

TRATAMIENTO DE EFLUENTES

El problema de los efluentes industriales y cloacales está íntimamente relacionado con la contaminación ambiental, ya que constituye una de sus causas. La denominación de efluentes industriales se aplica a un conjunto muy variado de residuos que se obtienen como consecuencia de la actividad industrial.

Con el aumento de la población y las necesidades creadas se fueron multiplicando los problemas que ocasionan los residuos generales, que lógicamente van en aumento con aquélla. No solo es el incremento lógico de las aguas cloacales sino también de los residuos industriales, que puede decirse son el castigo pagado por una nación industrializada y la consecuencia de la civilización y su demanda por un alto standard de vida. Esto no es, por supuesto, un argumento contra la industrialización, sino una consecuencia obligada de ella que hay que reconocer, y que fundamentalmente proviene de la falta de previsión al no incluir en las inversiones iniciales la planta de tratamiento de efluentes.

Las industrias pueden generar residuos líquidos, sólidos o gaseosos. Aunque estos últimos ocasionan problemas graves como es el caso de gases muy tóxicos como el anhídrido sulfuroso o el ácido cianhídrico, los efluentes líquidos y sólidos son los que tienen mayor interés para la Microbiología Industrial, dadas las posibilidades que ofrecen los métodos biológicos para el tratamiento o aprovechamiento de los mismos.

Aunque existe una diferencia importante entre las aguas cloacales y los efluentes líquidos de la industria, el enfoque del problema es similar, ya que es necesario en ambos casos reducir a límites bien determinados el contenido de materia orgánica de los mismos antes de que esos líquidos puedan ser arrojados a una corriente de agua.

Las aguas cloacales o efluentes domiciliarios están constituidos por una mezcla muy variada de sustancias y de microorganismos.

Los efluentes industriales líquidos difieren de las aguas cloacales en que generalmente contienen muy pocos microorganismos y un número limitado de sustratos o a veces uno solo. Las diferencias de poder contaminante entre un efluente industrial y una agua cloacal, que están directamente relacionadas con el contenido de materia orgánica que es medido generalmente en términos de demanda de oxígeno biológica (DBO) o química (DQO), pueden ser muy considerables. Si comparamos valores conocidos de algunos efluentes, como una vinaza de destilería, suero de queserías o alpechín (un residuo de la industria del aceite de oliva) que presentan valores de DQO de 70,000, 35,000 y 150,000 mg l^{-1} respectivamente, con las aguas cloacales que suelen tener valores de 120 a 300 mg l^{-1} puede visualizarse la magnitud del problema que presentan algunos efluentes de la industria para su tratamiento.

En base a la cantidad de materia orgánica que se desecha, es interesante comparar el poder contaminante de una industria con el de una población en valores de número de habitantes equivalentes. Considerando que el poder contaminante de un habitante es de 70 g por día de DBO, y tomando como ejemplo un efluente que tenga 35 g l^{-1} de DBO como el suero de queso, con un volumen diario de ese efluente en una fábrica de queso de 1,000.000 litros, decimos que el

grado de contaminación equivale a una población de 500,000 habitantes, lo que da una idea muy clara de la magnitud de la contaminación ambiental que puede producir una sola fábrica si no se utiliza ese efluente.

Las soluciones que pueden aplicarse para resolver el problema de la contaminación ambiental derivados de los efluentes industriales, que son los más perjudiciales, pueden ser: 1) Modificación de operaciones y procesos en las plantas industriales, compatibles con la producción y calidad de los productos a obtener, con el objeto de disminuir o minimizar los volúmenes de los efluentes o la concentración de materia orgánica en las descargas. 2) Tratamiento de los efluentes por métodos físicos, químicos y biológicos, con el fin de reducir la DBO de los mismos hasta los límites fijados por las reglamentaciones vigentes. 3) Aprovechamiento integral o parcial de los efluentes para recuperar productos valiosos, que ofrezcan alguna rentabilidad interesante. Como la primera solución no corresponde por lo general al campo de la Microbiología Industrial, trataremos solamente los aspectos relacionados con las otras dos en relación con los métodos biológicos.

Para tal fin, es conveniente considerar primero los aspectos fundamentales del tema para desarrollar después los métodos de tratamiento, la metodología para determinar la calidad del efluente, los métodos de aprovechamiento, y finalmente la estrategia general para encarar el problema de la contaminación.

Aspectos fundamentales del tratamiento de efluentes

Dada la complejidad que presentan muchos efluentes por su composición química y la presencia de organismos diversos en la mayor parte de los casos, es conveniente para el estudio racional del tratamiento considerar varios aspectos fundamentales como ser: a) Interacciones microbianas; b) Reacciones biológicas fundamentales; c) Estequiometría; y d) Relaciones cinéticas básicas. El conocimiento de estos aspectos en conjunto con la naturaleza de los sustratos presentes en los efluentes contribuyen en forma integrada al mejor diseño del proceso y operación de los distintos tipos de tratamiento.

Interacciones microbianas

Como ya se dijo, el objetivo primario del tratamiento de un efluente es eliminar la materia orgánica presente y esto se logra facilitando el desarrollo, en condiciones naturales, de poblaciones microbianas y no un microorganismo en especial. Aunque existe la posibilidad de una siembra seleccionada en ciertos casos de tratamientos, se debe considerar casi siempre que existen poblaciones mixtas o poblaciones microbianas heterogéneas que son términos equivalentes. Las poblaciones microbianas son usualmente una mezcla muy compleja de diferentes géneros y especies de bacterias, hongos y protozoarios. La concentración de los componentes biológicos de estas poblaciones está lejos de ser constante, ya que hay fluctuaciones en el tiempo que pueden ser muy drásticas. Aunque los procesos de tratamiento biológicos pueden tolerar ciertas variaciones existen límites a las mismas que producen fracasos en el proceso cuando son excedidas.

Las principales interacciones que ocurren entre las diversas especies microbianas son: 1) Competición, que se refiere, como el nombre lo indica, a una competencia en el uso de un determinado nutriente. 2) Predación, que ocurre cuando un organismo se alimenta de otro, cuando uno ingiere a otro como sucede en el caso de una ameba o un protozoario que ingiere a células de levaduras o de algas.

3) Parasitismo, cuando uno se aprovecha o vive a expensas de otro que generalmente muere. 4) Comensalismo, cuando dos organismos viven simultáneamente sin beneficiarse ni molestar. 5) Mutualismo, cuando dos organismos se benefician mutuamente, y 6) Amensalismo, que se refiere al caso de la excreción de un factor, por parte de un organismo, que es dañino para el otro, como es el caso de la formación de un antibiótico por un hongo que inhibe el desarrollo de una bacteria.

Estudios a nivel de laboratorio de cultivos mixtos de *Saccharomyces cerevisiae*, *Proteus vulgaris* y *Bacillus polymixa* han demostrado que presentan 3 tipos de interacción simultánea con mutualismo y amensalismo entre las 2 especies de bacterias y también comensalismo entre la levadura que libera niacina y biotina y las especies bacterianas. Cuando al sistema se agrega una ameba, la *Dictyostelium discoideum*, tiene lugar también predación por parte de esta última. Este estudio experimental revela la complejidad que pueden presentar las interacciones biológicas en un proceso de tratamiento y la necesidad que existe del conocimiento de las mismas para un mejor control de dicho proceso.

Reacciones biológicas

Las reacciones biológicas más importantes son aerobias, anaerobias o fotosintéticas. En la Figura 27 se observa un esquema general de las actividades de síntesis y respiración que se producen por las actividades biológicas.

Como se muestra en la figura hay fuentes nutritivas necesarias como C, O₂, H₂, N₂, P, ya sea como orgánicas o inorgánicas que deben ser transportadas a la célula en forma soluble.

La energía debe suministrarse como energía contenida en compuestos orgánicos o como energía radiante de la luz solar. Una fracción de la energía es usada para la biosíntesis de biomasa y la restante es dispersada como calor.

Los microorganismos producen también productos de desecho que dependen de las especies consideradas y las condiciones ambientales. Los productos más deseables son gases como CO₂, N₂, O₂ y CH₄, que pueden ser fácilmente separados de la fase líquida. Otros gases como H₂S, NH₃ y aminas son indeseables. Un requerimiento importante para la mayor parte de los procesos biológicos usados en el tratamiento de efluentes es la producción de microorganismos floculantes, que pueden ser fácilmente separados por medios físicos como sedimentación por gravedad, centrifugación o filtración. Desde el punto de vista de la polución el microorganismo debe considerarse como un producto no deseable. La facilidad de separación y la destrucción por autooxidación son también aspectos de gran importancia.

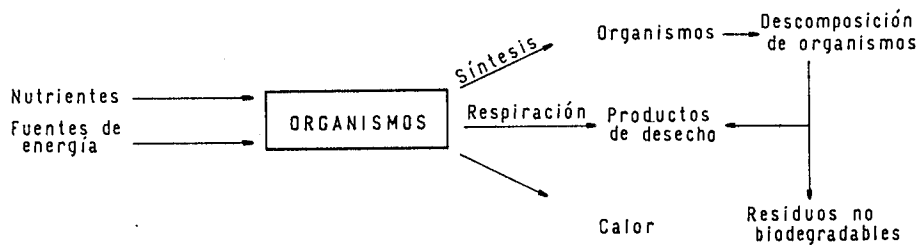
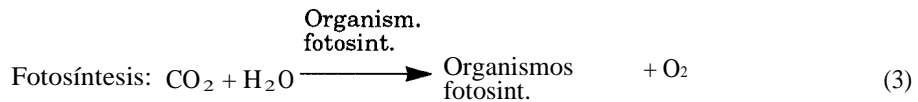
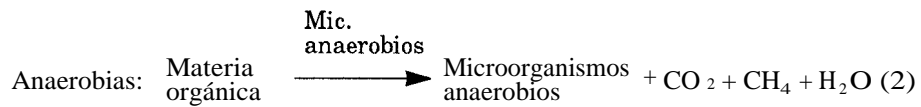
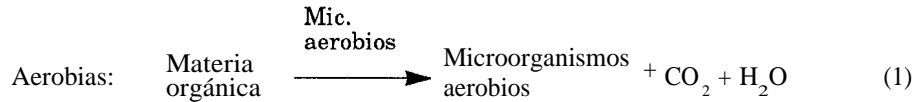


Figura 27. Reacciones biológicas fundamentales.

Las reacciones biológicas pueden influenciar las reacciones químicas en la fase líquida del medio ambiente. Por ejemplo el consumo de CO_2 por las algas durante el día puede aumentar el pH y esto ocasiona la fijación del SH_2 como sulfuro.

Estequiometría

La estequiometría de las reacciones involucradas en los distintos tipos de tratamiento es altamente influenciada por las especies de microorganismos presentes, los compuestos existentes y las condiciones ambientales impuestas sobre el proceso. Las reacciones típicas son como sigue:

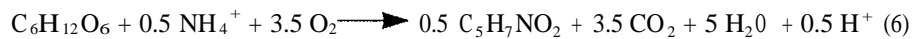


Estas reacciones pueden ocurrir al mismo tiempo, por ejemplo en una laguna: fotosíntesis en la parte superior, aerobiosis en la parte media y anaerobiosis en la inferior. Un inconveniente de las reacciones fotosintéticas es que el C inorgánico (CO_2) es convertido en C orgánico, que es un agente de polución.

Se pueden considerar ecuaciones de balance efectuando, un análisis elemental en el sistema orgánico y en el microorganismo producido. Un ejemplo para un proceso aerobio es dado abajo, en el cual el sustrato orgánico se considera que tiene la misma composición que la glucosa y el microorganismo la fórmula $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$. Las reacciones biológicas serían:



Si se considera un coeficiente de rendimiento de 0.5 moles de microorganismo por mol de glucosa tendremos:



Dado que el tiempo de residencia de los organismos en los procesos biológicos es suficientemente largo es necesario considerar también una reacción de autooxidación o descomposición que no se considera nunca en procesos de fermentación normales.



Todas las reacciones son exotérmicas, pudiéndose calcular el calor liberado por las reacciones netas o por la muerte del organismo en base a los calores de combustión de los productos y reactantes. El cálculo del calor liberado es importante en los procesos de compost y digestión aerobia termofílica, en los cuales la concentración de materia destruída es suficientemente alta para que el calor liberado haga aumentar la temperatura.

Como ya vimos la relación estequiométrica entre el sustrato orgánico consumido y el microorganismo producido se expresa como un coeficiente de rendimiento

$$\frac{dX}{dt} = -Y_{x/s} \frac{ds}{dt} \quad \text{ó sea} \quad (8)$$

$$Y_{x/s} = - \frac{dX}{ds}$$

La aplicación de esta ecuación en tratamiento de efluentes se complica porque el sustrato es generalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos solubles e insolubles y la concentración microbiana es difícil de medir. La DBO o DQO son comúnmente usadas como una medida de la concentración del sustrato.

Una ventaja de los procesos anaerobios sobre los aerobios es que $Y_{x/s}$ es menor para los anaerobios, lo que resulta en una producción menor de desechos.

Relaciones cinéticas básicas

Se utilizan las expresiones fundamentales ya consideradas anteriormente:

$$1) r_x = \mu X \quad (9)$$

$$2) \mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad (10)$$

Esta relación es muy usada, aunque debe reconocerse que existen otros factores, además de una concentración limitante. La fuente de C y energía, medida como DBO o DQO es generalmente considerada el sustrato limitante en los procesos biológicos aerobios. Sin embargo, es bien conocido que la velocidad de crecimiento de microorganismo puede ser controlada por otras sustancias como amoníaco, fosfatos, sulfatos, sales de hierro, CO_2 , etc. El control (sustrato limitante) por amoníaco o fosfatos puede ser de especial importancia en el tratamiento de residuos industriales deficientes en estas sustancias. El crecimiento de algas en procesos fotosintéticos puede ser controlado por la luz o CO_2 , entre otras sustancias.

El control puede ser ejercido por la transferencia de masa al interior de la célula, lo mismo que por la reacción química dentro de la misma, y en baja concentración de sustrato ambas pueden ser de importancia. Varios autores han demostrado la significación de la transferencia de materia en procesos biológicos para tratamiento de efluentes. La ecuación (10) puede ser usada si K_s es considerada

una variable dependiente del grado de mezclado. La importancia de transferencia de masa en estos procesos está reflejada en el hecho de que los valores de K_s son comunmente de un orden de magnitud mayor que para cultivos puros de microorganismos. El tamaño de los flóculos o el espesor del film en estos procesos está medido en milímetros, lo que en microorganismos individuales se mide en micrones.

En la mayor parte de los procesos usados en tratamiento de efluentes, los microorganismos son retenidos en el reactor suficiente tiempo como para que la autooxidación o la descomposición de microorganismos sea importante, de manera tal que el proceso de digestión aerobia es diseñado para que la destrucción del microorganismo sea la reacción clave. La ecuación (9) puede ser modificada para incorporar ese aspecto:

$$r_x = (\mu - K_d) X \quad (11)$$

K_d = velocidad específica de descomposición del organismo

K_d es usado en el sentido de un término que incluye el efecto de todos los factores, aparte del sustrato, que puede resultar en un cambio de la masa de los organismos involucrados. Entre esos factores están el metabolismo endógeno, la muerte con lisis consiguiente y el crecimiento críptico. El valor de K_d , que es generalmente sin importancia en experimentos cortos de interés microbiológicos, es sin embargo de gran significado en los procesos biológicos largos. Comunmente usado en procesos biológicos de tratamiento de efluentes, K_d no es realmente una constante, ya que decrece con la edad del organismo. Sin embargo, el concepto de un valor constante de K_d ha sido postulado como muy satisfactorio cuando se aplica en un rango limitado de edades.

Diferencias entre tratamiento biológico de efluentes y procesos de fermentación

Es interesante comparar los procesos de tratamiento con los procesos de fermentación que se utilizan en Microbiología Industrial. En la tabla 6 se observan las principales diferencias y semejanzas.

Considerando estas diferencias y las dificultades que existen para mantener el estado estacionario en un sistema continuo de tratamiento de efluentes se puede cuestionar si es realmente posible esperar una real cuantificación aplicable a estos procesos.

Aunque la presencia de poblaciones mixtas representa una variación interna intrínseca y las dificultades de control que se presentan son importantes, la situación no es tan caótica como puede suponerse, ya que existen muchas publicaciones en las cuales se demuestra que los fundamentos de la estequiometría y cinética microbiana pueden aplicarse con éxito al diseño de procesos y reactores para tratamiento de efluentes.

Métodos de tratamiento

Los sistemas biológicos utilizados a nivel industrial que se aplican por lo general como tratamiento secundario pueden ser de tipo aerobio y anaerobio. Entre

Tabla 6. Diferencias y semejanzas entre tratamientos biológicos y procesos microbianos.

	Tratamiento biológico	Procesos microbianos
Sustratos	No es posible seleccionarlo, cualquiera está presente	Seleccionado
Medio de cultivo	Sólo se pueden agregar algunas sales (N y P)	Predeterminado
Microorganismo	Poblaciones mixtas no seleccionadas	Cultivo único seleccionado
Sustancias tóxicas	Pueden estar presentes	No están presentes Son excluidas
pH	Poco o nada controlado	Generalmente controlado
Temperatura	No controlada	Controlada
Tipo de reactores	Abiertos a la intemperie	Rara vez a la intemperie
Esterilización	Nunca practicada	Casi siempre necesaria
Principios de aireación y agitación		Similares
Cinética de crecimiento		Similares

los procedimientos aeróbicos existe una diversidad de tecnologías disponibles tales como: 1) Barros activados. en el cual los materiales solubles coloidales y en suspensión son transformados en CO_2 , H_2O y células con recirculación de los barros formados. 2) Lagunas de aireación que emplean aireación artificial en una laguna y que puede ser completa o parcialmente aerobia. 3) Filtros percoladores que consisten en lechos de material de tamaño variable o sintético que por acción del tratamiento lleva adherido un limo formado por el material biológico a través del cual el efluente fluye. 4) Discos rotatorios, que constituyen una modificación de los sistemas de filtración fija y consisten en discos rotantes que van montados en un eje horizontal. 5) Piletas de estabilización que son sistemas de bajo costo que utilizan bacterias y algas para reducir los componente orgánicos y eliminar los microorganismos patógenos.

Los procesos anaeróbicos son fundamentalmente procesos de digestión que pueden aplicarse a residuos líquidos o sólidos e incluyen generalmente separación y aprovechamiento del gas producido. La transformación de la materia orgánica en metano y CO_2 se lleva a cabo en 3 etapas consecutiva en las cuales intervienen diferentes grupos de bacterias con formación de ácido acético, propiónico, butírico, láctico, fórmico, CO_2 e H_2 para llegar finalmente a metano y CO_2 . Los digestores anaerobios varían mucho en relación a la complejidad y diseño y se ha demostrado que un solo diseño no es adecuado para distintos efluentes. Además de los digestores tradicionales se han desarrollado últimamente nuevos tipos de reactores a lecho fluidizado y otros basados en filtros anaerobios.

Cuando se comparan procesos aerobios con anaerobios se suele enfatizar que existe una marcada preferencia por el uso de procedimientos anaerobios debido fundamentalmente a la economía de energía lograda, dado que los costos de operación de los sistemas aerobios son cada vez más elevados. Sin embargo, la com-

paración debe hacerse en forma más completa. Por ejemplo, debe tenerse en cuenta la presencia de compuestos tóxicos (como el fenol) o de los llamados recalitrantes o xenobióticos, que son aquellos cuya biodegradabilidad es muy difícil. Existen tres factores fundamentales para determinar la capacidad de un tratamiento biológico de efluentes que contengan compuestos tóxicos o recalitrantes. Esos factores son: 1) La naturaleza de la conversión química necesaria. Por ejemplo los derivados halogenados aromáticos son más fácilmente atacados por comunidades anaeróbicas, mientras que en el caso de comunidades aeróbicas los compuestos tienden a polimerizarse primero, haciéndose más difícilmente atacables después. 2) La ecofisiología de los microorganismos comprendidos. La digestión anaeróbica puede considerarse como un proceso en serie y es por lo tanto más vulnerable que la aeróbica que comprende microorganismos y caminos metabólicos que actúan en paralelo. Una variedad de compuestos como amoníaco, agua oxigenada, sulfitos, sulfatos e hidrógeno sulfurado, que no interfieren en tratamientos aerobios pueden ser inhibidores de las bacterias metanogénicas. 3) Diseño del proceso y operación de la planta. A pesar de que existen procesos aerobios muy difundidos y eficientes para tratamiento de aguas residuales que contienen fenoles, amoníaco y cianuros, se ha demostrado recientemente que también pueden tratarse anaeróticamente con reactores de filtro, empleando carbón activo, lo cual demuestra la importancia del adecuado diseño del proceso. La tendencia moderna considera que los sistemas son, más que excluyentes, complementarios, ya que las comunidades microbianas anaeróbicas son específicamente ventajosas a altas temperaturas y altas concentraciones de sustratos, especialmente insolubles, mientras que las comunidades microbiológicas aeróbicas son indispensables para bajos niveles de sustratos, condiciones ambientales variables y distintos productos químicos.

Metodología para la determinación de la calidad de un efluente

Son fundamentalmente dos las técnicas de medida que se utilizan para determinar la calidad de un efluente: 1) DBO, o sea la demanda biológica de O_2 , y 2) la demanda química, que puede determinarse por el valor de $KMnO_4$ o por el $Cr_2O_7K_2$, que es el que más se utiliza como demanda química y se lo simplifica como DQO.

El ensayo de DBO es un intento de simular las condiciones de una corriente de H_2O . Una muestra del efluente es diluida con H_2O aerada y la concentración de O_2 es determinada antes y después de 5 días de incubación a $20^\circ C$. El ensayo es simple, pero se requiere: a) Si la muestra no puede ser medida inmediatamente debe conservarse a $5^\circ C$. b) La dilución debe ser tal que por lo menos 30% del O_2 disponible debe estar presente en el ensayo después de 5 días de incubación. c) Las botella deben tener una capacidad de 250 ml. d) La temperatura de incubación debe ser $20^\circ C \pm 0,5^\circ C$ durante 120 h. Las botellas deben conservarse en la oscuridad y e) El valor de pH debe estar entre 6.5 - 8.2.

El valor de $KMnO_4$ es un ensayo empírico de las sustancias oxidables químicamente empleando una solución de $KMnO_4$ N/80.

La demanda química es el valor de O_2 absorbido por un litro de muestra cuando una alícuota de la muestra es calentada a reflujo durante 2 horas con solución de $Cr_2O_7K_2$. En la tabla 7 se dan algunos valores de las demandas biológicas y químicas de algunos efluentes.

Tabla 7. Valores de demanda biológica (DBO), valor de permanganato (VP) y demanda química (DQO), expresados en mg l⁻¹, de varios efluentes.

Efluente	DBO	VP	DQO
Azúcar de remolacha	850	80	1,150
Efluente doméstico	350	100	300
Lavado de ropas	1,600	170	2,700
Almidón de harina	12,000	3,600	17,150

Aprovechamiento total o parcial de efluentes

El aprovechamiento o la valorización más conveniente de un efluente por vía microbiana depende del producto a ser obtenido o más precisamente de las aplicaciones y aceptación por parte del mercado de ese producto. Por acción de los microorganismos sobre la materia orgánica puede obtenerse: a) Energía a partir de residuos sólidos o líquidos, como es el caso del metano, b) Fertilizantes o condicionadores del suelo, a partir de residuos sólidos, c) Alimentos de tipo no convencional, como proteínas unicelulares, y d) Metabolitos específicos, como alcohol, enzimas, etc. Un ejemplo interesante de empleo de efluentes como sustrato para la industria es la producción de enzimas como lactasa o proteasas o goma xantano a partir de suero de queserías. A medida que pasamos de una aplicación a otra aumenta la valorización del efluente como materia prima de los procesos involucrados, pero aumenta también la complejidad de las operaciones. En el caso de metabolitos específicos suele ser muy dificultosa la utilización de efluentes como sustratos de las industrias fermentativas por la diversidad de las etapas de extracción y purificación (salvo en algunas excepciones) que son necesarias de efectuar. A veces sucede también en muchos casos que los efluentes son estacionales, no existiendo por lo tanto la disponibilidad permanente que la industria necesita. Otro problema está relacionado con las variaciones en la composición de los efluentes, lo que hace muy difícil su aceptación por parte de la industria.

En el caso de los residuos sólidos es esencial pensar en la recuperación de la materia orgánica, ya sea incorporando el efluente al suelo o empleándolo para la producción de energía no convencional (por ejemplo metano) o destinarlo a la producción de un alimento. No deberían quemarse los residuos aunque esto se hace aún en gran escala, como es el caso del bagazo en algunos ingenios azucareros. No es tan simple evitar esto, porque los ingenios logran en esa forma una economía considerable de combustibles. Lo importante en este caso es el desarrollo de tecnologías que otorguen al bagazo una valoración superior a la que puede tener como combustible y que además puedan absorber las grandes cantidades de ese residuo. Cuando se trata de efluentes líquidos pueden existir dos posibilidades según la concentración de la materia orgánica: 1) Efluentes con alta concentración (3% o más) como el agua de procesamiento de papas, vinazas de destilería, suero de queso, etc.. Estos efluentes pueden ser usados como materia prima de procesos fermentativos para la obtención de alimentos de tipo no convencional, pero debe tenerse en cuenta que esos procesos generan casi siempre otro efluente que necesita de una segunda etapa de tratamiento. 2) Efluentes con baja concentración de materia orgánica. Son más difíciles de aprovechar por la dilución de la materia orgánica que presentan, y por los bajos rendimientos de los productos obtenidos. Se puede, sin embargo, en algunos de estos casos aplicar un procedimiento microbiológico con retroalimentación.

Estrategia general para encarar el problema de los efluentes

Es evidente que la calidad de vida de la población está muy influenciada por la contaminación producida por los residuos o efluentes industriales, gases, líquidos o sólidos, que son la principal causa del deterioro que se observa en el medio ambiente.

En muchos países existen plantas en funcionamiento que son muy poco eficientes, y que en algunos casos se pueden mejorar con modificaciones poco costosas. Un problema generalizado está relacionado con el empleo de plantas para el tratamiento de un volumen de efluentes mucho mayor con respecto al que originalmente se tuvo en cuenta. Además existe el criterio generalizado y erróneo de creer que una planta de tratamiento no necesita supervisión profesional y que puede recibir cualquier tipo o mezclas diversas de efluentes sin tener en cuenta la flora microbiana que está involucrada.

Lo primero que debe hacerse, como ya se dijo, es comprobar realmente si el efluente no se puede disminuir o incluso eliminar, para lo cual es necesario estudiar las operaciones y procesos industriales involucrados. En el caso de plantas de procesamiento de pollos, por ejemplo, es común comprobar que las vísceras y sangre de los animales son arrastrados con grandes volúmenes de agua, lo que ocasiona efluentes muy contaminados, cuyo tratamiento es muy costoso. Pueden en ese caso considerarse otras alternativas de separación de los residuos sólidos con modificaciones menores en el proceso y reducir así el problema.

El paso siguiente consiste en considerar el aprovechamiento, si es posible, total, del efluente considerado. Tal es el caso de la utilización de suero de queso para producción de proteínas unicelulares cultivando cepas de levaduras, que incluye el secado total del caldo fermentado. Los residuos sólidos de naturaleza orgánica, por ejemplo, pueden ser transformados en acondicionadores de suelos o para rellenar terrenos bajos. Finalmente, es fundamental que exista la obligación de incluir en las nuevas plantas industriales a instalar planta de tratamiento adecuadamente diseñadas.

Las soluciones a encarar no son simples y dependen de acciones globales que deben ser encaradas y coordinadas por los gobiernos y empresas con la colaboración de todos los demás sectores involucrados.

Lecturas recomendadas:

1. *Biotechnology and Bioengineering Symposium N° 2. Biological Waste Treatment.* Ed. Raymond Canale. John Wiley and Sons (1971).
2. *Proceedings 4th European Congress on Biotechnology. Vol. 4.* Ed. O. M. Neijssel, R. van der Meer y K. Luyben Elsevier (1987).