

líneo. Aproximadamente 80% de la cantidad total de oxígeno - que se consume en los 5 días, desaparece en los 2 primeros - días de incubación y 32% en el primer día. Además, la DBO de 5 días no representa más que 65 a 70% de la demanda total ejercida por la materia orgánica oxidable bioquímicamente. Según McKinney (10) el empleo convencional de 5 días de incubación fué introducido por los ingleses -los cuales son, también, los introductores del concepto de DBO- pues sus ríos tienen pequeña extensión y nunca llevan más de 5 días hasta llegar al mar.

La importancia de la DBO, como índice cuantitativo de las condiciones de un cuerpo de agua polucionado es muy grande, pero no debe ser sobrevalorada. La demanda bioquímica de oxígeno es, en general, un excelente indicador del estado de las condiciones ambientales del cuerpo de agua. Pero no se debe tomar como un elemento de valor absoluto en la determinación de la calidad o de la potabilidad de un agua. La DBO es un elemento de importancia fundamental en los estudios que objetivan la preservación de las condiciones ecológicas y la protección de la fauna y flora acuáticas, pero no es un índice de contaminación bastante seguro para impedir la utilización del agua para abastecimiento. Es, pues, un dato ecológico, pero poco importante para caracterizar la contaminación. Su simple presencia no hace que un líquido sea nocivo a la salud. La cerveza (con 20,000 mg por litro de DBO), leche, y otros líquidos, además de su calidad como bebidas son, también, alimentos, pues, la DBO es, en realidad, alimento, o sea, materia orgánica que puede ser descompuesta por procesos biológicos.

Además, es necesario llevar en cuenta algunas de las principales limitaciones y errores posibles en el método de medida y en la interpretación de la DBO:

a) Valores demasiado altos de DBO pueden ser encontrados en las aguas donde hay intensa nitrificación. Sin embargo, hay transformación del nitrógeno amoniacal en nitrógeno nitroso y nítrico, por la actividad de nitrobacterias, que se opera en las aguas muy ricas en productos de descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados. En esa transformación hay un gran consumo de oxígeno. En la medida de DBO es necesario, pues, producir la inactivación de esas bacterias, pero sin perjudicar a las demás. Problemas de este tipo pueden existir, por ejemplo, cuando hay una mezcla de efluentes de sistemas de lodos activados (muy ricos en amoníaco) con efluentes de filtros biológicos (que son muy ricos en nitrobacterias).

b) Las sustancias tóxicas y los metales pesados (el cobre, por ejemplo, hasta en concentraciones tan pequeñas como 0.01 mg/l) pueden producir inactivación de bacterias, produciendo pues, una DBO inferior a la que se debería esperar.

c) En las muestras de agua donde hay predominancia de actividad anaeróbica, puede haber, por algún tiempo (en los

2 ó 3 primeros días de la incubación) un " lag-fase ", o sea, un período de adaptación necesaria al cambio de tipo de respiración (de anaerobio a aerobio) y la DBO resultante, al final de 5 días es sensiblemente más pequeña que la real (3).

d) Dos tipos de interferencias pueden resultar de la presencia de microorganismos fotosintéticos en las muestras tomadas para la medida de la DBO. Si la muestra se mantiene o transporta en presencia de luz, habrá producción de oxígeno - por fotosíntesis y la DBO resultará menor que la verdadera. Si al contrario, las muestras se mantienen en la obscuridad, hay un consumo de oxígeno, por respiración de las algas, además de la DBO normal. Ese consumo será, todavía más grande, si las algas mueren y son oxidadas por las bacterias presentes. Sin embargo, en este caso, se trata de una DBO real, producida por la materia orgánica en descomposición; pero, en el caso en que el oxígeno sea consumido por las algas vivas se trata, efectivamente, de una DBO falsa, pues no corresponde a una estabilización de la materia orgánica introducida con los desagües, sino que de la oxidación de la " materia viva ", la cual no interfiere en la calidad sanitaria del agua y que, además, es sintetizada por los mismos organismos. No hay que olvidar el hecho de que esa " materia viva ", en el ambiente natural, en presencia de luz, produce mucho más oxígeno (para la estabilización) de lo que consume ella misma. Según Wisniewski (11), no hay una diferencia sensible entre el consumo de oxígeno por las algas vivas y el consumo por descomposición de las mismas algas después de muertas, cuando se considera ese consumo en relación a la demanda bioquímica final, es decir, en relación a la estabilización total de la muestra. Pero, cuando se considera solamente la demanda en un momento dado, o en un tiempo corto (ej: 5 días), hay un gran predominio del consumo por descomposición, sobre el consumo por respiración de las algas mismas. Esto sugiere que la respiración de las algas se lleva a cabo mucho más despacio que la descomposición aeróbica.

e) Se puede prever, además, una diferencia muy grande entre la DBO obtenida por determinación directa (por ej. por método manométrico) y la obtenida por el método de dilución, cuando existen sustancias tóxicas o inactivadoras de bacterias, pues la dilución de la muestra provoca, también, una dilución de los tóxicos presentes. En este caso, la DBO obtenida por el segundo método puede ser mucho mayor que la DBO manométrica.

En el concepto sanitario del fenómeno de la polución, es necesario tomar en cuenta, también, el grado de nocividad: nocividad al medio (e indirectamente al hombre) en el caso más general, de polución; o nocividad directa a la salud humana, en el caso particular, de la contaminación. La introducción de materia orgánica inestable a un cuerpo de agua debe ser considerada como una polución siempre que provoque daños o dificultades a la utilización normal del agua, y lo mismo se puede decir en cuanto a la elevación de la turbidez, color, salinidad, etc. La polución es, así, un concepto relativo. Un mismo elemento y con la misma intensidad, puede ser o puede no ser un

factor de polución y esto depende tan solamente del uso que se debe dar a esta agua en particular. Así, por ejemplo, la introducción del sulfato de cobre en pequeñas concentraciones puede traer grandes daños a la piscicultura, pero puede ser muy benéfica al abastecimiento de agua, porque mata a las algas nocivas; al contrario, las sales minerales, de nitrógeno y fósforo son muy benéficas a la piscicultura, como "abono" para desarrollo de algas que sirven de alimento a los peces, pero son muy nocivas al tratamiento y abastecimiento de aguas por el mismo motivo (12).

5.2. Significado Biológico de la Polución.

Decir que la influencia de la civilización ha sido siempre nefasta a las poblaciones naturales, es incidir en error de redundancia. No hay duda de que la civilización, por definición es una situación opuesta al salvajismo. Donde la civilización es implantada, lo salvaje es substituído por lo civilizado, los animales nativos por los exóticos, la vegetación original por la cultivada. Hay una substitución generalizada, hasta en los ríos, donde son eliminadas las tortugas, los cocodrilos, los grandes mamíferos acuáticos, los peces, los crustáceos y toda la microfauna nativa. Los procesos empleados por el hombre, en esa substitución sistemática son muchos y, de éstos, quizá la caza y la pesca son los menos nocivos y más fáciles de controlar. Mucho más perjudicial es, sin embargo, el cambio de las condiciones ecológicas, o sea, del ambiente físico, químico, climático y biológico.

La polución es, posiblemente, la más devastadora de las actividades humanas, en relación a las poblaciones naturales. Todos los días se emiten a la atmósfera, muchos miles de toneladas de sustancias que las respiran los seres aeróbicos -incluso el hombre, a pesar de ser él quien las produce. Sólo en los Estados Unidos, son precipitados, en promedio, 35,000 toneladas por día de materias sólidas producidas por las chimeneas de las industrias y en Inglaterra 45,000 toneladas por día. Algunos de los efectos producidos por ese tipo de polución son conocidos: intoxicaciones por arsénico, plomo, manganeso; fibrosis en los pulmones (pneumoconiosis: silicosis, antracosis, etc) y cáncer. En Londres, en 1952, 4,000 personas han sido muertas, en sólo 5 días, por una elevación momentánea de la polución atmosférica. Se conocen, además, los efectos de estos polvos en relación a las plantaciones. En resumen, son bien conocidos los efectos más dañinos y más drásticos de la polución del aire; pero no se conoce, todavía, y ni siquiera se tiene una noción de los perjuicios globales resultantes de la inhalación continua durante años, por toda una población (y en especial por las criaturas) de ese "polvo industrial"; tampoco se tiene una noción de su posible papel nocivo sobre el desarrollo de los niños.

La polución del agua produce un efecto, en general, nocivo sobre la mayor parte de los organismos que la habitan. La gran cantidad de peces muertos que se venen los ríos que reciben de-

sagues crudos es el testigo más evidente. Pero, además de la muerte de los peces, hay, también, la destrucción de una enorme población de otros organismos y microorganismos cuya ausencia no la percibimos.

Sin embargo, una nueva fauna y una nueva flora pueden surgir, ocupando el sitio que antes era poblado por los otros. Los nuevos son resistentes a las nuevas condiciones del ambiente. Así, si hay un cambio en la concentración de oxígeno, pueden venir los microorganismos anaerobios, que no lo necesitan para su respiración; además, hay microorganismos resistentes a los tóxicos, como las sulfobacterias (ej: *Beggiatox*) que viven en ambiente con altas concentraciones de hidrógeno sulfurado; hay algas que resisten temperaturas más altas que 70 °C. Sin embargo, el número de especies que pueden vivir en las condiciones tan dañinas presentadas por las aguas polucionadas es mucho más pequeño que el número de las que viven en los ambientes normales o naturales. Por ello, las aguas polucionadas, al contrario de las no polucionadas, manifiestan una tendencia a presentar un reducido, número de especies, pero representado por un número de ejemplares, pues, esas pocas especies sobrevivientes están libres de la competencia de las otras especies por los alimentos y otros medios de sobrevivencia. Pueden haber excepciones a esa regla general, como, por ejemplo, en el caso de la presencia de tóxicos no específicos y muy fuertes, que pueden destruir todas las especies sin distinción.

Se denomina ciclo biodinámico de un ambiente, a la expresión gráfica de las relaciones de interdependencia entre varios organismos que lo habitan (13). El ciclo biodinámico puede ser modificado por la polución, por un cambio a veces profundo, provocado en el equilibrio biológico original del cuerpo de agua. El nuevo equilibrio formado será estable mientras sean mantenidas las nuevas características ambientales. Esas modificaciones del ciclo biodinámico pueden ser debidas a cambios de las características físicas o químicas del agua misma; o pueden ser provocadas por cambios en las características del lecho del río, a su velocidad, etc.

Los cambios en los ciclos biodinámicos se deben a la actuación de dos mecanismos de gran importancia ecológica: la adaptación y la selección de los organismos. En el primer caso, el elemento activo es el organismo mismo; en el segundo caso es el medio.

No han sido, todavía, muy observadas las adaptaciones fisiológicas a los nuevos ambientes creados con la polución. Aunque no sean muy frecuentes, merecen estudios más sistemáticos y objetivos en el futuro. Los más conocidos son los que se relacionan con el cambio de un comportamiento autótrofo a un comportamiento heterótrofo, en los cloroflagelados, y varias otras algas, como la *Navicula*, *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Chlorococcum*, etc. En realidad, Fogg (14) demuestra la existencia de toda una serie de procesos intermediarios entre el proceso típicamente autótrofo y el heterótrofo y los cloroflagelados son adaptados a cada uno de esos grados intermediarios de a-

cuerdo a la composición más o menos orgánica del medio. Muchos de ellos, como la *Euglena pisciformis*, por ejemplo, aunque posean clorofila y realicen la fotosíntesis, necesitan además, compuestos orgánicos, del medio, para su desarrollo. La materia orgánica, en este caso, no se utiliza como fuente de energía, sino como simple factor de crecimiento. Hay, además, algunos ejemplos de una adaptación fisiológica que es acompañada de cambios morfológicos, como con ciertas especies de *Euglena* que pierden la clorofila y, a veces, hasta el cloroplasto y el ocelo, cuando se desarrollan en ambientes donde no existe luz. Un caso extremo es el de la *Ochromonas malhamensis*, la cual, en ambiente muy rico en materia orgánica, aunque en presencia de luz, pierde su clorofila y reduce el tamaño de sus cloroplastos, que pasan a ocupar un área de 1/10 a 1/20 de su área primitiva (15).

Con relación a los cambios de la temperatura ambiente, se han observado muchos ejemplos de adaptaciones fisiológicas en animales. Los cambios muy repentinos pueden ser fatales a los peces, aunque los cambios lentos pueden adaptarlos a vivir en ambientes con temperaturas muy distintas de las que están acostumbrados. Hay, además, adaptaciones a los cambios de tensión de oxígeno (por variación del ritmo respiratorio, por ej.) y adaptaciones topográficas (como de los cloroflagelados, moviéndose en dirección a los sitios donde hay más luz en un agua que fué obscurecida por la turbidez).

Son mucho más frecuentes, los fenómenos de selección, en el ambiente polucionado. En general, no se puede decir que la polución es un factor único, selectivo, a no ser, quizás, que se trate del caso de polución debida a la materia orgánica no tóxica, en la que los varios factores responsables están de tal manera relacionados entre sí que no es posible estudiar la acción separada de cada uno de ellos.

Varios tóxicos, orgánicos o inorgánicos, ejercen acción selectiva. Los efectos biológicos, de la mayor parte de los tóxicos, son conocidos en cuanto a las dosis límites soportadas por los animales terrestres. Todavía, es necesario reconocer, según Hynes (2), la existencia de una distinción fundamental -a veces despreciada- con respecto a la sensibilidad de organismos acuáticos, pues, éstos se hallan todo el tiempo en contacto con una cantidad pequeña del tóxico, no habiendo casos de ingestión de una dosis única y total. No se trata, pues, de una cuestión de dosis, sino de concentraciones tóxicas. La concentración de la sustancia en el medio tiene una tendencia a reducirse con el tiempo a no ser que sea reemplazada continuamente. Además, su acción biológica puede cambiar con frecuencia, por las variaciones de temperatura, de concentraciones de oxígeno disuelto, pH y otros factores inestables. La acción tóxica de los metales pesados en relación a los peces, por ejemplo, puede estar sujeta a la influencia de la turbulencia del agua (16).

Estudios de sensibilidad relativa de los varios organismos acuáticos a la acción de los tóxicos, han comprobado la

existencia de distintos comportamientos. Ciertas especies de crustáceos (*Gammarus pulex*, por ej.) son hasta 10 veces más sensibles a los fenoles que los peces; en cambio, los gusanos tubícolas son mucho más resistentes a ese tóxico que los peces mismos. Los peces son más resistentes al cobre que los moluscos, pero son más sensibles que las larvas de insectos chironomidae. El crustáceo *Daphnia magna* es mucho más sensible a varios tóxicos que las truchas. *Limnaea pereger* soporta apenas 0.2 mg/l de zinc, aunque varios insectos acuáticos (larvas o adultos) pueden vivir en ambientes con 500 mg/l. Las algas rojas de los géneros *Batrachospermum* y *Lemanea* soportan concentraciones de zinc y de plomo que serían suficientes para producir la muerte de todas las demás formas de vida acuática (2). Ciertas especies de bacterias actinomicetales, viven en agua con altas concentraciones de ácido cianhídrico y lo utilizan en su metabolismo, como fuente de carbón y de nitrógeno (17). Hay casos, además, de microorganismos que sólo pueden vivir en ambientes donde existen compuestos que son tóxicos a los demás. Aunque no exista siempre una "preferencia" (como en este último caso) los ambientes nocivos a un gran número de especies son generalmente poblados por un gran número de organismos que pertenecen a especies no sensibles y que, en estos sitios, no encuentran la competencia con los organismos que normalmente podrían vivir en lucha con ellos, por el alimento común.

Ese tipo de adaptación es bien demostrado en el caso de la reducción de la concentración de oxígeno disuelto, provocada por la polución orgánica. Aunque existen organismos anaeróbicos obligatorios, la mayor parte de las especies pobladoras de los ambientes con poco o ningún oxígeno, está formada por anaerobios facultativos o aún de especies aerobias obligatorias pero que poseen mecanismos físicos, químicos o fisiológicos que les permiten vivir en estos ambientes. Las larvas de los insectos sirfídeos disponen de sifones que les permiten la obtención del oxígeno fuera de la lámina de agua, en la atmósfera; las larvas de chironomidae, así como los gusanos *Tubifex*, y *Limnodrilus* poseen pigmentos respiratorios que almacenan oxígeno por muchas horas. Todos estos (y otros más) se pueden hallar, en grandes números, en las aguas polucionadas donde, además del ambiente orgánico abundante de que disponen, están libres de la agresión de peces y otros predadores. Los cloroflagelados que necesitan acetatos y otros compuestos orgánicos en su nutrición (aunque sean fotosintéticos) encuentran, en las aguas polucionadas, ácidos orgánicos y alcoholes en concentraciones suficientes, así como vitaminas y otros micronutrientes a veces indispensables.

Las asociaciones biológicas en las aguas polucionadas se relacionan, sobre todo, con la producción del oxígeno por los organismos fotosintéticos y su aprovechamiento por los seres aerobios. Las bacterias aeróbicas, por ejemplo, oxidan la materia orgánica en su proceso respiratorio y producen, en el medio, elevación de la concentración de sales minerales. Estas sales son indispensables a la vida de los microorganismos fotosintéticos y éstos, en su actividad, producen el oxí