

7

La autodepuración en las corrientes de agua

Por Jorge MOLERO FERNANDEZ (*)
José SAEZ MERCADER (**)
Antonio SOLER ANDRES (***)

1. GENERALIDADES

Desde hace tiempo se había observado que un río contaminado por aguas residuales recupera progresivamente su pureza inicial aguas abajo del punto de descarga, sin necesidad de intervención humana alguna. Esta providencial recuperación del medio natural, que durante largo tiempo pareció compleja y misteriosa, ha sido objeto de múltiples estudios tendentes en primer lugar a comprenderla, evaluarla y utilizarla al máximo, y en segundo a dominarla y modificarla.

Los primeros estudios mostraron que la autodepuración es un complejo fenómeno natural, que se da en los medios acuáticos, y atribuible fundamentalmente a un elevado número de microorganismos de distintas especies (tanto de origen animal como vegetal), que utilizan y mineralizan las sustancias orgánicas aportadas por los vertidos.

1.1. Tipos de procesos que intervienen en la autodepuración

En conjunto, la autodepuración se lleva a cabo por una serie de procesos de tipo físico, químico y biológico que se encuentran estrechamente relacionados entre sí y en mutua dependencia.

Los procesos físicos más característicos en la autodepuración son la sedimentación, la radiación solar y la reaireación.

La sedimentación provoca, por su acción directa, que una fracción importante de materia en suspensión se deposite en el fondo del cauce, hecho que se produce generalmente cuando la velocidad de la corriente disminuye hasta valores inferiores a 20 cm/s, formándose lo que se conoce con el nombre de bancos de lodo; su degradación posterior es muy diferente a la que experimenta la fracción que permanece en suspensión.

Por medio de los procesos químicos se oxidan, cuando están presentes en el medio acuático, ciertas sustancias reductoras disueltas de naturaleza inorgánica, tales como sulfitos, nitritos, sales ferrosas, etc., consumiendo el oxígeno disuelto con mayor celeridad que aquellas otras de carácter orgánico.

Los procesos biológicos, de elevada complejidad, dan lugar a la degradación de la materia orgánica, sea en estado sólido, disuelto o coloidal. Esta degradación corre a cargo de los microorganismos presentes en el agua según reacciones que dependen de las condiciones del medio (temperatura, concentración de oxígeno disuelto, profundidad de la corriente, etc.).

Existen dos posibilidades de degradación de la materia orgánica por microorganismos:

a) Cuando hay disponibilidad de oxígeno disuelto —medio aerobio—, estos seres vivos consumen una cierta cantidad de este elemento para oxidar y descomponer las moléculas orgánicas en fragmentos cada vez más simples hasta llegar a una completa mineralización (transformación heterótrofa) dando sustancias inocuas tales como agua, dióxido de carbono, nitratos, fosfatos, etc., y generando su propia materia viva. Esta degradación aerobia se puede esquematizar como sigue:

$$\begin{aligned} &\text{materia orgánica} + \text{oxígeno} + \text{masa de microorganismos} = \\ &\text{mayor masa de microorganismos} + \text{subproductos} + \text{energía} \end{aligned}$$

b) Si la concentración de oxígeno disuelto es nula o muy pequeña —medio anaerobio—, la descomposición da lugar a productos diferentes tales como metano, amoníaco, ácido sulfhídrico, mercaptanos, etc.,

(*) Profesor Agregado de IB. Profesor encargado de Curso en el Departamento de Química Técnica de la Universidad de Murcia. Miembro de la Spanish Water Pollution Control Association.

(**) Profesor Agregado Interino de Química Técnica de la Universidad de Murcia. Miembro de la SWPCA.

(***) Catedrático de Química Técnica de la Universidad de Murcia. Miembro de la SWPCA.

cuya aparición comporta una serie de fenómenos indeseables, destacando entre ellos olor nauseabundo, corrosión y toxicidad. La degradación anaeróbica se lleva a cabo en dos fases según el esquema siguiente:

materia orgánica + masa de microorganismos = mayor masa de microorganismos + productos intermedios (ácidos orgánicos, alcoholes, etc.) + energía

productos intermedios + masa de microorganismos = mayor masa de microorganismos + subproductos

No obstante, la división entre procesos aerobios y anaerobios no puede ser tan estricta como hemos reseñado, puesto que existe un gran número de bacterias que viven indistintamente en uno u otro medio, e incluso algunos microorganismos típicamente aerobios y anaerobios en ciertas circunstancias pueden adaptarse a la vida en el medio contrario.

Entendiendo estas dos formas de degradación de la materia orgánica como un primer paso a cubrir en el ciclo vital de todo medio, es necesario conocer como se puede retornar a nueva materia orgánica inanimada a partir de los productos obtenidos tanto por transformación heterótrofa como la que tiene lugar en un medio anaerobio. Así, ciertas bacterias y algas clorofiladas consumen las sustancias minerales obtenidas como subproductos de la degradación aerobia para sintetizar su propia materia viva, a la vez que se libera oxígeno. Estos organismos van a servir de alimento a protozoos (Flagelados, Infusorios) y metazoos (Crustáceos y Moluscos).

En un siguiente paso, estos pequeños animales pueden ser presa de organismos superiores, incluso peces, si el medio los contiene. Finalmente, cuando estos mueren, sus cadáveres se descomponen por acción bacteriana, volviéndose a mineralizar la materia orgánica para cerrar el ciclo.

Por todo lo anterior, es conveniente insistir en que la autodepuración de una corriente no consiste solamente en la destrucción de la materia orgánica inanimada hasta su mineralización, sino que éste es sólo un paso intermedio que permite generar nueva materia viva, Fehmann la calificó como «una metamorfosis regresiva y progresiva».

2. ZONAS EN UNA CORRIENTE QUE SE AUTODEPURA

Desde el punto en que una corriente de agua recibe un vertido importante cargado principalmente de materia orgánica, hasta que, aguas abajo del mismo, recobra las condiciones de pureza iniciales merced a la autodepuración, se distinguen cuatro zonas de distinto grado de contaminación. La amplitud y definición de estas zonas dependerá fundamentalmente de los caudales de la corriente y del vertido, de su contenido en oxígeno, y de la cantidad de materia orgánica presente.

Según el ya clásico sistema de los «Saprobios», establecido por Kolkwitz y Marson, estas zonas, de acuerdo con el predominio de unas y otras especies, son las siguientes: Polisaprobia, α -Mesosaprobia, β -Mesosaprobia y Oligosaprobia.

Zona Polisaprobia.—Comienza en el punto de vertido de las aguas usadas, siendo zona de degradación y descomposición activa, y caracterizándose por presentar signos visibles de contaminación, pues la con-

centración de oxígeno disuelto disminuye progresivamente e incluso puede llegar a ser nula. Las aguas tienen aspecto sucio con sólidos en suspensión, turbidez, etc. siendo no aptas para el desarrollo de la vida superior, cuyas formas se sustituyen paulatinamente por otras inferiores.

Cuando la concentración de oxígeno disuelto desciende por debajo del 45 por 100 de la de saturación los peces mueren por asfixia. Los metazoos son escasos, pero se encuentran algunos rotíferos y larvas de diversos insectos (géneros Eristalis y Psychoda).

El número de bacterias es muy elevado (1-10 millones/ml), siendo frecuente encontrar bacterias filamentosas como: Sphaerotilus natans, Leptomitus lacteus, Beggiatoa alba, etc., que forman largos filamentos coposos adheridos a veces a las paredes del cauce, a los materiales del fondo, o a cualquier otro objeto, especialmente a los tallos y piedras de las orillas.

En esta zona las aguas contienen sustancias orgánicas tales como hidratos de carbono, aminoácidos, etc., procedentes de la degradación parcial de la materia orgánica, sobre todo si ésta es de origen urbano.

También se encuentra CO_2 libre y SH_2 , procedentes de la descomposición biológica de las proteínas o de la reducción de los sulfatos.

Un aspecto característico de esta zona es el depósito de lodos negruzcos que señalan la presencia de sulfuro de hierro, siendo además estos lodos un factor importante que hay que tener en cuenta en los estudios de contaminación, pues en casos de avenidas, aumentos de temperatura, etc., pueden volver a la suspensión y producir una nueva contaminación de la corriente.

Zona α -Mesosaprobia.—En esta zona se inicia la recuperación de la corriente de agua. Las características son muy semejantes a las de las aguas de alcantarillado diluidas; siguen produciéndose fenómenos de oxidación de la materia orgánica y el contenido de oxígeno disuelto aumenta gradualmente.

El número de bacterias —que oscila entre 10^5 y 10^6 por ml— disminuye respecto a la zona anterior, mientras que el de protozoos, rotíferos y crustáceos aumenta progresivamente. Se pueden dar algunas especies de peces que toleran amplios intervalos de la concentración de oxígeno (Ciprínidos, etc.).

Los organismos más característicos en esta zona son entre otros, Cianofíceas (Oscillatoria tenuis), Dípteros (Larvas de Quironómidos), etc., abundando también los hongos Fusarium.

Otra peculiar característica es la gran variación del contenido de oxígeno disuelto que tiene lugar durante el día. Con la presencia de la luz solar los diversos organismos verdes que en esta zona habitan son capaces de realizar la función clorofílica, liberando oxígeno en el proceso y como consecuencia aumentando su concentración en el medio. En ausencia de luz cesa la fotosíntesis y como es obvio la producción de oxígeno, la demanda de este aumento sigue siendo alta puesto que es necesario oxidar la gran cantidad de materia orgánica todavía existente y satisfacer los requerimientos respiratorios de la flora y la fauna acuáticas. Tal demanda puede llegar hasta anular el contenido de oxígeno disuelto.

Los lodos depositados en el fondo no son negruzcos como en la zona Polisaprobia, debido a que la descomposición de la materia orgánica se realiza preferentemente por vía aerobia y no se producen grandes cantidades de ácido sulfhídrico. Su color suele ser verde debido a la presencia de algas Cianofíceas, y en estos sedimentos se desarrollan diversas poblaciones

como larvas de insectos, moluscos y gusanos (anélidos, poliquetos, tubifex, etc.).

Zona β-Mesosaprobia.—Se caracteriza por una acusada mineralización estando muy avanzada la recuperación del río.

El número de bacterias disminuye hasta valores de 10^4 a 10^5 por ml apareciendo las nitrificantes.

La presencia de carbonatos y nitratos da lugar al desarrollo de algunas algas entre las que destacan, aparte las ya citadas, Clorofíceas y Diatomeas. Debido a la actividad de estas algas se alcanza una elevada concentración de oxígeno disuelto.

Además de esta microflora, se desarrolla también una gran variedad de microfauna, destacándose como más significativos pequeños crustáceos, moluscos bivalvos y larvas de insectos. La presencia de una mayor cantidad de especies piscícolas es indicativa del grado de recuperación alcanzado.

Zona Oligosaprobia.—En esta zona la contaminación ha desaparecido y el río recupera el aspecto y características de aguas limpias que pudo tener anteriormente. En ella se completa la mineralización de la materia orgánica que está presente en el agua de un modo natural, y que proviene principalmente de las actividades metabólicas de la fauna y de la flora así como de la descomposición de las especies muertas.

Hay pocas bacterias (de cien a mil por ml) y la concentración de oxígeno disuelto está próxima a la saturación.

Las especies vegetales y animales son muy abundantes y variadas a la vez que muy sensibles al exceso de materia orgánica, indicando con su presencia una buena autodepuración. Entre ellas tenemos Clorofíceas, ciertos musgos (*Fontinalis*), Planarias, Crustáceos (*Gammarus*), Moluscos (*Ancylus*), a la vez que gran cantidad de Artrópodos larvarios que sirven de alimento a los peces.

3. PAPEL DEL OXIGENO EN LA AUTODEPURACION

Como consecuencia directa de todo lo anterior, y de una forma general, puede decirse que el oxígeno es el elemento clave de la autodepuración, hasta tal punto que una evaluación cuantitativa del contenido de este elemento en un curso de agua es sinónimo de una descripción completa de la evolución de su proceso autodepurador.

El contenido de oxígeno en un momento dado se establece mediante el balance entre aquellos procesos que implican un aporte de este elemento (reaireación y fotosíntesis) y los que provocan una disminución de él (biodegradación y respiración). Este balance puede expresarse por:

$$O = A + F - Q - B$$

siendo

O = velocidad de variación del contenido de oxígeno disuelto,

A = velocidad de transferencia de oxígeno a través de la superficie interfacial aire-agua,

F = velocidad de producción de oxígeno por fotosíntesis,

Q = velocidad de consumo de oxígeno por acción química,

B = velocidad de consumo de oxígeno por procesos bioquímicos. Esta velocidad de consumo puede considerarse como suma de las corres-

pondientes a la biodegradación en el seno del agua y en los lodos de los fondos, y a la respiración de los seres vivos.

La unidad correspondiente a todos los parámetros puede ser g de $O_2/m^3 \cdot h$.

Si en algún momento la velocidad de consumo es mayor que las de aporte y producción, la vida en el agua llegaría a hacerse imposible para los organismos vivos, excepto para aquellos que sean capaces de desarrollarse en condiciones anaerobias. Afortunadamente, la fotosíntesis de la materia vegetal acuática proporciona importantes cantidades de oxígeno y, por otra parte, según la concentración de dicho elemento se aleja más de su valor de saturación, el agua se oxigena por reaireación desde la atmósfera con mayor velocidad, dado que la fuerza impulsora del fenómeno es precisamente la diferencia entre las concentraciones de oxígeno en el agua en cada instante y la correspondiente a la saturación.

3.1. Factores que afectan a la concentración de oxígeno disuelto

Los sistemas acuáticos son altamente sensibles a todos aquellos fenómenos que impliquen una disminución de la cantidad de oxígeno presente en los mismos, dada la baja solubilidad de este elemento en el agua.

Además de la indiscutible incidencia que sobre el contenido en oxígeno va a tener la existencia en mayor proporción de la materia orgánica biodegradable, hay que considerar otros factores de marcada influencia.

La tabla siguiente presenta los valores de la concentración de saturación de oxígeno en agua exenta de sales disueltas a 1 atmósfera de presión y diferentes temperaturas:

Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/l)
0	14,6
5	12,8
10	11,3
15	10,1
20	9,1
25	8,3
30	7,6

Como puede observarse, el aumento de la temperatura tiene una influencia desfavorable sobre la solubilidad del gas en el líquido; pero, además, la cantidad de oxígeno consumida por un buen número de especies vivas aumenta con la temperatura. Por ejemplo, existe una especie de trucha que consume alrededor de 55 mg de O_2/h por cada Kg de peso a 5° C, en tanto que a 25° C esta cantidad sube a 285 mg de O_2/h .

Otro de los factores que influye negativamente sobre la solubilidad es el contenido salino del agua. A continuación se indican las concentraciones de oxígeno, también para saturación, correspondientes a 1 atmósfera de presión y diferentes concentraciones de cloruros a 0 y 20° C:

Contenido en cloruros (mg/l)	Oxígeno disuelto (mg/l)	
	0° C	20° C
0	14,6	9,1
5.000	13,8	8,6
10.000	13,0	8,1
15.000	12,1	7,7
20.000	11,3	7,3

La existencia de ciertas sustancias tales como detergentes, hidrocarburos, las que dan lugar a suspensiones coloidales (turbidez), colorantes, etc., puede afectar sensiblemente a la concentración de oxígeno disuelto, bien por situarse en la interfase aire-agua, lo que es observable en el caso de espumas y películas de grasa, impidiendo el proceso de absorción del gas en el líquido; bien impidiendo la entrada de luz al seno del medio y dificultando la realización de la función clorofílica por las plantas verdes en él existentes, acción que puede ser causada también por aquellas sustancias que producen turbidez o aportan color.

Finalmente, existen otros productos particularmente tóxicos (fenoles, metales pesados, etc.) que pueden ocasionar si se alcanzan determinadas concentraciones —dosis letal— la muerte de algunas de las especies vivas con el consiguiente aumento de la carga orgánica y disminución de la cantidad de oxígeno producido por fotosíntesis, a la vez que aminoran la capacidad de autodepuración del sistema por afectar a los microorganismos aerobios encargados de realizarla. Asimismo, las sustancias que producen variación del pH pueden alterar la marcha de gran parte de los procesos que tienen que ver con el contenido de oxígeno disuelto.

3.2. Evolución del contenido de oxígeno en la corriente que se autodepura

Tal y como se ha descrito, el contenido de oxígeno en un punto determinado de una corriente se obtiene por establecimiento de un balance entre las actividades consumidoras y las que implican un aporte de este elemento al agua.

Si se representa gráficamente el perfil longitudinal de oxígeno disuelto en agua de un río aguas abajo de un punto de contaminación, se obtiene generalmente una curva que presenta una forma característica llamada «curva de depresión de oxígeno» o «curva de saco». (Fig. 1).

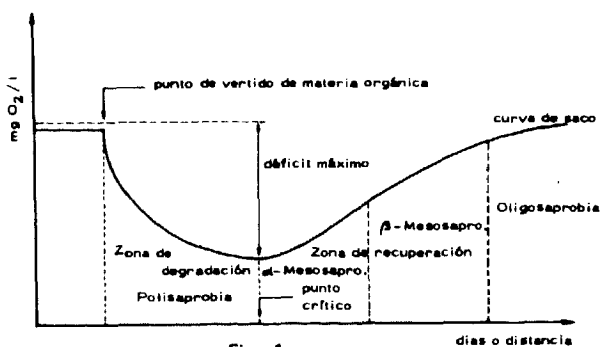


Fig. 1

Esta curva se puede considerar como resultante de la acción antagonista de los principales fenómenos antes citados: el consumo de oxígeno para la autodepuración, la reaeración desde la atmósfera, y la producción fotosintética.

Esta «curva saco» conserva el mismo aspecto general en todos los casos, aunque la evolución del contenido de oxígeno varíe considerablemente según la importancia relativa de la carga contaminante aportada por el vertido, las características morfodinámicas

del curso de agua receptor (anchura, profundidad, pendiente), el caudal de éste, su temperatura, etc. Una representación conjunta de estos factores se indica en la figura 2.

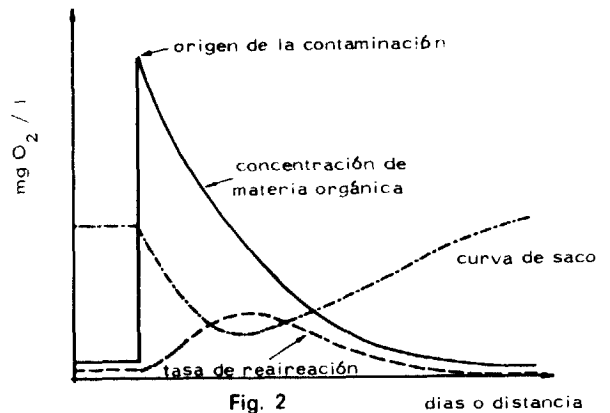


Fig. 2

El punto crítico donde se alcanza el déficit más acusado de oxígeno (o la concentración más baja) está situado a una distancia variable del punto de vertido, con arreglo a los parámetros que acabamos de citar. Esta concentración puede llegar a anularse en un tramo más o menos largo, en casos de contaminación orgánica importante, dominando entonces condiciones típicamente anaerobias (Fig. 3), constatándose así que los claros efectos de esta impurificación (olores nauseabundos, aspectos desagradables, etc.) no se dejan sentir plenamente hasta una cierta distancia aguas abajo del punto de vertido debido al arrastre de estos materiales por la corriente y al tiempo requerido para las reacciones de biodegradación.

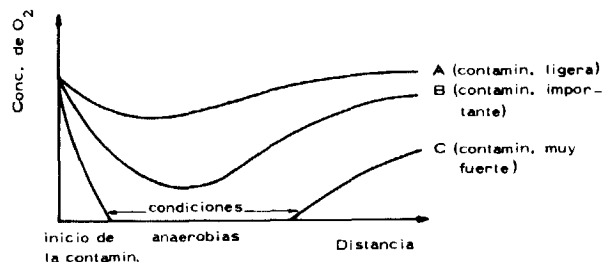


Fig. 3

El conocimiento de la ecuación matemática de la curva y de los parámetros de los que depende presenta un gran interés, ya que ello permitiría prever el estado de contaminación de un curso de agua en función de las cargas contaminantes y decidir el nivel de depuración a imponer a los vertidos para mantener la concentración de oxígeno en un valor determinado.

Como es obvio, y dada su trascendental importancia, se han multiplicado los trabajos de investigación encaminados a desarrollar nuevas técnicas para la determinación de los distintos parámetros y formular nuevos modelos matemáticos cada vez más exigentes del poder autodepurador, con ellos se trata de plasmar en una ecuación más o menos compleja el comportamiento natural de las corrientes de agua frente a

los vertidos contaminantes. No obstante, un tratamiento más profundo escapa del fin perseguido en el presente trabajo.

4. CONCLUSIONES

Aparte de las que se puedan deducir una vez realizados los oportunos trabajos de campo y laboratorio sobre la corriente a estudiar, creemos que es fácil vislumbrar, al menos esa ha sido nuestra intención en la redacción del presente artículo, que la humanidad cabalga hacia unas condiciones de vida que de no ser por la sabia actuación de la Naturaleza llegarían a ser insostenibles en algunos casos.

Por tanto, el conocimiento en profundidad de procesos naturales como el que hemos descrito va a permitir al hombre disminuir las necesarias inversiones relacionadas con la depuración de sus propios desechos, perfeccionar la tecnología de esa depuración, y disfrutar en mucha mayor extensión de los beneficios que las corrientes fluviales pueden proporcionarles.

La civilización industrial que en la actualidad soportamos parece inmersa en una carrera desenfrenada hacia la consecución de un bienestar «prefabricado» sin tener en cuenta que ello, en la mayoría de los casos, implica una degradación del entorno. Parece pues imprescindible que reflexionemos acerca de este hecho dado que puede llegar un momento en que las agresiones al medio acuático sean tales que ni aquellos cursos mejor dotados puedan soportar tamaño impacto.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Manteniendo el objetivo de nuestro anterior trabajo (R. de B. n.º 11) de orientar la realización de experiencias que permitan analizar los fenómenos que en la Naturaleza provoca la contaminación, hemos seleccionado las evoluciones de las concentraciones de oxígeno y de materia biodegradable, y la producción de oxígeno por fotosíntesis, como fenómenos relacionados con la autodepuración de las corrientes de agua.

5.1. Determinación del perfil longitudinal de oxígeno

Los datos necesarios para esta determinación se obtienen localizando, en el cauce a estudiar, un vertido de aguas residuales (preferiblemente urbanas y de abundante caudal), a partir del cual se toman muestras en la superficie a intervalos de 100 m (hasta un total de 500 ó 600 m), analizando en ellas el contenido de O_2 disuelto (la concentración inicial de este elemento se obtiene de la muestra tomada en un punto inmediatamente anterior al vertido).

El muestreo debe realizarse en frascos de vidrio bien limpios, cerrados preferentemente con tapón esmerilado aunque eventualmente puedan emplearse los de corcho siempre que sean nuevos y hervidos. El agua recogida ha de ser homogénea y representativa, y para que su composición no varíe en el intervalo de tiempo que va a mediar entre el momento de su captación y el del análisis se recomienda enfriarla rápidamente a una temperatura comprendida entre 0° y 10° C, evitando especialmente que entren burbujas de aire o que sufra aireación posterior. Como el volumen requerido es superior a 125 ml los frascos de mues-

treo serán, al menos de 500 ml, siendo conveniente la utilización de dos de estos frascos ya que uno de ellos, el que se va a emplear en este caso, ha de acidificarse inmediatamente añadiendo una gota de ácido sulfúrico concentrado, dejándose el otro para la determinación de un parámetro que posteriormente describimos.

El análisis en el laboratorio se efectúa llenando totalmente, del agua muestreada, un erlenmeyer de 125 ml con tapón esmerilado. Se añade rápidamente 1 ml de sulfato de manganeso y 1 ml de ioduro potásico especial, utilizando pipetas de 2 ml que se introducen hasta el fondo del erlenmeyer, y dejando caer el reactivo hasta la señal de 1 ml inmediatamente después se coloca el tapón, sin que importe al hacerlo el rebose del líquido, ni el que se hubiese producido al introducir los reactivos. Se agita el recipiente cerrado y al cabo de 10 min. se destapa y se añaden 0,5 ml de ácido sulfúrico concentrado o 1 ml de ácido 1/2. Agitar seguidamente hasta que se disuelva el precipitado formado, tomar 100 ml del líquido y valorar con disolución de tiosulfato N/80 en presencia de engrudo de almidón. El número de ml de tiosulfato gastados equivale a los miligramos por litro de oxígeno disuelto.

Reactivos

- Sulfato de manganeso: 400 g/l de SO_4Mn .
- Ioduro potásico especial: disolver 700 g. de potasa cáustica, 150 g de ioduro potásico y 10 g de azida de sodio en 1 l de agua destilada.
- Tiosulfato sódico: N/80.
- Engrudo de almidón: 4 g/l más 1,25 g/l de ácido salicílico.

Una vez determinadas las concentraciones de oxígeno disuelto, se representan gráficamente frente a las distancias a las que se recogieron las muestras, tomando como origen el punto de vertido. Con el perfil obtenido se puede conocer la distancia a la cual se producen los máximos efectos de la contaminación (mínimo de la curva), su grado de importancia, y la longitud del tramo que ha sido necesaria para recuperar las condiciones iniciales (autodepuración).

5.2. Fotosíntesis

Dentro de las posibilidades de producción de oxígeno por la flora acuática cuando realiza su función clorofílica, en el caso de estar contenido el pigmento correspondiente en sus plastos, vamos a limitar el estudio a la que tiene lugar por acción de la microflora, ya que la correspondiente a la macroflora requiere de medios más especializados.

Método de los frascos claros y oscuros

Procurando elegir una zona del río con un aspecto limpio, se toman muestras a distintas profundidades del cauce repartidas proporcionalmente al calado, llenando por completo dos frascos del mismo volumen (de 0,5 a 1 l), uno de vidrio transparente y otro negro o en su defecto uno normal envuelto en una tela o plástico negro. Ambos frascos se sumergen a la misma profundidad a la que se hizo la toma quedando expuestos a la radiación solar en ese punto un tiempo que oscila entre 10 y 14 horas (procurando en

este caso coincidir con el periodo diurno) y un día completo. Transcurrido este tiempo se recogen los frascos y se determina el contenido de oxígeno disuelto en cada uno de ellos.

Haciendo la suposición de que el consumo bioquímico de oxígeno tiene lugar a la misma velocidad tanto en los frascos oscuros como en los claros, se puede calcular fácilmente la producción de este elemento, por fotosíntesis, mediante la diferencia del contenido de los dos frascos.

La cuantía de oxígeno producido por este proceso —valor medio de los resultados obtenidos al hallar la diferencia entre las parejas de frascos de distintas profundidades— se suele expresar en g de O_2 por m^3 de agua y hora de exposición.

Una de las causas de error, quizá la fundamental, reside en el hecho de que el agua contenida en los frascos permanece en reposo, cuando está demostrado que la función clorofílica necesita para su realización un cierto gradiente de velocidad.

En nuestro caso y por razones de simplicidad sugerimos que esta experiencia se realice tomando una sola muestra en la superficie de la corriente, dejando los frascos expuestos durante 6 a 8 horas, tiempo que es insuficiente para una correcta determinación pero que sin embargo permite una apreciación del fenómeno.

5.3. Contenido en carga biodegradable (Demanda Bioquímica de Oxígeno)

La mayoría de las sustancias orgánicas de origen natural son susceptibles de una fácil y rápida biodegradación, traduciéndose su presencia en las aguas residuales en un acelerado consumo de oxígeno. Este tipo de evolución es el que siguen los efluentes domésticos y los de numerosas industrias agrarias (lecherías, mataderos, etc.). Por el contrario, otras sustancias del mismo origen necesitan para su biodegradación periodos más dilatados de tiempo y condiciones difícilmente alcanzables, tal es el caso, entre otros, de compuestos de origen vegetal, como la lignina, que conduce a la formación de residuos relativamente estables como es el humus. Este tipo de materia orgánica se encuentra principalmente en los efluentes de las industrias productoras de pasta de papel.

El mismo comportamiento presentan numerosos productos sintéticos cuya estructura molecular resiste la degradación bacteriana, como ocurre con los llamados detergentes «duros» o no biodegradables.

La evaluación del contenido en materia orgánica se realiza por medio de un test conocido con el nombre de Demanda Bioquímica de Oxígeno o «DBO», expresión que se puede definir como: «la cantidad de oxígeno en mg/l. que necesitan los microorganismos aerobios para descomponer la materia orgánica biodegradable que esté presente en el medio».

Esta transformación biológica se realiza en dos etapas. En la primera, se oxidan principalmente los compuestos hidrocarbonados, y en la segunda, los nitrogenados. Aquella empieza inmediatamente y termina al cabo de los 20 días a $20^\circ C$. La segunda no comienza antes de los 10 días a $20^\circ C$, y se prolonga por un periodo más largo (28-30 días), aunque investigaciones recientes de Courchaine han mostrado que en ciertas condiciones (relativas a la temperatura principalmente) la nitrificación puede dar comienzo antes de que se complete la fase hidrocarbonada.

En la figura 4 se representa la curva correspondiente a la DBO total como suma de la DBO hidrocarbonada y la DBO nitrificación.

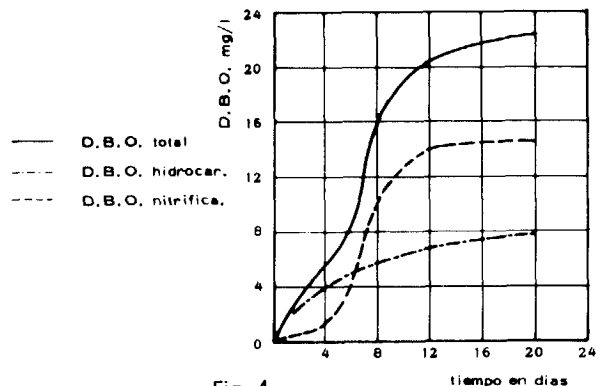


Fig. 4

Debido a este periodo tan dilatado se ha normalizado este ensayo para un tiempo de incubación de 5 días (DBO_5).

El cálculo se efectúa determinando el contenido de oxígeno de una muestra dada y lo que queda de él después de cinco días en otra muestra semejante, conservada durante este tiempo en un frasco cerrado, fuera del contacto del aire, a $20^\circ C$ y en la oscuridad.

Método de dilución

Dado que antes de finalizar este periodo de cinco días de incubación, en el caso de una importante carga contaminante, podría llegar a anularse rápidamente el contenido en O_2 de la muestra, con el consiguiente error en su determinación, hay propuestas diversas formas de subsanar estas dificultades. De entre las varias posibilidades existentes elegimos, por considerarlo más apropiado, el método de dilución que proponemos adecuadamente simplificado.

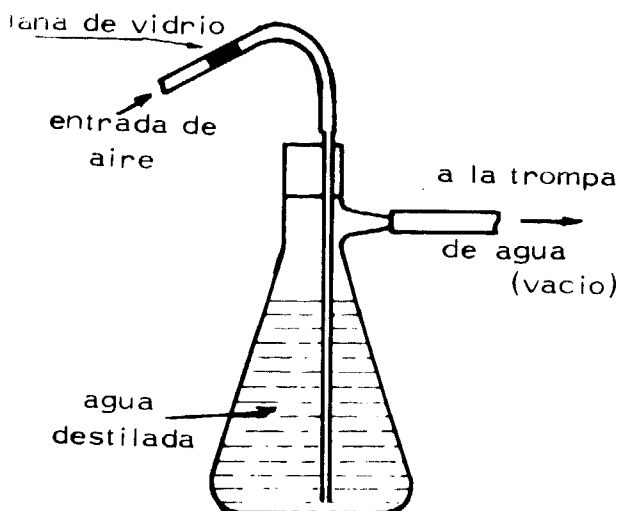
Para su realización es necesario preparar previamente agua de dilución según la siguiente receta:

Agua de dilución: Un volumen conveniente de agua destilada se airea hasta saturación (puede utilizarse para tal fin una trompa de vacío dispuesta en un montaje según el esquema que se adjunta) determinando su contenido en oxígeno al final del proceso. Por cada litro de agua saturada se deben de añadir los siguientes reactivos:

- 5 ml de disolución de fosfatos (obtenido al llevar 8.493 g de $PO_4HNa_2 \cdot 2H_2O$ y 2.785 g de PO_4H_2K a 1 l de agua),
- 1 ml de disolución de sulfato magnésico (de concentración 20 g/l),
- 1 ml de disolución de cloruro cálcico (25 g/l),
- 1 ml de disolución de cloruro férrico (1,5 g/l),
- 1 ml de disolución de cloruro amónico (2 g/l).

Se debe tener la precaución de evitar la contaminación, durante o una vez preparada, por metales, materia orgánica, reductores y oxidantes en general.

Por cada uno de los frascos que contienen el agua muestreada y que no se acidificó, se necesitan tres erlenmeyers de igual capacidad y tapón esmerilado. En cada uno de ellos se introduce agua suficiente,



Se determina este contenido por medio de la siguiente expresión.

$$\frac{\text{vol. de agua de dil.} \times \text{su cont. en O}_2 + \text{vol. de agua muestreada} \times \text{su cont. en O}_2}{\text{volumen total}}$$

T_5 = contenido de oxígeno (mg/l) de cada una de las muestras al final de los 5 días de incubación.
 F = factor de dilución. Se obtiene por el cociente entre el volumen total del erlenmeyer y el volumen de agua de muestra.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días, expresada en mg de O_2/l es igual a:

$$\text{D.B.O}_5 = F (T_0 - T_5) - (F - 1) (D_0 - D_5)$$

siendo sólo aplicable esta expresión a aquellas muestras en donde la dilución permite conseguir que:

$$0,4T_0 < T_0 - T_5 < 0,6T_0$$

previamente homogeneizada, para alcanzar 1/10, 1/5 y 1/2 del volumen respectivo, completándose el resto (sin dejar cámara de aire) con agua de dilución. Otro erlenmeyer análogo se utilizará como ensayo en blanco de todas las muestras llenándolo solamente con agua de dilución.

Se colocan todos los erlenmeyers en una cámara oscura a $20 \pm 1^\circ \text{C}$ durante 5 días para su incubación. En las determinaciones precisas esto se realiza en una estufa de aclimatación dotada de calefacción y refrigeración. Pero en los ensayos indicativos que proponemos, podría hacerse en una estufa clásica de laboratorio regulada a 20°C si la temperatura ambiente es baja (0 a 10°C), o en cualquier cámara aislada (puede ser una misma estufa o incluso una nevera de camping vacía) con un termómetro en su interior. En este caso se logrará una temperatura casi estable, aunque sólo casualmente sea de 20°C , pero los resultados podrán tener el carácter indicativo perseguido.

Transcurrido este período de tiempo se determina en cada uno de ellos el contenido de oxígeno disuelto.

Si denominamos

D_0 = contenido de oxígeno (mg/l) del agua de dilución al principio del ensayo.

D_5 = contenido de oxígeno (mg/l) del agua de dilución al final de los cinco días de incubación.

T_0 = contenido de oxígeno (mg/l.) de cada una de las diluciones de la muestra al principio del ensayo.

BIBLIOGRAFIA

- J. CATALAN LAFUENTE: *Química del agua*, Ed. Blume. Madrid, 1969.
Livre de l'eau, 3.ª edición. Volumen V, Ed. CEBEDOC, Lieja 1978.
F. DE LORA-J. MIRO: *Técnicas de defensa del medio ambiente*, Ed. Labor. Barcelona 1978.
La contaminación de las aguas continentales. Incidencias sobre las biocenosis acuáticas, Obra colectiva presentada por P. Pesson. Ed. Mundi-Prensa. Madrid 1979.
JEAN RODIER: *L'Analyse de l'eau*. Dunod technique. Paris 1976.
J. CATALAN, M. SANTOS y S. EGIDO: *Documentos de Investigación Hidrológica*, n.º 3. C.S.I.C. 1967.
DEGREMONT: *Manual técnico del agua*. Technique et documentation. Paris 1972.
Standard methods. For the Examination of Water and Wastewater. Publicado por APHA-AWWA-WPCF. 13.ª Edición 1971.
K. IMHOFF: *Manual de saneamiento de poblaciones*. Ed. Blume. Madrid 1969.
G. FAIR, J. GEYER, y D. OKUN: *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. Vol. II. Ed. Limusa-Wiley. México 1971.



Empresa educativa
presente en todos los campos de la
enseñanza, ofrece el fondo más extenso para
Bachillerato y COU,
con el rigor que exige nuestro tiempo
y el servicio que precisa nuestra sociedad.

Bachillerato

LENGUA ESPAÑOLA (1.º) Fernando Lázaro y Vicente Tusón

LENGUA ESPAÑOLA (1.º) Eugenio de Bustos y J. Jesús de Bustos

LITERATURA ESPAÑOLA (2.º) Fernando Lázaro y Vicente Tusón

LITERATURA ESPAÑOLA (2.º) M. Baquero, V. Polo y F.J. Díez de Revenga

LITERATURA ESPAÑOLA (3.º) Fernando Lázaro y Vicente Tusón

LITERATURA ESPAÑOLA (3.º) M. Baquero, V. Polo y F.J. Díez de Revenga

HISTORIA DE LAS CIVILIZACIONES Y DEL ARTE (1.º) J. Valdeón, I. González, M. Mañero y D.J. Sánchez Zurro

HISTORIA DE LAS CIVILIZACIONES Y DEL ARTE (1.º) A. Domínguez, L. Cortés y J.U. Martínez Carreras

GEOGRAFIA HUMANA Y ECONOMICA DEL MUNDO ACTUAL (2.º) J. Valdeón, I. González, M. Mañero y D.J. Sánchez Zurro

GEOGRAFIA HUMANA Y ECONOMICA DEL MUNDO ACTUAL (2.º) J. Vilá, J. Pons y C. Carreras

GEOGRAFIA E HISTORIA DE ESPAÑA Y DE LOS PAISES HISPANICOS (3.º) J. Valdeón, I. González, M. Mañero y D.J. Sánchez Zurro

GEOGRAFIA E HISTORIA DE ESPAÑA Y DE LOS PAISES HISPANICOS (3.º) J. Vilá, J. Pons y C. Carreras

MATEMATICAS (1.º) J. Etayo, J. Colera y A. Ruiz

MATEMATICAS (1.º) J. Casulleras

MATEMATICAS (2.º) J. Etayo, J. Colera y A. Ruiz

MATEMATICAS (2.º) J. Casulleras

MATEMATICAS (3.º) J. Etayo, J. Colera y A. Ruiz

MATEMATICAS (3.º) J. Casulleras

CIENCIAS NATURALES (1.º) D. Fernández Galiano y E. Ramírez

CIENCIAS NATURALES (1.º) E. Anadón, M.E. Alvarez y R. Simancas

CIENCIAS NATURALES (3.º) D. Fernández Galiano y E. Ramírez

CIENCIAS NATURALES (3.º) E. Anadón, M.E. Alvarez y R. Simancas

FISICA Y QUIMICA (2.º) J. Aguilar y J.L. Garzón

FISICA Y QUIMICA (2.º) J. Beltrán, C. Furió, D. Gil, R. Llopis y A. Sánchez

FISICA Y QUIMICA (3.º) J. Aguilar y J.L. Garzón

FISICA Y QUIMICA (3.º) J. Beltrán, C. Furió, D. Gil, R. Llopis y A. Sánchez

LATIN (2.º) S. Segura

LATIN (2.º) M.C. Díaz, J.L. Ramírez y J.L. Hernández

LATIN (3.º) S. Segura

LATIN (3.º) M.C. Díaz, J.L. Ramírez y J.L. Hernández

INGLES (1.º) M. Estrany

INGLES (2.º) M. Estrany

INGLES (3.º) M. Estrany

FRANCES (1.º) J. Cantera, F. Hernández y E. de Vicente

FRANCES (2.º) J. Cantera, F. Hernández y E. de Vicente

FRANCES (3.º) J. Cantera, F. Hernández y E. de Vicente

FILOSOFIA (3.º) C. Paris y C. Mínguez

FILOSOFIA (3.º) S. Rábade y J.M. Benavente

RELIGION (1.º) J.A. Ruano y J. Pereña

RELIGION (2.º) J.A. Ruano y J. Pereña

RELIGION (3.º) J.A. Ruano y J. Pereña

ETICA Y MORAL (1.º) J. Todolí y J. Cordero

GRIEGO (3.º) J. Alsina y R.A. Santiago

DIBUJO (1.º) J. Amó

OPCION LETRAS

ASIGNATURAS OBLIGATORIAS

LITERATURA ESPAÑOLA. Vicente Tusón
HISTORIA DEL MUNDO CONTEMPORANEO. Jesús María Palomares Ibáñez, Ceslo Almuíña, Juan Helguera, Mateo Martínez y Germán Rueda

ASIGNATURAS OPTATIVAS

HISTORIA DEL ARTE. José María Azcárate Ristori, Juan A. Ramírez Domínguez y Alfonso Emilio Pérez Sánchez
LATIN. Santiago Segura Munguía
GRIEGO. José Alsina Clota y Rosa A. Santiago Alvarez
MATEMATICAS. Javier Etayo, José Colera y Andrés Ruiz

COU

ASIGNATURAS COMUNES

CURSO DE LENGUA ESPAÑOLA. Fernando Lázaro
HISTORIA DE LA FILOSOFIA. Juan Manuel Navarro Cordón y Tomás Calvo Martínez
HISTORIA DE LA FILOSOFIA. Alberto Hidalgo Tuñón, Carlos Iglesias Fueyo y Ricardo Sánchez Ortiz de Urbina
FRANCES. Francisco J. Hernández
INGLES. Emilio Lorenzo Criado y Recaredo Saíñz-Ezquerza

OPCION CIENCIAS

ASIGNATURAS OBLIGATORIAS

MATEMATICAS. Javier Etayo, José Colera y Andrés Ruiz
FISICA. José Aguilar Peris, José Doria Rico y Juan de la Rubia Pacheco

ASIGNATURAS OPTATIVAS

QUIMICA. Jesús Morcillo Rubio y Manuel Fernández González
BIOLOGIA. Dimas Fernández Galiano
GEOLOGIA. José L. Amorós Portolés, Francisco J. García Abbad-Jaime de Aragón, Enrique Ramírez Sánchez-Rubio y Rafael Simancas Pérez
DIBUJO TECNICO. Angel Gutiérrez Vázquez, Fernando Izquierdo Asensi, Javier Navarro de Zubillaga y Job Placencia Valero