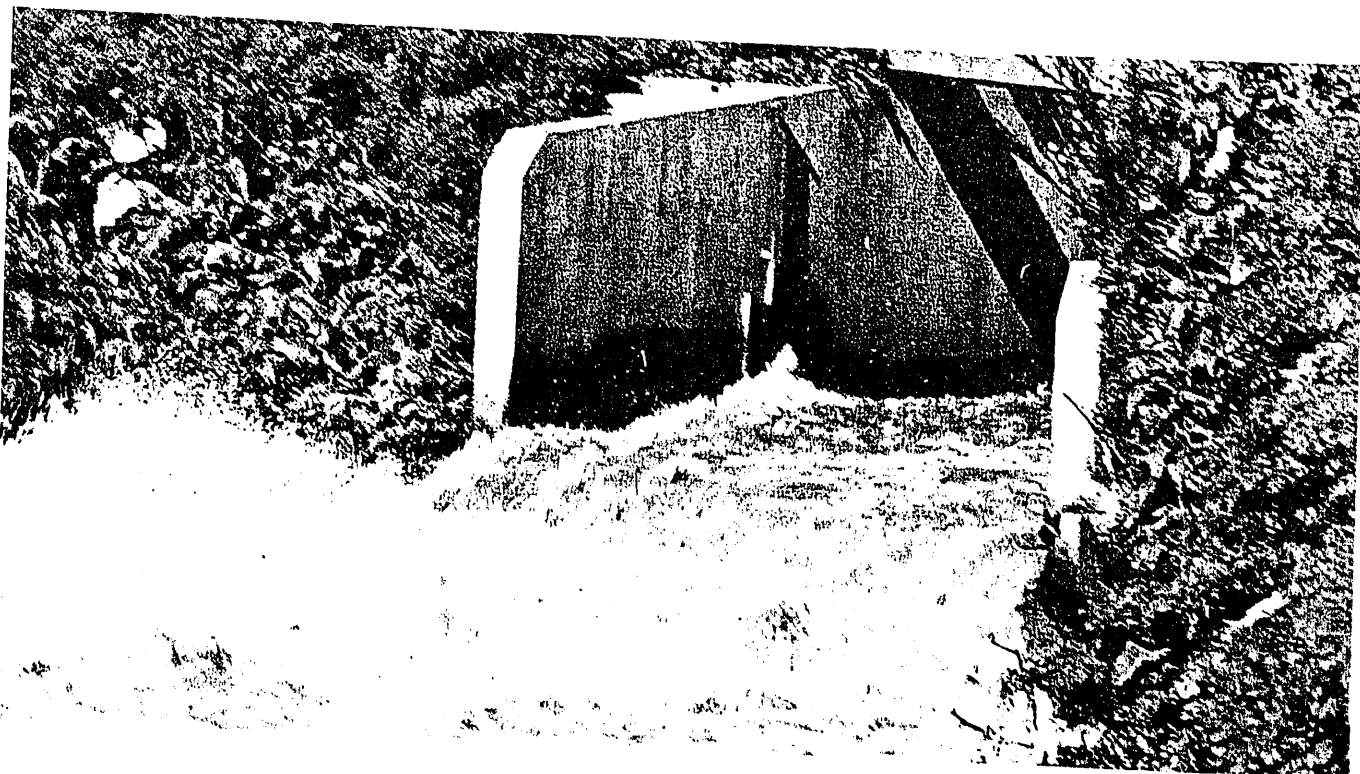
Compuestos químicos

Los compuestos químicos en las aguas de bebida pueden ejercer efectos agudos o crónicos en los hombres. El hogar es actualmente un verdadero almacén químico, y el agua residual a su vez actúa como un receptáculo dispuesto para recibir todos esos materiales. Además una gran variedad de acti-

vidades dentro de la comunidad contribuyen en considerable grado a que las aguas residuales sirvan como receptáculo de productos químicos.

Cuando se considera la disponibilidad universal de muchas sustancias altamente tóxicas, debe pensarse en la posibilidad de un sabotaje deliberado o envenenamiento accidental de abastecimientos de agua. Debe pensarse en un periodo de observación previo a la reutilización del agua junto con un programa continuo de vigilancia que incluya algún tipo de comprobaciones biológicas de las aguas recicladas. Sin estas precauciones, cualquier reutilización inmediata y directa de aguas recicladas continuamente expondrá al público a riesgos debidos al derrame accidental o provocado de productos químicos tóxicos en la red de alcantarillado.

La magnitud del problema puede demostrarse parcialmente utilizando por ejemplo datos norteamericanos que señalan la cantidad de productos químicos tóxicos vertidos a la cuenca del río Ohio desde 1969. Alrededor de ocho millones de litros de productos químicos exóticos tales como cianuro de vinilo (16.000 litros), fenol (12.000 litros), Diisocianato 2-4 de tolueno (11.000 libras) y 17.500 libras de productos químicos orgánicos variados entraron en el río. Evidentemente, vertidos semejantes tuvieron lugar en muchas ciudades, alcanzaron las plantas de tratamiento de aguas residuales y pasaron por ellas sin alterarse. La mayor parte de los procesos



de tratamiento utilizados en la actualidad tienen poco efecto sobre la eliminación de estos productos químicos.

El volumen de contaminantes puede no ser tan grande en cuanto a los productos químicos que se introducen en las redes de saneamiento como en cuanto a los que se vierten a los ríos, pero tampoco lo es el factor de dilución. Se estima actualmente que sólo el 20 por cien de los vertidos de productos químicos tóxicos son detectados de forma permanente.

La mayor parte de los estudios detallados sobre efectos sanitarios crónicos debidos a los muchos productos químicos encontrados actualmente en las aguas utilizadas por el usuario están todavía por acometerse y no existe prácticamente información disponible sobre los riesgos sanitarios de los productos químicos que se encuentran en aguas recicladas. Los inorgánicos —mercurio, plomo, arsénico, cromo, cadmio, nitrato y cianuro— son de gran importancia. Además, muchos otros, como el sodio, son importantes para aquellas personas cuyo estado de salud marginal exige consideración especial. Ciertos productos orgánicos como el O-nitrocloro-benceno, piridina, pesticidas clorados, éter difenilo, keroseno, nitrilos, y derivados del benceno, son de importancia extrema y requieren investigación extensiva. Muchos pesticidas y herbicidas nuevos se han añadido a la lista de polucionantes químicos potencialmente peligrosos.

Recientemente el holandés Boorsura señaló la formación de un producto tóxico, sulfoxi-metionina, cuando se añade cloro a aguas conteniendo amoniaco o grupos amino y metionina (un compuesto encontrado en residuos de fábricas de harina).

Entre otros aspectos químicos que requieren atención están compuestos como aquellos que contienen base benzopirénica y que se sabe son carcinogénicos. Además, efectos potenciales de hormonas sexuales resultantes del uso cada vez mayor de píldoras anticonceptivas y sus residuos que pueden ir a parar a las redes de saneamiento, pueden también presentar problemas. Además de todo lo citado, resulta que no es posible medir con exactitud algunas de estas sustancias en sus concentraciones tóxicas (algunas son peligrosas en concentraciones menores de 10^{-9} M). Todo ello pone de manifiesto la necesidad de investigar en detalle estas cuestiones antes de poner en práctica proyectos de reutilización en gran escala.

La investigación sobre la reutilización de aguas residuales debe incluir estudios de caracterización y

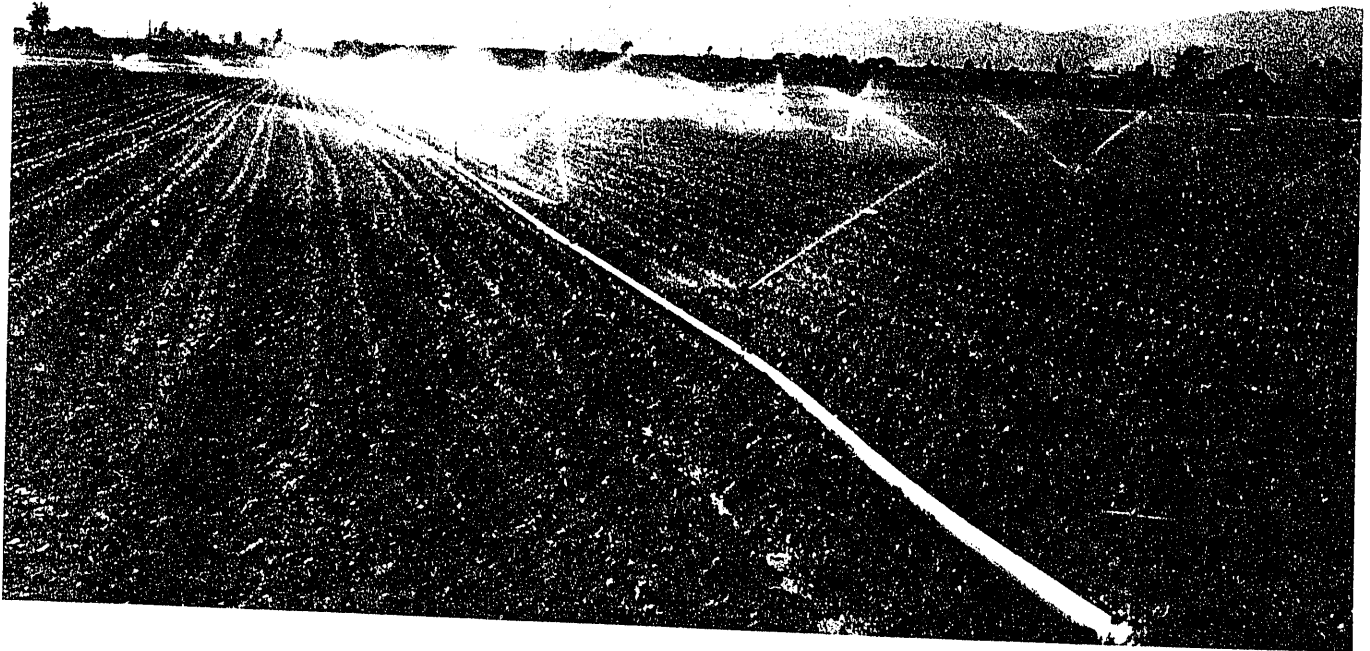
toxicidad de los productos orgánicos recuperados de la filtración por carbón, así como el desarrollo de métodos para la recuperación de productos orgánicos no eliminados por la absorción mediante carbón. Son esenciales los estudios relativos a la identificación de estos compuestos y la determinación de su toxicidad crónica a bajos niveles. Tales estudios apenas han comenzado.

Los que abogan por el uso directo de aguas recicladas hacen continuas referencias al hecho de que las aguas cuyo uso se propone satisfacen las exigencias reglamentarias en cuanto a aguas potables y por tanto son de calidad satisfactoria. Tal aseveración no es cierta. Por ejemplo una recomendación de la EPA (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos fechada en 1971, sobre la revisión de las normas sobre aguas potables en vigor en aquel país señala que "dichas Normas se aplican a recursos de abastecimiento obtenidos a partir de las más deseables fuentes y no se contempla su aplicación a aguas ya utilizadas, empleadas directamente como fuentes de agua". Además debe recordarse que por lo general las normas sobre agua potable se han desarrollado para su uso en conjunción con una vigilancia sanitaria que asegure una fuente relativamente no contaminada. Las normas no han tomado nunca en consideración posibles elementos y compuestos tóxicos como los que pueden encontrarse en aguas residuales.

Es evidente desde luego que antes de utilizar cualquier agua residual, deben determinarse sus características químicas y vigilarse adecuadamente a fin de asegurar que no llega al usuario ninguna sustancia de naturaleza dañina. A pesar de los procedimientos extensivos desarrollados hasta la fecha, el hecho es que hay metales y productos orgánicos perjudiciales que pasarán a través de dichos procesos.

El estudio toxicológico en detalle de aguas residuales tratadas de forma extensiva, no se ha terminado y por tanto los responsables sanitarios no están en situación de poder juzgar, de forma completa y segura, las implicaciones sanitarias. Cuando dicho convencimiento llegue a ser posible todavía habrá que desarrollar sistemas de vigilancia continua de esas sustancias.

En su mayor parte los productos orgánicos no biodegradables no son eliminados por los procedimientos de tratamiento de aguas residuales, tales como las técnicas de absorción por carbón. Algunos de estos productos orgánicos se han mos-



trado peligrosos para la salud. En este momento no están aún disponibles todas las técnicas para aislar, identificar, medir y combatir —en términos de salud humana— estos productos orgánicos. Es responsabilidad del abastecedor de agua quedarse del lado de la seguridad en cualquier cuestión que afecte a la posible introducción de tales contaminantes en un abastecimiento público de agua potable.

Radioactividad

Los nucleidos radioactivos que transporta el agua provienen principalmente de accidentes radioactivos. Por tanto, en la reutilización de aguas no es necesario dedicar a este efecto especial atención. Sin embargo, si el agua residual contiene efluentes procedentes de hospitales u otros laboratorios en los que se emplean materiales radioactivos y su manejo no puede controlarse bien, algún material radioactivo puede llegar al agua reutilizada.

Agente X

De considerable importancia en relación con la salud pública es la investigación del crecimiento de un agente X desconocido o del establecimiento de un entorno favorable para la reproducción de microorganismos dañinos cuando se lleva a cabo un reciclado del agua para su reutilización.

A primera vista puede verse que la concentración de un agente X puede alcanzar niveles astronómicos considerando la posibilidad de un número ilimi-

tado de reciclajes y la adición de una nueva cantidad de agente X en cada ciclo. Sin embargo, el análisis del balance de materiales ha mostrado que el aumento estaría limitado.

Cuando el abastecimiento y tratamiento de agua residual se consideran como sistemas sencillos puede verse que se alcanzará una concentración máxima en condiciones estables cuando se elimina tanta cantidad de agente X como la que se añade. Por ejemplo, si se supone un 10 por 100 de eliminación de agente X en cada pasada (un porcentaje mínimo considerando tanto pérdidas en el agua como en el efluente) se alcanzará un estado de equilibrio cuando la cantidad en el caudal afluente sea igual a diez veces la cantidad que entra de agente X en cada pasada.

Para porcentajes más bajos de reutilización la condición de equilibrio se alcanzará antes.

Como se ha indicado, la reutilización de aguas residuales no pasará del 90 por 100; consiguientemente la concentración máxima de cualquier constituyente no pasará de diez veces la que se espera encontrar en el agua residual después de cada pasada inicial. Si el porcentaje del agua reutilizada es menor del 90 o si se instituye un tratamiento para el agente X, el factor de concentración máxima será mucho menor. Aunque parece que el crecimiento está autolimitado, es todavía esencial llevar a cabo ensayos pilotos y a escala natural, teniendo en cuenta los límites máximos presumibles de conta-

minante que interesa (agente X). Por ejemplo si el agente X es manganeso, con una concentración inicial de 0,04 mg/l, entonces el límite de 0,05 mg/l sería superado con tan solo un 20 por 100 de reutilización del agua residual.

Además, y todavía desconocidas, son las posibilidades no deseables de establecimiento de medios favorables para la multiplicación de microorganismos dañinos en procesos de reutilización. La proliferación de microorganismos podría considerarse como un agente X hasta ahora no considerado en estudios de plantas piloto.

Seguridad de explotación

La seguridad de explotación de depuradoras es de capital importancia. Suponiendo que se hayan desarrollado e instalado los procesos correctos en la actualidad es muy pequeño el grado de seguridad en cuanto al funcionamiento de las plantas.

En Estados Unidos el National Community Water Study encontró que el 36 por 100 de 2.600 muestras estudiadas contenían uno o más constituyentes que superaban los "standards" USA para aguas potables de 1962. Además, informes recientes cuestionan la seguridad de los procesos convencionales de tratamiento de aguas para eliminar virus.

En California y según un estudio oficial realizado en 1964 por el departamento de salud pública de dicho Estado, el 56 por 100 de las plantas experimentaron serios problemas incluyendo puesta fuera de servicio, durante el año anterior al estudio. Alrededor de un 33 por 100 de las plantas señalaron la necesidad que experimentaron de verter directamente aguas residuales sin tratamiento durante periodos que variaron entre 6 horas y 300 días.

Para la adecuada protección de la salud pública, es claro que se necesita una aceleración en la investigación y desarrollo que proporcione seguridad de funcionamiento, vigilancia y control, particularmente cuando se trata de aguas potables.

Algunos de los principios básicos de explotación a tener en cuenta son:

- provisión de equipos de repuesto para el caso de fallo de los principales, sobre todo en desinfección
- provisión de un almacenamiento entre el sector de tratamiento de agua residual y la toma de agua potable que permita la vigilancia y comprobación biológica antes de la reutilización

- provisión de un medio alternativo para tratar las aguas residuales en caso de fallo de larga duración.
- establecimiento de una vigilancia de seguridad y dispositivos de alarma para mantener un control continuo del sistema.

Conclusiones y recomendaciones

La reutilización de aguas residuales se practica hace ya largo tiempo. La reutilización más directa de esas aguas es algo más que necesaria en zonas de pobres recursos hidráulicos con creciente población y exigencias industriales. Sin embargo, muchas cuestiones sanitarias permanecen sin contestación, que debe conseguirse antes de que tenga lugar un uso ilimitado y corriente de las aguas recicladas.

- 1.º. Es necesario hacer estudios sobre virus para: desarrollar sistemas de detección de virus y metodología de identificación, Explorar y definir las propiedades básicas de virus entéricos, Investigar la transmisión de virus por vía acuática, Definir el impacto de las enfermedades víricas sobre el hombre a través de estudios epidemiológicos asociados, Desarrollar tecnología para la eliminación e inactivación de virus.
- 2.º. Investigar los problemas potenciales debidos a bacterias y otros microorganismos en sistemas de reutilización.
- 3.º. Identificar y definir los efectos potenciales sobre la salud de productos químicos orgánicos y diversos no eliminados por las plantas de tratamiento y desarrollar técnicas para identificar y medir fácilmente las concentraciones de tales productos.
- 4.º. Estudiar la seguridad de explotación de plantas de tratamiento de aguas. Las plantas deben disponer de procesos seguros, instalaciones de cierre, medios alternativos de manejo del agua, control continuo y comprobación biológica y deben funcionar en una atmósfera que exige seguridad. Es necesario llevar a cabo ensayos a escala natural para comprobar procesos y sistemas antes de su uso extensivo.
- 5.º. Utilizar el sentido común. El agua reciclada no debe utilizarse para uso personal —como abastecimiento de agua para la bebida— hasta que no haya otra opción, y entonces es de esperar que al menos la investigación básica se haya desarrollado y se haga un uso cuidadoso

POSIBILIDADES DE REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES Y RIESGOS SANITARIOS

y controlado. Entre tanto, en zonas de escasos recursos, la reutilización de aguas residuales para fines industriales o de riego y otros de escasa incidencia directa sobre las personas debe investigarse y avanzar.

Sistemas de tratamiento empleado:

Los procedimientos de depuración y tratamiento empleados son muy variados. A continuación se presentan ejemplos diversos de reutilización tendiendo a su orden cronológico, para poner de manifiesto la evolución seguida por estas técnicas.

En 1950, en el condado de Los Angeles (USA) se llevó a cabo un trabajo experimental con inyección de agua residual tratada en el terreno con fines de recarga artificial, obteniéndose buenos resultados.

En otros lugares de California se utilizaron sistemas de aireación por fangos activados, seguidos de maduración y cloración del efluente, utilizándose el agua para recarga. En San Diego se utiliza un sistema de fangos activos modificado seguido por maduración en estanques de oxidación y cloración seguida de filtración. La eliminación de virus y bacterias es muy grande, como se demuestra en las Tablas 2 y 3.

El proyecto de South Tahoe (California) utiliza el siguiente proceso:

1. Tratamiento del líquido

Sedimentación primaria

Oxidación biológica por cienes activos y una combinación de difusores de aire y agitación mecánica.

Sedimentación secundaria para clarificación.

Agitación rápida.

Agitación lenta y floculación mediante aire.

Clarificación química.

Torres de eliminación de nitrógeno.

Lechos de recarbonatación y separación.

Columnas de carbón a presión.

Cloración final.

2. Tratamiento de sólidos

Los fangos, rejillas, etc. se centrifugan para secarlos parcialmente y luego son incinerados.

Los resultados obtenidos pueden verse en la Tabla 4. El agua, de gran calidad, es bombeada a un depósito y utilizada para el riego.

En el distrito de Orange County (USA) ha comenzado la construcción de una planta que proporcionará agua de elevada calidad que se mezclará con agua de mar desalinizada, utilizando la mezcla

TABLA 1
CARACTERISTICAS DE CALIDAD MEDIAS.
PLANTA PILOTO DE POMONA (carbón activo)

Parámetro	Afluente a la planta	Efluente a la planta
Sólidos en suspensión - mg/l	10	< 1
DQO - mg/l	47	9,5
DQO disuelto - mg/l	31	7
Carbón orgánico total - mg/l	13	2,5
Nitratos - mg/l, en N	6,7	3,7
Turbidez - Jtu	10,3	1,6
Color - unidades	30	3
Olor - unidades	12	1

TABLA 2
CONCENTRACION MEDIA DE DBO, DQO, SOLIDOS EN SUSPENSION Y SOLIDOS EN SUSPENSION VOLATILES EN SANTEE (CALIFORNIA)

Localización	Concentración - mg/l			
	D.B.O	D.Q.O	SS	SSV
Aguas residuales	300	1090	580	500
Efluente de la planta de tratamiento secundario	35	175	62	54
Efluente después del estancamiento	29	185	69	55
Agua filtrada	3,5	41	8,6	4,2

TABLA 3
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS BACTERIOLOGICOS

Localización	N.M.P.		
	Coliformes	Colif. fécal.	Strept. fecal
Aguas residuales	49.000.000	28.000.000	1.600.000
Efluente de la planta de tratamiento secundario	7.900.000	4.900.000	490.000
Efluente después del estancamiento	300.000	130.000	11.000
Agua filtrada	3.300	78	1.100
Agua filtrada y clorada	< 2	< 2	< 2

como barrera frente a la intrusión de agua salada. El proceso es el siguiente:

1. Clarificación química.

Floculación después de agitación rápida.
Estanques de sedimentación.

POSIBILIDADES DE REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES Y RIESGOS SANITARIOS

TABLA 4

CALIDAD DEL AGUA RECICLADA EN LA PLANTA DE SOUTH TAHOE (CALIFORNIA)

DESCRIPCION	ENERO % tiempo			FEBRERO % tiempo			MARZO % tiempo		
	S.A.A.M.-mg/l	0,16	0,28	0,35	0,20	0,27	0,29	0,11	0,13
D.B.O. - mg/l	1,6	2,9	3,1	1,6	1,6	1,6	0,9	1,5	1,7
D.Q.O. - mg/l	11	13	19	11	16	25	9	12	16
Sólidos suspensión - mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fosfatos - mg/l	0,15	0,26	0,54	0,13	0,31	0,49	0,22	0,28	0,51
Intervalos PH	6,4 - 8,9			6,6 - 7,4			6,6 - 8,5		
Colif. NMP/100 ml	2,2			2,2			2,2		
Caudal de la planta-mil gal	69,0			53,9			57,5		

S.A.A.M. Sustancias activas al azul de metileno.

2. Eliminación de amoníaco.
3. Recarbonatación en dos etapas.
4. Filtración.
5. Adsorción por carbón.
6. Cloración.

En las Tablas 5 a 7 puede comprobarse la excelente calidad del efluente.

En cuanto a los resultados obtenidos y según señalaba recientemente el director del proyecto de South Tahoe:

1. El organismo de control de los recursos hídricos de California ha aprobado oficialmente las aguas recuperadas, con fines deportivos, como pesca, vela, natación y esquí acuático.
2. El tratamiento químico, la filtración y la adsorción por carbón granular son métodos eficaces y económicos para un tratamiento terciario. La factibilidad y facilidad de control de estos métodos son considerablemente mayores que para los tratamientos biológicos convencionales.
3. El tratamiento del agua residual puede hacerse de forma que garantice la seguridad mediante la apropiada selección y secuencia de procesos unitarios y un adecuado proyecto de la planta.
4. Las bacterias y virus pueden eliminarse totalmente de aguas pretratadas, utilizando pequeñas dosis de cloro, apropiadamente aplicado incluso en presencia de relativamente altas concentraciones de ión amoníaco.

TABLA 5

CALIDAD DEL AGUA EN LA PLANTA DE ORANGE COUNTY (CALIFORNIA)

CONSTITUYENTE	Concentración - mg/l	
	AFLUENTE	EFLUENTE
Calcio	70-110	80
Magnesio	20 - 45	2
Potasio	20 - 35	20 - 35
Sodio	240 - 260	240 - 260
Bicarbonato	200 - 450	250
Sulfato	270 - 350	270 - 350
Cloruros	300 - 350	300 - 350
Fosfato	20 - 25	< 1
Nitrógeno orgánico	5 - 15	< 1
amoníaco	15 - 30	2
nitritos	< 1	< 1
nitratos	< 1	< 1
Sólidos en susp.	30 - 80	< 1
D.B.O.	30 - 80	< 2
D.Q.O.	100 - 200	10 - 30
S.A.A.M.	3 - 4	0,1

TABLA 6

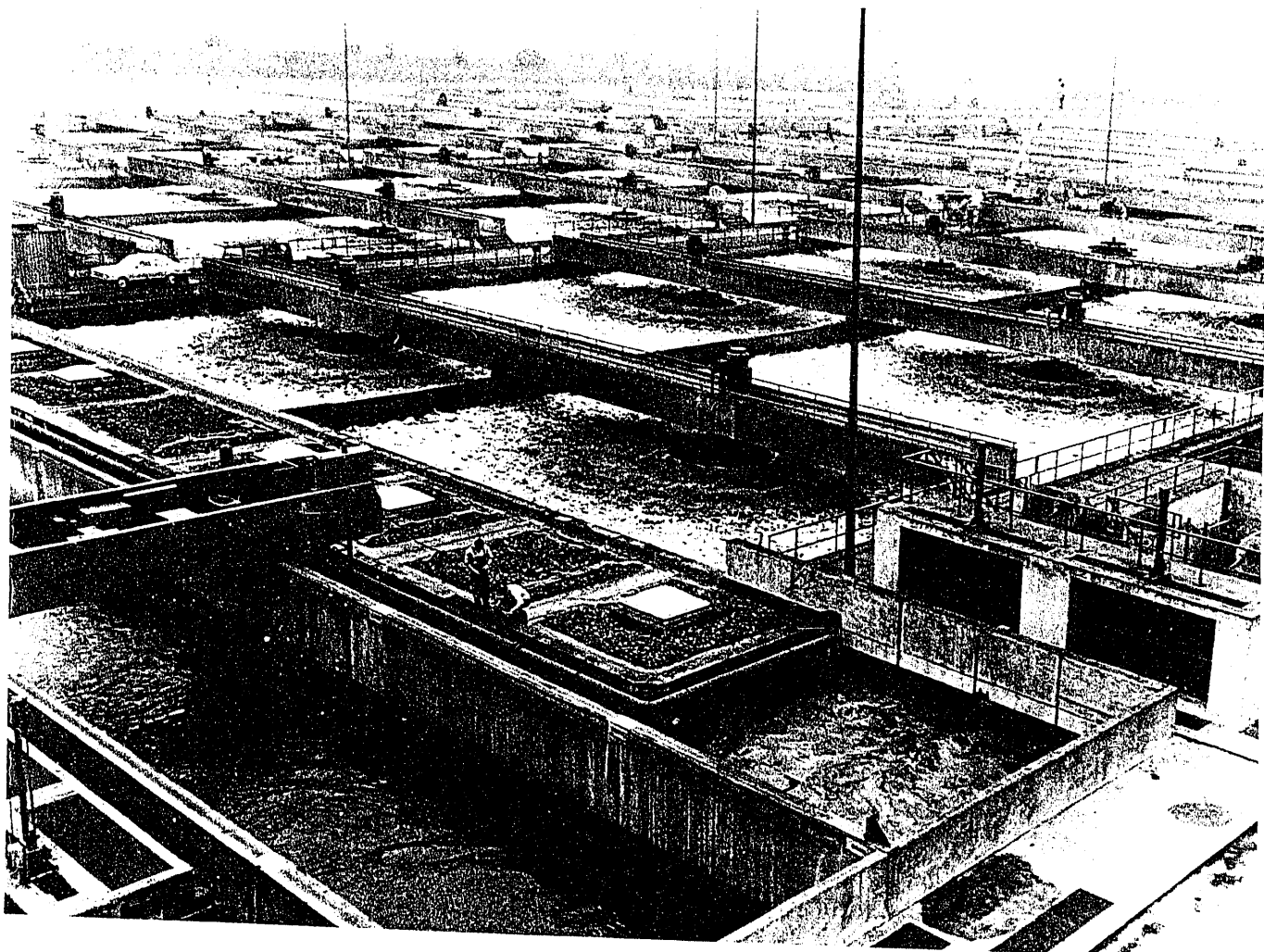
RESULTADO DE LOS ENSAYOS BACTERIOLOGICOS DESPUES DE FILTRACION POR MEMBRANA

Puntos de muestreo	N.º ensayos	N.º ensayos positivos	Colonias/100 número
Coliformes			
En el efluente del clarificador	22	18	0 - 9.900
Coliformes fecales en el Efluente clarificado	22	8	0 - 162
Efluente de la planta	23	0	0 - 0
Streptococcus fecales			
Efluente clarificado	22	21	0 - 6.280
Efluente de la planta	23	0	0 -

TABLA 7

ELIMINACION DE METALES PESADOS EN LA PLANTA ORANGE COUNTY (CALIFORNIA)

Elementos	Concentración mg/l		
	Media del efluente	Máximo	Standard
Arsénico	0,011	0,03	0,05
Bario	0,01	< 1,	1,0
Cadmio	0,002	0,005	0,01
Cromo hexavalente	0,02	0,04	0,05
Plomo	0,02	0,04	0,05
Plata	< 0,01	< 0,01	0,05
Selenio	0,0002	0,0003	0,01
Mercurio	< 0,001	0,006	0,005
Cobre	0,1	0,3	1,0
Zinc	0,04	0,07	5,0



5. Los fangos activos pueden incinerarse hasta su esterilización, sin contaminar el aire.
6. La cal utilizada puede recuperarse y reutilizarse.
7. El carbón activo granulado utilizado para absorber materia orgánica puede regenerarse térmicamente y reutilizarse con éxito.
8. El coste del tratamiento seguido en Tahoe es de unas dos veces el coste de un tratamiento convencional, pero los rendimientos son más del doble desde el punto de vista de que se trata de un sistema exento de polución, y la comparación puede ser aún más favorable para niveles exigidos de calidad del agua inferiores a los encontrados en Tahoe.

En la actualidad las tendencias existentes en cuanto a procesos de tratamiento y medida son los siguientes:

1. *Métodos de tratamiento.*

Utilización de calor de residuos industriales para favorecer el tratamiento.

Inactivación proteolítica y microbiana de enterovirus.

Uso de polielectrolitos para la eliminación de iones metálicos pesados.

Disminución de coste por utilización de técnicas de intercambio de iones.

Uso de carbón activo.

Reducción de coste en métodos de eliminación de nutrientes.

2. *Técnicas de medida*

Cromatografías de gases en el control de abastecimiento para determinación de posibles compuestos tóxicos o hidrocarburos.

Uso de cromatografías de intercambio de iones para determinación de compuestos orgánicos estables.

Detección de virus mediante procesos de concentración en membranas.

Determinación e identificación de organismos indicadores por técnicas de fluorescencia.

Medición total del carbón orgánico para comprobar la eficacia del tratamiento terciario.