

La economía de la utilización del agua

Por Federico LOPEZ MATEOS

Catedrático de Química Industrial, Economía y Proyectos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza y

director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Zaragoza.

La Economía es la ciencia que estudia el comportamiento humano en cuanto a la relación entre los fines y los medios escasos de usos alternativos, y el agua se ha convertido, desde hace no muchos años, en una de las materias estratégicas para el desarrollo humano, porque frente a unos caudales disponibles con calidad suficiente, prácticamente constantes, se presenta una demanda que crece en forma exponencial, no para el consumo —en el más estricto sentido de la palabra— sino para usos y servicios que la inutilizan para su posterior empleo.

Nos encontramos, pues, ante un problema al que la técnica, cuyo por qué está en la ciencia y el para qué en la economía, tiene que buscar soluciones que permitan resolver las graves dificultades que se plantean. El problema del agua se agrava por momentos, de forma lenta pero constante, paralelamente y como efecto del crecimiento demográfico, la elevación del nivel de vida y el incremento de la industrialización. En cualquier caso, nos encontramos, todavía, en condiciones de afrontar este reto y considerar las diferentes posibilidades de que se dispone para darle la adecuada respuesta.

En este sentido se consideran los recursos hidrológicos disponibles, para, después, analizar los empleos del agua y las actividades que colaboran a su degradación, con lo que se dispone de las premisas necesarias para exponer los sistemas que se emplean para resolver la grave situación que se plantea.

CICLO HIDROLOGICO

Utilizando los datos publicados por Isidro Aparicio en el estudio sobre la problemática del agua en los Estados Unidos, se puede

seguir, dentro de unos órdenes de magnitud, el ciclo hidrológico (ver figura 1).

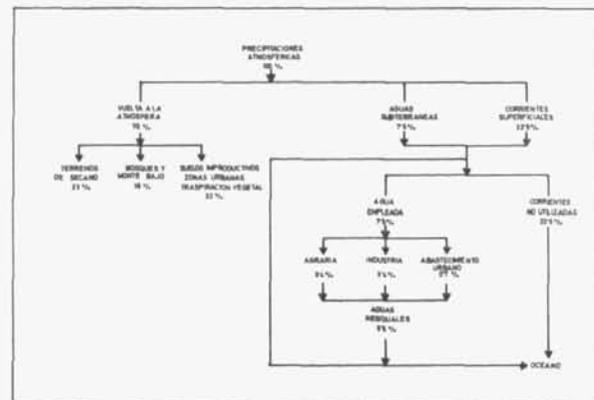


Fig. 1. Ciclo hidrológico

Sobre el diagrama se observa que, aproximadamente, el 70 por 100 de las precipitaciones vuelven a la atmósfera directamente, por evaporación y transpiración en el mismo lugar en que cae el agua. Esta cantidad no se pierde totalmente, ya que algo más de la mitad (el 40 por 100 de la precipitada) se utiliza para sostener la agricultura de secano, bosques y praderas, como una parte de la alimentación a los regadíos y las zonas de pastos. El resto se evapora de suelos improductivos. El 30 por 100 de la precipitación es el caudal que pasa a las corrientes superficiales o aguas subterráneas. La cuarta parte se emplea en el sector agrícola, usos industriales y abastecimientos urbanos; sólo un tercio de este agua se consume realmente y el resto transcurre por las corrientes no utilizadas, a las que van a parar las aguas residuales procedentes de los empleos anteriores.

Respecto a las aguas subterráneas, sólo se extrae el 1 por 100 del total recogido en las precipitaciones atmosféricas. Este dato, unido al elevado porcentaje de las corrientes no utilizadas, proporciona una cierta tranquilidad en cuanto al agua disponible; sin embargo, las perspectivas que presenta la deficiente utilización de los recursos hidráulicos a causa de la contaminación de las corrientes es verdaderamente alarmante: el empleo de las aguas superficiales como vehículo de los vertidos residuales es, por el momento, el más grave atentado al porvenir mundial de abastecimiento de agua potable.

Es evidente, por tanto, el interés que presenta conocer con algún detalle la medida en que se emplea el agua y, en cada caso, la contaminación que recibe.

AGUA PARA EL ABASTECIMIENTO URBANO

El abastecimiento urbano de agua comprende las necesidades para uso personal, servicios públicos, hostelería y pequeña industria de carácter artesanal.

Las previsiones futuras para este sector se basan en las teorías sobre el crecimiento de la población y el desarrollo económico y social, con una imprecisión que afecta de forma muy intensa a las zonas turísticas, preferentemente en las poblaciones litorales y en las temporadas altas. En cualquier caso, se prevé unas necesidades de agua de 400 l./habitante-día.

Las aguas residuales urbanas son, en general, de composición homogénea, con un predominio de la materia orgánica biodegradable. En su clasificación más completa se distinguen las aguas de escurrido (lluvias, riegos, limpieza, etc.) y las domésticas, que se subdividen a su vez en aguas fecales y caseras; estas últimas son las que llevan la mayor carga contaminante.

El caudal de vertido también es función del nivel de vida y número de habitantes del núcleo urbano; así, según los países, que pueden reflejar el nivel de vida, resulta:

Países	l./habitante-día
Bélgica	100
Suecia	250
Suiza	350
EE. UU.	380

y por el número de habitantes del núcleo urbano:

Número de habitantes	l./habitante-día
< 10.000	150
10.000-50.000	200
> 50.000	250-500

En cuanto a su composición, junto a la materia orgánica, se encuentran los productos de arrastre (arena y materias en suspensión) y una elevada riqueza en gérmenes patógenos o no, como son las especies: *Escherichia Coli*, *Streptococcus Faecalis* y *Clostridium Welchii*, en un número que oscila entre el 1.000.000 y 10.000.000 por ml.

AGUA PARA EL SECTOR AGRARIO

Su empleo en actividades agrarias también es causa de graves modificaciones en los cursos de agua, desde la aparición de la agricultura intensiva, debido a la eliminación de excrementos animales, el abonado intensivo y los plaguicidas.

La producción de estiércol, por ejemplo, en la zona norte de España se estima en 6.700.000 Tm./año, de las que 1.450.000 se dejan en pastoreo y 1.340.000 se utilizan como abono; el resto, casi 4.000.000 de Tm., se vierten en ríos o arroyos y también se depositan en lugares incontrolados, produciendo la consiguiente contaminación de las aguas, malos olores y el peligro de convertirse en focos infecciosos.

A estos desechos conocidos de antiguo se añaden hoy los de las granjas intensivas, que al no poseer tierras de labor anejas, en muchos casos, agudizan el problema de la eliminación de estiércol. La importancia de estos establecimientos ha llevado a muchos países a intervenir y condicionar las instalaciones situándolas en áreas determinadas, a cierta distancia de los núcleos habitados, obligando a contar con instalaciones para la destrucción de las deyecciones o con superficie agrícola suficiente para su distribución, a la vez que se prohíbe el vertido a cursos de agua o su almacenamiento en tierras permeables.

En cuanto a las necesidades de agua para el campo, es preciso distinguir entre necesidades y demandas, pues las primeras son potenciales y dependen sólo del clima y tipo de cultivo, mientras que las segundas están influidas por la actividad humana, ya que dependen del tipo de riego, alternativas de cultivo, etc.

Por tradición, los cultivos se clasifican en: secano y regadío. En el primer caso se deja actuar el clima de la zona y todo lo más se añaden los llamados riegos de auxilio; para regadío se calcula una dotación de agua y se aplica en riegos intermitentes y, en la mayoría de los casos, periódicos. Las demandas van desde los 1.500-2.000 m³/habitante-año, para riegos de auxilio, hasta 8.000-10.000 m³/habitante-año en regadíos; una cifra de 5.000-6.000 m³/habitante-año puede ser bien aceptada, aunque el consumo es inferior porque las pérdidas oscilan entre 20 y 40 por 100, según se hagan los riegos. Lógicamente, en el futuro, las cifras de demanda por unidad de superficie se mantendrán o disminuirán al mejorar las técnicas de riego y reducción de pérdidas. Pero el aumento

demográfico impone el incremento de los terrenos de labor, transformando los de secano en regadío, y la utilización masiva de abonos químicos para mantener rendimientos altos. Se estima que, para un suelo de tipo medio, son necesarios aportes de 40-70 Kg./Ha. de N_2 , 6-10 Kg./Ha. de $P_2O + K_2O$, cantidades que producen un progresivo deterioro del medio ambiente por su bajo coeficiente de utilización, que provoca la contaminación de los cursos de agua por arrastre o infiltraciones en terrenos permeables.

El otro origen de la contaminación agrícola son los plaguicidas y pesticidas empleados en la lucha contra los enemigos de las plantas, animales y otros organismos que atentan a la salud pública. La intensidad de aplicación de dichos productos es variable dependiendo del tipo de cultivo y las características de la región, llegando en algunas explotaciones agrícolas intensivas a aplicar dosis de hasta 7 Kg./Ha. de herbicidas y 4 Kg./Ha. año de fungicidas.

Dada la importancia de estos productos, señalaremos la base de su composición que puede dar una idea de la calidad de la contaminación que provocan, son: derivados de azufre, derivados cúpricos, compuestos mercuriales, compuestos orgánicos de síntesis e insecticidas fosforados.

Sobre la intensidad de la contaminación agraria inciden los factores geográficos, el modo de empleo y las características de los productos empleados. La existencia de una fuerte orografía favorece la formación de torrentes, que producen el lavado de los suelos y el aumento de las concentraciones de abonos y plaguicidas en los cursos de agua; por otra parte, los terrenos permeables facilitan las aguas de infiltración, favoreciendo la contaminación de los cursos subterráneos de agua.

AGUA PARA LA INDUSTRIA

La industria utiliza el agua con diferentes fines, como son: la refrigeración o calefacción, procesos industriales, lavados y servicios, englobando en esta última partida las aguas utilizadas en circuitos de incendios, laboratorios, aseo de personal, etc.

Parece claro que la evolución de la demanda por unidad fabricada tenderá a reducirse por el aumento futuro de su coste, lo que, seguro, forzará a la búsqueda de sistemas que reduzcan el agua utilizada. Analizando la situación por partidas: el agua para servicios tenderá a crecer al mismo ritmo que el abastecimiento urbano; la utilizada en los procesos industriales se mantendrá dentro del mismo orden de magnitud por unidad fabricada y el agua para refrigeración o calefacción experimentará una regresión de la demanda, incrementándose las recirculaciones. De todas formas, la demanda

es extremadamente variable, según el tipo de industria, lo que obliga a un desglose, si se desea tomar conciencia sobre los sectores más influyentes.

El aporte de carga contaminante de origen industrial representa en los países desarrollados el 50 por 100 del total, siendo normal para los países en vías de desarrollo, como el nuestro, porcentajes del 30 por 100; sin embargo, la localización de la industria en zonas determinadas, tales como: cuencas fluviales, yacimientos, puertos, etc., la hacen que se destaque más que cualquier otra.

Tampoco es posible la tipificación genérica de los vertidos industriales, dada la complejidad de su composición, aunque es normal la presencia de metales pesados: plomo, cobre, cromo, cadmio, etc., junto a compuestos fenólicos, cianuros y sulfuros, que actúan como inhibidores de degradación y, por su acción tóxica, influyen negativamente sobre la fauna y flora acuática.

Se distinguen cuatro grupos de vertidos, relacionados con las industrias que los proporcionan:

1.º Los efluentes de industrias que trabajan sobre productos orgánicos naturales: alimentación, bebidas, papeleras, curtidos y textiles.

2.º Efluentes de industrias químicas de base: fabricación de ácidos, bases, compuestos orgánicos y gases industriales.

3.º Vertidos de industrias de transformados metálicos, típicamente inorgánicos entre las que destacan, sobre todo, las dedicadas a recubrimientos superficiales de base galvánica.

4.º Efluentes que proceden de industrias mineras y extractivas.

Industrias alimentarias.—Para ellas se exige un agua en condiciones óptimas de potabilidad, como las de abastecimiento urbano, exentas de coliformes, estreptococos y clostridios. Todas consumen grandes cantidades de agua que oscilan entre 300 l./Kg., para la fabricación de bebidas instantáneas, y 5 l./Kg. en fabricación de conservas. Del volumen total apuntado, entre el 80 y 90 por 100 se destina a servicios e intercambio de calor, el resto se utiliza como aditivo del producto o para el lavado. Los vertidos son muy dispares entre las distintas fábricas y la irregularidad temporal de su funcionamiento. Con todo, se puede afirmar que son muy ricos en materia orgánica, sólidos en suspensión y gérmenes patógenos, fácilmente asimilables a los de los vertidos urbanos.

En la Tabla I se presentan algunos datos de la capacidad contaminante de estas industrias.

TABLA I

CAPACIDAD CONTAMINANTE DE ALGUNAS INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Industrias	Volumen de vertido, m ³ /Tm.	DBO ₅ (*)	Habitantes equivalentes (**)
Lecheras	7-9	300-3.000	100
Quesera	2-4	500-5.000	50-250
Mataderos	2.000-5.000	1.000-2.000	400
Azucareras	10-20	1.000-3.000	200
Conservas vegetales.	4-16	500-750	200
Cerveceras	10-18	850-1.750	400
Del pescado	30-50	4.000-8.000	—

(*) mg O₂/litro (p.p.m.) que necesita la población bacteriana para degradar la materia orgánica biodegradable.

(**) Cada 77 g. de O₂/día, vertido como DBO, equivale a 1 persona, ya que esta cantidad de O₂ es la necesaria para degradar los desechos promedios de una persona. El número de personas equivalentes se obtiene multiplicando el caudal vertido (m³/día) por su DBO (g./m³) y dividiendo por 77 g./día por persona.

Industrias químicas, petroquímicas y siderúrgicas.—Cifran su consumo de agua en 2.000 m³/obrero y año. La distribución del tipo de empleo de la misma es muy variable, según la actividad industrial. Como orientación, se pueden presentar los siguientes valores:

Tipo de industrias	Consumo
Acería	245 m ³ /Tm.
Refinería de petróleo	770 m ³ /barril
Amoniaco	80 l./Kg.
Acido nítrico	42 l./Kg.
Acido sulfúrico (92 por 100).	37 l./Kg.
Sosa	13 l./Kg.

Todos ellos referidos a procedimientos con circuitos de refrigeración abiertos; para el futuro, y en la industria siderúrgica en particular (en la que se alcanzan índices de reciclado con un valor de 5 como media) parece que la proporción aceptable de consumo se estabilizará en 20 m³/Tm.

El alto volumen de producción que alcanza hace interesante el que se profundice un poco más en la exposición de la contaminación de las aguas originada por las refinerías y plantas petroquímicas. La distribución de su uso es, a grandes rasgos, del 50 por 100 para refrigeración, 45 por 100 para procesos y 5 por 100 para servicios. Aunque los grados de contaminación varían enormemente de unas plantas a otras, de acuerdo con las unidades incluidas, con el tipo de crudo empleado y con la localización de la planta, se puede afirmar, en términos generales, que su valor es menor que en otros tipos de industria.

Hasta hace muy poco este sector industrial no había afrontado el problema y vertían directamente al mar, después de hacer sólo una sepa-

ración aceite-agua. La situación ha cambiado y las refinerías y petroquímicas, prácticamente en su totalidad, llevan su correspondiente estación depuradora.

La tipificación de las composiciones de los vertidos es difícil, tanto por la variedad de materias primas y productos, como por los procedimientos seguidos. Se han recogido los datos de Eckenfelder (Tabla II) en los que se presenta la composición y caudales de las aguas residuales en la producción de algunos compuestos petroquímicos, que puede dar una idea bastante clara de las características del sector.

TABLA II

CAUDALES Y COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA PETROQUIMICA

Producto	Volumen de vertido, m ³ /Tm.	DBO ₅
Etileno	0,2-6	100-1.000
Propileno	0,4-8	100-1.000
Tolueno	1,2-12	300-2.500
Xileno	0,8-12	500-4.000
Amoniaco	1,2-12	25-100
Metanol	1,2-12	300-1.000
Etanol	1,2-16	300-3.000
Butanol	0,8-8	500-4.000
Etil-benceno	1,2-8	500-3.000
Hidrocarburos clorados	0,2-4	50-150
Fenol, cumeno	0,0-40	1.200-10.000
Acetona	2,0-6	1.000-5.000
Glicerina, glicoles	4,0-29	500-3.500
Urea	0,4-8	50-300
Anhidrido acético	4,0-32	300-5.000
Acido teraftálico	4,0-12	1.000-3.000
Acrilatos	4,0-12	500-5.000
Acilonitrilo	4,0-40	200-700
Butadieno	0,4-8	25-200
Estireno	4,0-40	300-3.000
Cloruro de vinilo	0,4-0,8	200-2.000
Polietileno	1,6-6,4	—
Polipropileno	1,6-6,4	—
Poliestireno	2,0-4,0	—
Cloruro de polivinilo	6,0-12	50-500
Tintes y pigmentos	200-1.000	200-400
Isocianato	20-40	1.000-2.500
Fosfato de tributilo	4-16	500-2.000

Industrias de transformados metálicos.—En este grupo destacan las fábricas y talleres de tratamientos electroquímicos. Se incluyen las industrias dedicadas a recubrimientos metálicos protectores de la corrosión, que exaltan las características físicas del producto o mejoran su aspecto exterior.

La complejidad de los vertidos que proporcionan permiten distinguir distintas corrientes:

Primera.—Aguas con impurezas mecánicas sólidas: virutas, arena, abrasivos y barros (normalmente hidróxidos metálicos de sedimentación lenta).

Segunda.—Vertidos que contienen líquidos no miscibles: gasolinas, benceno, tricloroetileno, aceites, etc., que son componentes potencialmente peligrosos, que pueden provocar explosiones en las redes de alcantarillado.

Tercera.—Baños ácidos de diferentes metales, procedentes del decapado. Son disoluciones concentradas de líquidos altamente corrosivos y con gran cantidad de metales, además de los ácidos: sulfúrico, clorhídrico, nítrico, fosfórico y/o crómico. Su funcionamiento es discontinuo y su descarga se realiza cuando no son regenerables.

Cuarta.—Baños de decapado alcalino, resultantes del pretratamiento del aluminio y del cinc.

Quinta.—Soluciones crómicas procedentes de los baños galvánicos, decapados y anodizados de aluminio.

Sexta.—Baños de fosfatación y pasivado que contienen ácido crómico, ácido nítrico y metales como : cinc, hierro y manganeso.

Séptima.—Aguas procedentes de los baños desengrasantes que contienen cianuros, nitritos, nitratos y sulfuros.

Como se ve, los productos que se emplean son muy variables y en la mayoría de los casos enormemente perjudiciales para la vida acuática, incluso en concentraciones muy débiles.

En esta rápida y seleccionada revisión de las industrias contaminantes es interesante reparar, por último, sobre las industrias textiles y las de celulosa y papel, debido a su elevada incidencia negativa en el vertido a los cauces.

Industrias textiles.—En estas fábricas se necesita agua para las operaciones de lavado, desengrasado, enzimado, carbonizado, batanado, blanqueo, tintura, aclarados, acabados químicos y aprestos. Su demanda es variable, según la fibra de que se trate; así, alcanza en cada caso los siguientes volúmenes:

Fibra	m ³ /Tm.
Algodón	1.000
Lana	840
Seda	660
Sintética	630

a la que se exige una elevada calidad, por lo que se la somete a la descarbonatación, descalcificación y desmineralización.

No se puede generalizar en cuanto a los vertidos, ya que los procedimientos de obtención de fibra y los distintos productos a elaborar imponen diferentes operaciones y procesos, variando la composición de las aguas residuales. Refiriéndonos a la lana, como fibra más común, los parámetros representativos de las aguas del lavadero son los recogidos en la Tabla III.

TABLA III

CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LOS LAVADEROS DE LANA

Producción	4.600	Kg./día
Caudal	480	m ³ /día

Color	1.680	mg. Pt./l.
Turbidez	11.920	mg. SiO ₂ /l.
Materia en suspensión	16	mg./l.
Índice de pH	9,88	unidades
Conductividad	5.280	micro mhos./cm.
Cloruros	1.382	mg. Cl./l.
Sulfuros	6,26	mg. S./l.
Amoniaco	190	mg. NH ₃ /l.
DQG (Permanganato)	608	mg./l.
DBO	1.800	mg./l.
Detergentes	7,6	mg./l.
Extraíbles al cloroformo	245	mg./l.

Industrias papeleras.—Están consideradas como de las que presentan mayor poder contaminante, con vertidos fuertemente coloreados y abundantes espumas, lo que les confiere una especial peligrosidad por su impermeabilidad al paso del aire, lo que, a su vez, provoca la muerte biológica del cauce receptor.

La demanda de agua varía mucho, según la materia prima y el procedimiento que se sigue. De todas formas, se toma una media de 200 m³/Tm. de madera, o de 8.000 m³/obrero y año.

En cuanto a la composición de los vertidos, en el caso más complejo, se encuentran: lignina, azúcares, ácidos grasos, acetona, furfural, cimeno, tanatos, tiofeno, etc., además de los residuos del agente químico de ataque. La coloración se origina por las sales alcalinas de la lignina y su elevado DBO por los productos de degradación de la celulosa.

La complicación suplementaria que se introduce en las fábricas de papel se debe a que se emplean unos 600 productos químicos diferentes, con los consiguientes efectos sinérgicos y complicación de los sistemas de depuración a los que llega una mezcla compleja de residuos de blanqueo con cloro, hipoclorito, clorhídrico y sosa, caolín, sulfato de bario y alúmina, resinosos, almidón, caseína, colorantes de base azufrada o derivados de la anilina. Así resulta, como valores medios por tonelada de papel terminada: 20 Kg. de sólidos en suspensión; 48,3 Kg. de sustancias disueltas y DBO equivalente a 14 Kg.

En la Tabla IV se recogen algunas características de los vertidos de estas industrias.

TABLA IV

CARACTERÍSTICAS DE LOS VERTIDOS DE LAS INDUSTRIAS PAPELERAS

Procedimiento de fabricación	Producción, Tm./día	Habitantes equivalentes
Pastas mecánicas	400	45.000
Pastas al bisulfito	180	720.000
Pastas alcalinas	860	215.000
Pastas alcalinas blanqueadas	700	45.000
Papel	2.700	270.000

SOLUCIONES TECNOLOGICAS A LA DEMANDA DE AGUA

El panorama que presenta este somero análisis informa sobre el incremento futuro de las necesidades de agua, según los criterios actuales, y la creciente deterioración de un patrimonio hídrico naturalmente limitado, por lo que se impone la inmediata puesta en marcha de las soluciones técnicamente disponibles para resolver el problema, tratando de hacer compatible el desarrollo industrial que es la base del progreso, con la conservación de la calidad de las aguas. No se puede olvidar que fue, precisamente, la existencia de los ríos la que dio origen al progreso de las regiones más industrializadas y que el abastecimiento de agua sigue siendo un factor decisivo en la ubicación de la moderna industria.

El asunto es de difícil tratamiento, por complejo, y amplio, por el enorme número de facetas que presenta. Sin embargo, parece claro que su resolución, inicialmente, puede venir por dos caminos: la búsqueda y aprovechamiento integral de nuevas fuentes de agua potable y la recuperación de las aguas residuales, cualquiera que sea su origen.

Para cubrir la insuficiencia de recursos habrá que acudir al alumbramiento de aguas profundas —aplicando la moderna y eficaz tecnología puesta a punto para la extracción del petróleo— y al estudio de métodos que permitan utilizar las aguas de inferior calidad; será necesario controlar y vigilar las redes de distribución que, en muchos casos, por efecto de la corrosión, ocasiona pérdidas superiores al 25 por 100 del agua potable disponible; se necesitará de la investigación de procesos industriales que consuman menos cantidad de agua y, por último, queda la enorme reserva de aguas marinas, cuyo empleo impone su desalación.

Pero de nada serviría el descubrimiento de nuevas fuentes de agua potable, ni la puesta a punto de procedimientos económicamente viables para desalinizar el agua del mar, si se siguen perdiendo las aguas por las redes de abastecimiento y vertiendo las aguas residuales que, más tarde o más temprano, contaminarán esos caudales tan trabajosamente obtenidos.

Las líneas de actuación que se siguen para evitar la contaminación de los cauces superficiales por encima de los límites de salubridad son las siguientes:

1.^a La reutilización sistemática de los vertidos, incrementando la concentración de los agentes contaminantes, lo que supondrá, en algunos casos, la posible recuperación rentable de compuestos disueltos y, en otros, la instalación de unidades depuradoras económicamente

más ventajosas que las que trabajan con disoluciones diluídas. Las empresas pueden conseguir resultados notables modificando y perfeccionando los procesos tecnológicos y concibiendo nuevos ciclos de producción más completos, de forma que se reduzca al mínimo o incluso se suprima el consumo de agua.

2.^a La dilución es todavía una de las técnicas más utilizadas. Sin embargo, un volumen de aguas residuales domésticas requiere la adición de cinco a diez volúmenes de agua limpia y muchísimo más necesita la dilución de los efluentes industriales de las industrias papeleras, químicas, etc. No creemos que deba ni siquiera pensarse en esta posibilidad, que deberá ser erradicada.

3.^a La evacuación de vertidos en pozos adsorbentes profundos es cada vez más incierta respecto a su aparición posterior contaminando aguas subterráneas, cuya calidad es necesario preservar. Además, debe pensarse en el grave inconveniente que supone el que, en esas condiciones, las aguas residuales se sustraigan a la regeneración biológica.

4.^a Queda, como único sistema que se considera viable para resolver el problema de la contaminación de las aguas, su depuración para la reutilización o vertido.

Las operaciones y procesos para la depuración de las aguas residuales se agrupan, de acuerdo con el objeto que se persigue en cada caso, en tratamientos primarios, físico-químicos y biológicos, a los que se incorpora un grupo de procedimientos, denominados de refinó, que permiten llegar a obtener, si es preciso, agua de la mejor calidad.

Los primarios, de tipo físico, se aplican para la recuperación de sólidos en suspensión y materias aceitosas, mediante las operaciones de: sedimentación, filtración, flotación, centrifugación, dilaceración, etc.

Con los tratamientos físico-químicos se recuperan los sólidos disueltos, ya sea en forma iónica o formando disoluciones coloidales, aprovechando las propiedades físicas y químicas de las corrientes residuales. En este grupo se encajan los procesos de neutralización, oxidación y reducción por vía química, precipitación, floculación y coagulación; el resultado, en cualquier caso, es la aparición de flóculos que arrastran impurezas dispersas y disueltas, como las materias colorantes, retenidas por absorción. El tratamiento se completa con la separación por filtración o sedimentación de los flóculos; a veces, para facilitar la operación, se añaden pequeñas cantidades de coadyuvantes, tal como féculas, alginatos, sílice aciva y, mejor aún, polielectrolitos, sustancias todas ellas que anulan el potencial Z, al que deben los coloides su estabilidad de dispersión.

Los tratamientos biológicos, dirigidos directamente al tratamiento de las aguas con alta DBO, comprenden procesos, naturales o artificiales, en los que intervienen microorganismos

aerobios para descomponer materia orgánica disuelta o finamente dispersa; en algunos casos se incorporan también microorganismos anaerobios. Las aguas residuales con carácter orgánico se tratan en un medio de cultivo que contiene materias nutrientes, a pH y temperatura adecuadas, con bacterias y la necesaria aportación de oxígeno para que se produzca la oxidación biológica. Inicialmente, los sistemas técnicos utilizados eran los denominados de lechos o filtros bacterianos y, posteriormente, aparecieron los de lodos activados.

Los lechos o filtros bacterianos están constituidos por un relleno de material cerámico sobre el que se desarrolla una intensa población bacteriana; a su través se hace pasar lentamente el agua que reduce así su DBO. Para mejorar el sistema, se ha propuesto el empleo de soportes de materias plásticas sobre los que se instalan los microorganismos; no necesitan estructuras consistentes y como, por otra parte, los costes son muy reducidos, se mejora considerablemente la economía del proceso.

Para las instalaciones de tamaño reducido se elige siempre la técnica de aireación prolongada que proporciona altos rendimientos de depuración y un coste nulo, prácticamente, de la mano de obra para explotación (ver figura 2).

Normalmente, en las estaciones depuradoras se trabaja con lodos activados añadidos a las aguas residuales, manteniendo siempre una aireación suficiente. La tecnología para desarro-

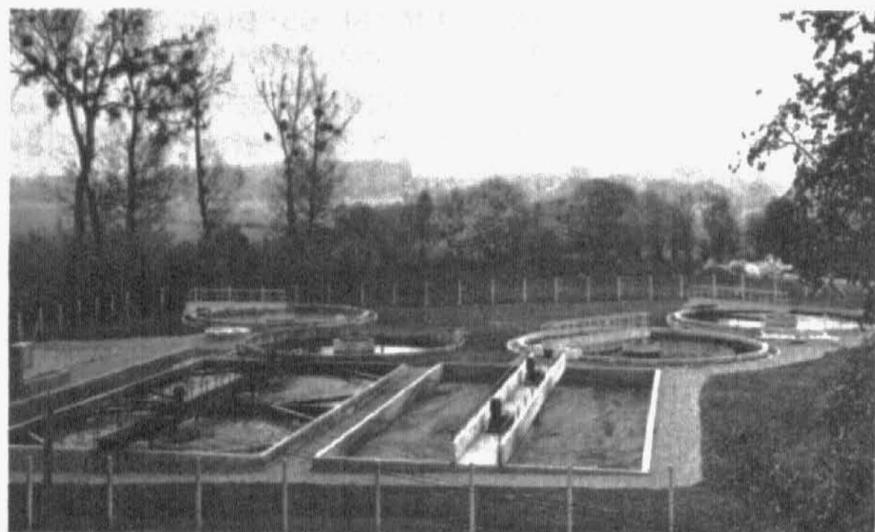


Fig. 2. Instalaciones de una estación depuradora de tamaño reducido

llar este tipo de tratamientos trabaja sobre los denominados canales de oxidación o activados, estanques de estabilización y estanques de aireación.

En el sistema de canales se reconstruye artificialmente el proceso de autodepuración de los cursos de agua en forma intensiva haciendo discurrir los vertidos a través de canales abiertos o fosas de oxidación, e incorporando el oxígeno adicional mediante un sistema de agitación mecánica que efectúa la aireación de las aguas en forma intensa y prolongada dentro del circuito en corriente a cierta velocidad, con lo que se

consigue la dilaceración y oxigenación en forma continua.

La actuación de los estanques de estabilización se basa en la depuración natural que se consigue en recintos poco profundos en los que penetra la luz suficientemente para desarrollar las algas por fotosíntesis. En los estanques se establece un equilibrio biológico por el que las bacterias transforman las materias orgánicas de las aguas residuales en gas carbónico y sales minerales (nitratos y fosfatos) que posteriormente toman las algas para sintetizar la materia viva y producir el oxígeno que después toman las bacterias que lo necesitan.

Para liberarse de las dificultades que imponen las grandes extensiones del sistema anterior se instalan los estanques de aireación, en los que se mantiene un medio aerobio por aireación artificial, insuflando el oxígeno suplementario por un agitador mecánico de cualquier tipo —turbina de superficie fija o flotante— que asegura un movimiento enérgico de las aguas del estanque.

En los estanques de estabilización las algas generan oxígeno sólo durante las horas en que se dispone de luz natural, mientras que con el sistema de aireación se proporciona oxígeno durante todo el día, lo que permite depurar mayores cantidades de agua por unidad de volumen y unidad de tiempo; por otra parte, también se admite mayor profundidad de los estanques, por lo que, para un mismo volumen, se reduce la superficie.

Por último, el grupo de los procedimientos avanzados o de refino permiten llegar a obtener agua de la calidad que se desee. Son tratamientos especiales, de acabado, en los que se eliminan hasta los contaminantes que pueden proceder de los tratamientos de depuración anteriores, como la absorción con carbón activo o tierras decolorantes, microtamizado, filtros de arena, cloración, oxigenación, ozonización y todos aquellos que se estudian como posibles métodos para la desalación del agua del mar; cambio de ión, destilación, electrodiálisis, ósmosis inversa, extracción con disolventes, etc.

DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA DEPURACION DE VERTIDOS

Hasta aquí las líneas generales de actuación que es necesario conocer como punto de partida para plantear la resolución de cualquier problema de depuración de vertidos acuosos residuales; sin embargo, no se puede hablar de un procedimiento general válido para la depuración de efluentes de distinto origen. Es más, la experiencia nos hace ver que los problemas de contaminación de las aguas deben atacarse analizando los focos de contaminación individualmente, porque cada fábrica o población tiene sus problemas específicos, constituidos,

a su vez, por otros menores, a los que la técnica ha de buscar la solución más idónea para que el resultado económico sea el más favorable transformando el residuo, si es posible, en un subproducto y, en todos los casos, eliminando su carácter molesto, nocivo o peligroso para el medio ambiente.

La elección del sistema idóneo para la depuración no puede hacerse fiados en las buenas perspectivas que sobre el papel presentan las firmas que patrocinan instalaciones depuradoras, sino después de haber realizado una investigación seria, rigurosa y precisa en el laboratorio —y mucho mejor en instalaciones a escala de planta piloto— con las mismas garantías con que se trabaja para la puesta a punto de los más depurados procedimientos de fabricación.

Las diversas posibilidades que se ofrezcan para alcanzar los mayores rendimientos en la destrucción del contaminante, su recuperación o transformación en un producto útil, deberán alcanzar la categoría de anteproyecto para hacer su evaluación económica y poder tomar de entre ellos la decisión óptima.

Así quedan enunciados los distintos aspectos generales que constituyen los objetivos de la investigación sobre el tema.

En el caso más específico del estudio de la contaminación proporcionada por una determinada industria, la investigación alcanzará a la siguiente secuencia de objetivos:

1.º Establecimiento de los diagramas de flujo de las instalaciones de fabricación para distinguir las características del procedimiento y la procedencia de los diferentes vertidos, así como las posibilidades de reutilización y recirculación de corrientes.

2.º Caracterización cualitativa y cuantitativa de los vertidos, tanto en lo relativo a su composición como a sus caudales. Es conveniente, en este punto, aconsejar el empleo de procedimientos analíticos de tipo químico y microbiológico.

3.º Comportamiento de los vertidos frente a las técnicas de tratamiento primario: precipitación, filtración, sedimentación, etc.

4.º Comportamiento de los vertidos frente a las técnicas de depuración biológica en medios aerobios y anaerobios.

5.º Comportamiento de los vertidos previamente desbastados frente a las técnicas de refinado: cloración, ozonización, electroflotación, ultrafiltración, radiación ultravioleta.

6.º Estudio de la posible recuperación de productos residuales, principalmente dirigidos a la conversión en proteínas o a la producción de gases combustibles.

7.º Acondicionamiento de los lodos producidos en las diversas etapas del tratamiento completo de depuración.

8.º Diseño del procedimiento técnicamente óptimo para alcanzar las especificaciones de depuración propuestas.

9.º Estudio económico del procedimiento

o procedimientos propuestos, tanto en lo que se refiere a la estimación de la inversión como de los costes.

Como se observa, la posible consideración conjunta de los vertidos de diferentes fábricas y las técnicas de tratamiento proporcionan un entramado completo que permite conocer las posibilidades de depuración de cada efluente.

Por otra parte, respecto a las posibilidades de formación de profesionales, se asegura el más amplio espectro de conocimientos para el investigador que es responsable del estudio de un determinado vertido.

CONCLUSION

Con lo expuesto se puede afirmar que el problema del abastecimiento y conservación del agua es extremadamente complejo, pero con soluciones técnicas que permiten afrontar el futuro sin más dificultades que las estrictamente económicas.

La tecnología moderna ofrece remedios eficaces en la lucha contra la contaminación, que pueden evitar el que las aguas residuales, industriales y urbanas sean dispersadas en los medios naturales, antes de haber sido sometidas a los tratamientos adecuados que disminuyan su contaminación hasta los límites que se deseen respetando las exigencias biológicas de los reinos vegetal y animal y del género humano.

La humanidad está obligada a mantener sus recursos de agua con calidad suficiente y los poderes públicos, en quien ha delegado su autoridad, tienen el deber de velar efectivamente para que se transmita este bien común íntegramente y sin degradaciones, de generación en generación.

Esto supone planificar una actuación a largo plazo que asegure los medios posibles para mantener el ciclo hidrológico renovado indefinidamente, sin merma de la calidad, dirigida hacia el planteamiento de una política global de aprovechamiento integral de las aguas, hacia la administración de recursos para la lucha contra la contaminación y hacia el desarrollo y perfeccionamiento de la tecnología de la depuración de las aguas.

El aprovechamiento integral exige la elaboración del balance total —global y en detalle— de las aguas, para lo que se requiere el control permanente de las corrientes naturales y vertidos, así como la prospección y alumbramiento de las aguas subterráneas que constituyen el mapa geológico del entorno geográfico que se considera.

Paralelamente, se requiere una actuación administrativa que haga acopio de los recursos económicos necesarios para realizar las tareas anteriores y financiar los trabajos de investigación. En este punto, parece claro que esa regla de oro de la lucha contra la contaminación que

dice «quien contamina paga» es universalmente aceptada y será posible hacerla realidad si se dispone de los datos recogidos en el control continuo de los vertidos residuales, que deberán ser valorados en función de la cantidad de sustancias vertidas por unidad de tiempo y no por la concentración, ya que dilución de aguas residuales no es sinónimo de depuración.

Evidentemente, se hace necesario programar una política depuradora que, inicialmente, en un régimen de preferencias, detecte y trabaje sobre objetivos bien definidos, como son los focos contaminantes localizados en lugares estratégicos por la acumulación de diferentes y abundantes fuentes emisoras, por el elevado poder tóxico del contaminante o por su incidencia sobre la corriente a que actualmente se arrojan los vertidos. También se debe estudiar el emplazamiento y favorecer el establecimiento de estaciones depuradoras comunitarias verdaderamente efectivas, consecuencia de un estudio metódico y profundo, y proyectadas de acuerdo con las características de las corrientes que vaya a recibir, producto que se desee obtener, situación respecto a las corrientes receptoras y capacidad de tratamiento.

En cuanto a la investigación de procedimientos para la depuración, los trabajos van dirigidos a conseguir la reutilización y el reciclaje total del agua contenida en los vertidos. Debe comenarse analizando individualmente los focos de contaminación para, después, separar sus fracciones en diferentes circuitos y eliminar sus componentes nocivos, en origen, siguiendo etapas progresivas que coinciden con el orden de los tratamientos apuntados antes; los primeros, que utilizan los métodos convencionales, proporcionan un elevado rendimiento económico de la depuración —medido por el más bajo coste por unidad depurada— mientras que los tratamientos de refinado, debido a la doble influencia de la ley de los rendimientos decrecientes y a la mayor resistencia de los elementos contaminantes que quedan —bacterias patógenas y virus, elementos tóxicos y cancerígenos, etc.—, elevan el coste de eliminación de las últimas unidades de contaminación.

Como es lógico, la atención de los investigadores está volcada hacia el estudio de los tratamientos específicos, tanto por ser los de coste más elevado como por la creciente exigencia de calidad de las aguas por parte de las autoridades de las diversas naciones.

Gracias a este continuo avance de la investigación, que perfecciona los procedimientos en uso y descubre nuevas técnicas de depuración, la sociedad moderna dispone de remedios eficaces para defenderse de las aguas contaminadas pero, como en otros dominios, ha de perseverar y atender el estudio de posibles mejoras. La tasa que se impone, evidentemente, es elevada, pero no sobrepasa las posibilidades que proporcionan las ventajas de la industrialización.

BIBLIOGRAFIA

Libros

- «Manual on disposal of refinery wastes». American Petroleum Institute. Nueva York, 1969.
- «Tratamiento de aguas negras y desechos industriales». BARNES, G. E. Uteha, 1967.
- «Aqueous wastes from petroleum and petrochemical plants». BEYCHOK, M. R. John Miley and Son. Nueva York, 1967.
- «Biological waste treatment». CANALE, R. P. Interscience publishers. Londres, 1971.
- «Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales». FAIR, M. G., GEYER, J. C. y D. A. Limusa Wiley, 1971.
- «Depuración biológica de las aguas». FERRERO, J. M. McGraw-Hill. Nueva York, 1957.
- «Water and wastes water technology». HAMMER, J. Mark, John Wiley and Sons. Nueva York, 1975.
- «Industrial pollution control handbook». LUN, H. F. McGraw-Hill. Nueva York, 1971.
- «Perfectionnements et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires». VAILLANT, J. R. Editions Eyrolles, Paris, 1974.
- «Curso de introducción a la Química Industrial». VIAN ORTUÑO, A. Editorial Alhambra. Madrid, 1976.
- «Principles of industrial waste treatment». FRED GURNHAM, C. John Wiley and Son. Nueva York, 1955.
- «Grandes dilemas ambientales». Centro de Perfeccionamiento profesional y empresarial del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 1975.
- «Ensayo sobre la naturaleza y significación de la Ciencia Económica». LIONEL ROBBINS. Fondo de Cultura Económica, Méjico, 1951.

Revistas

- APARICIO, I: «Agua», 72, 45 (1972).
- APARICIO FERRETER, I: «Contaminación y Prevención», 4, 29, 5 (1975).
- ASENSIO, J. L.: «Economía Industrial», 9, 105, 92 (1972).
- BARREIRO SANCHO, J. L.: «Comunicación interna». Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, marzo 1973.
- CALVIÑO DE SABUCEDO Y GRAS, M.: «Economía Industrial», 9, 105, 105 (1972).
- COMITE INTERNACIONAL DE LOS SERVICIOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA CUENCA DEL RHIN: «Agua», 83, 1 (1975).
- COLAS, A.: «Chimie et Industrie», 13, 104 (1971).
- DE JOHN, PASCUAL, B., ADAMS, ALAN, D.: «Hydrocarbon Processing», 54, 10, 104 (1975).
- DE LORA SORIA, F.: «II Convención nacional de ingenieros industriales (contaminación industrial de aguas)», 1971.
- DEWISME, F.: «Economía Industrial», 9, 105, 32 (1972).
- ECKENFELDER, W. W.: «Water Quality Engineering for facticing Engineers», 1970.
- ENSEÑAT DE VILLALONGA, A.: «Agua», 85, 15 julio-agosto, 1974.
- GUBERT, D.: «Economía Industrial», 9, 105, 23, septiembre 1972.
- LASH, LESLIE, D. y KOMINEK, Adward: «Chem. Eng.», 82, 1 (1974).
- LOPEZ DE LETONA, J. M.: «Agua», 75, 5 (1972).
- PRENGLE, H. W.; MAUK, C. E.; LEGAN, R. W.; HEWES, C. G.: «Hydrocarbon processing», 54, 10, 82 (1975).