

#### IV . CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DE USO DOMESTICO

Es importante en primer instancia definir que vamos a entender por aguas residuales urbanas. Según Metcalf-Eddy (1985) *son una combinación de líquidos o aguas portadoras de residuos, procedentes de residencias, instituciones públicas, así como de centros comerciales e industriales, a las que eventualmente, pueden agregarse aguas subterráneas, superficiales y pluviales.*

Las aguas superficiales constituyen el aporte de la escorrentía superficial y las pluviales de las precipitaciones.

Por tanto, el grado de contaminación de las aguas es considerable ya que su fuente generadora, los vertidos urbanos, son permanentes aunque hayan fluctuaciones horarias.

##### 1. Composición de las aguas residuales urbanas

Mediante diversos estudios se ha determinado que la composición de las aguas urbanas es *heterogénea tanto química como físicamente*. Las aguas urbanas domésticas están compuestas principalmente por:

- a. **Productos orgánicos:** Los compuestos orgánicos están constituidos básicamente por carbohidratos, proteínas y lípidos.
- b. **Productos inorgánicos:** Disueltos como sales e inertes como residuos de materiales, tierra, arena, papel
- c. **Microorganismos:** Virus, algas, protozoos, bacterias, hongos e insectos

Estos compuestos organicos y minerales están a su vez formados por fracción insoluble, emulsionada ( líquido de aspecto lácteo que contiene en suspensión pequeñísimas partículas de sustancias insolubles en el agua) y disuelta.

Cabe preguntarse *cómo se distribuyen éstas en el río?* Pues bien, los elementos de mayor densidad que el agua constituyen los sólidos decantables tanto orgánicos como inorgánicos. Los que tienen densidad similar a la del agua y a la corriente, permanecen en suspensión en la masa de agua; y los de baja densidad llegan a la superficie al cabo de un determinado tiempo como las grasas, detergentes y flotantes

Bustos A; Fiestas J.A (1991), presentan la composición cuantitativa del agua residual urbana, la cual se muestra en el cuadro n° 4 y figura 3, donde la mayor cantidad la tienen las fracciones solubles respecto a las fracciones en suspensión y emulsión. Dándose diferencia entre los componentes.

**Cuadro N° 4. Composición cuantitativa del agua residual urbana mg/l**

|                                     | Fracción en<br>suspensión<br>y emulsión | Fracción<br>soluble | Total      |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|------------|
| Carbohidratos                       | 30                                      | 80                  | 110        |
| Proteínas                           | 30                                      | 60                  | 90         |
| Lípidos                             | 80                                      | 20                  | 100        |
| Total de<br>compuestos<br>orgánicos | 140                                     | 160                 | 300        |
| Sales minerales                     | 80                                      | 420                 | 500        |
| <b>Totales</b>                      | <b>220</b>                              | <b>580</b>          | <b>800</b> |

Fuente: Bustos A; Fiestas J.A. 1991

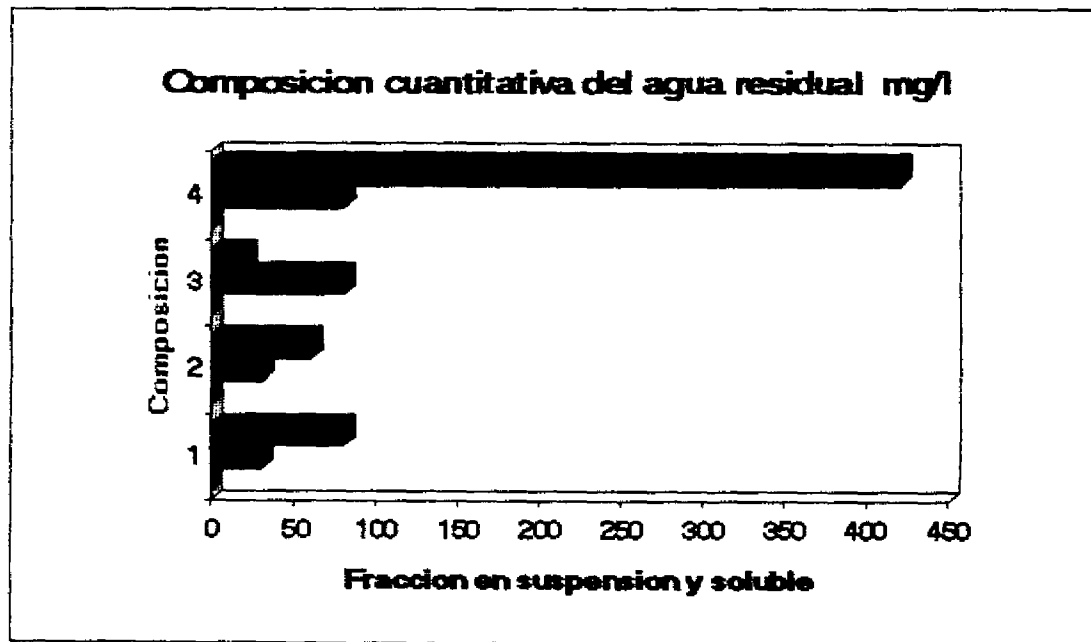


Figura 3

**Cuadro N° 5. Composición típica de aguas residuales domésticas no tratadas**

| Constituyente                           | Concentraciones |               |       |
|-----------------------------------------|-----------------|---------------|-------|
|                                         | Fuerte          | mg/l<br>Media | Débil |
| Sólidos totales:                        | 1200            | 720           | 350   |
| Disueltos totales                       | 850             | 500           | 250   |
| Fijos                                   | 525             | 300           | 145   |
| Volátiles                               | 325             | 200           | 105   |
| En suspensión totales                   | 350             | 220           | 100   |
| Fijos                                   | 75              | 55            | 20    |
| Volátiles                               | 275             | 165           | 80    |
| Sólidos sedimentables, ml/l             | 20              | 10            | 5     |
| DBO <sub>5</sub> , a 20 °C.             | 400             | 220           | 110   |
| Carbono orgánico total ( COT)           | 290             | 160           | 80    |
| DQO                                     | 1000            | 500           | 250   |
| Nitrógeno ( Total como N)               |                 |               |       |
| Orgánico                                | 85              | 40            | 20    |
| Amoníaco libre                          | 35              | 15            | 8     |
| Nitritos                                | 50              | 25            | 12    |
| Nitratos                                | 0               | 0             | 0     |
| Fósforo ( Total como P)                 |                 |               |       |
| Orgánico                                | 15              | 8             | 4     |
| Inorgánico                              | 5               | 3             | 1     |
| Cloruros                                | 10              | 5             | 3     |
| Alcalinidad ( como Ca CO <sub>3</sub> ) | 100             | 50            | 30    |
| Grasa                                   | 200             | 100           | 50    |
| Coliformes totales ( n°/100 ml)         | 150             | 100           | 50    |
| Compuestos orgánicos volátiles          |                 |               |       |
| COVs ( ug/l )                           | 10 -10          | 10-10         | 10-10 |
|                                         | >400            | 100-400       | <100  |

Fuente: Metcalf-Eddy.1985

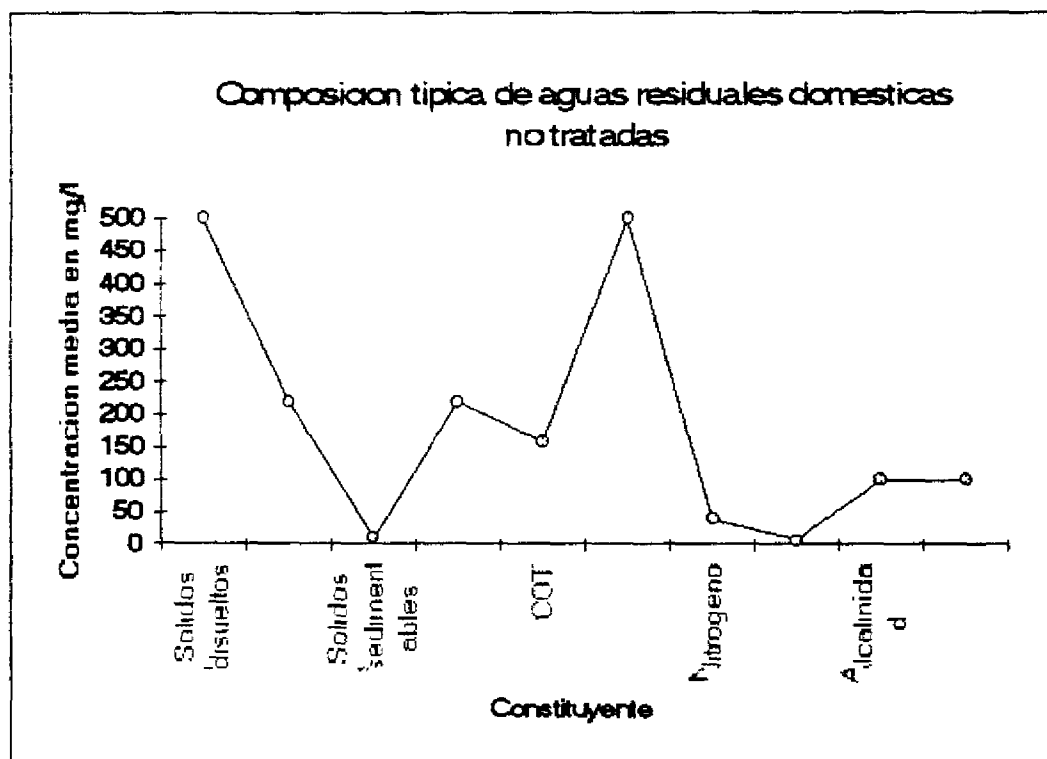


Figura 4

Las concentraciones según los constituyentes reflejadas en el cuadro n°5 no son estáticas, por el contrario pueden fluctuar en el tiempo ( hora, día, semanas, período o estación del año) así como por la influencia de factores geográficos locales.

A pesar de que se ha ido definiendo con base a estudios los constituyentes principales del agua residual urbana, no deja de ser importante incorporar en el análisis otros constituyentes adicionales que en menor escala producen efectos.

Entre ellos están el calcio, el cobalto, el cobre, el hierro, el magnesio, zinc y la presencia o ausencia de sulfuro de hidrógeno por su efecto corrosivo. Así como la precipitación de alguno de los metales traza, necesarios para el crecimiento de los microorganismos.

Para Metcalf-Eddy.(1985), determinar la concentración de sulfatos es necesario para evaluar la posibilidad de utilización de tratamientos anaerobios, y los organismos filamentosos en el agua residual en caso de utilizar un tratamiento biológico

Se tiene entonces, que las aguas residuales urbanas presentan variaciones de carga por influencia de los siguientes factores:

- Hábitos de los residentes de la población, a corto plazo ( horas, días, semanas)
- Condiciones de carácter estacional, largo plazo
- Actividades industriales ( corto y largo plazo)

Así mismo, se estableció que el agua proveniente de la escorrentía superficial representa un aporte de contaminación y concentración de constituyentes.

A este respecto Hernández ( 1994), explica y ejemplifica que en relación con las aguas de escorrentía superficial urbana, debe romperse con el concepto de que son aguas blancas, su contaminación de tipo orgánico se ve aumentada por los depósitos de todo tipo de contaminación atmosférica, elementos depositados en la vía pública y efectos del tráfico con depósitos de metales pesados, hidrocarburos.

Este aporte queda reflejado en el cuadro n°6, donde se establecen las cantidades en mg/l según diferentes parámetros.

Cuadro N° 6. Constituyentes y concentraciones del agua de escorrentía superficial

| Parámetro                                   | Concentraciones en agua de escorrentía (ml/L) |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| DBO <sub>5</sub>                            | 25                                            |
| DBO                                         | 62                                            |
| SS                                          | 231                                           |
| SSV                                         | 38                                            |
| N en ( NH <sub>3</sub> )                    | 0,2                                           |
| N en ( NO <sub>2</sub> )                    | 0,05                                          |
| N en ( NO <sub>3</sub> )                    | 0,5                                           |
| NT. J. ( Nitrógeno orgánico)                | 1,4                                           |
| PO <sub>4</sub> disuelto                    | 0,46                                          |
| PO <sub>4</sub> totales                     | 1,15                                          |
| No. Colis fecales<br>( primera escorrentía) | 10 <sup>6</sup> / 100 ml                      |
| No. de Coliformes<br>( primera escorrentía) | 9,3 x 10 <sup>6</sup> ml                      |
| No estreptococos<br>( primera escorrentía)  | 32 x 10 <sup>3</sup> ml                       |

Fuente. Hernández 1994

## 2. Características del agua residual urbana doméstica

### a. Características físicas:

Las características físicas que presenta el agua residual urbana son:

- **Sólidos totales** Compuestos por materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta. Representan la mineralización de las aguas. Su variación es dependiente del origen de las aguas ( naturaleza geológica de la cuenca), meses del año ( temperatura, precipitaciones y caudales), efluentes y escorrentías. Analíticamente, se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C

Según Estay Low (1991), en las aguas residuales urbanas domésticas, el límite tolerable es de 1500 mg/l, siendo necesario saber la composición de las sales que le integran

- **Olores.** Resultado de los gases liberados durante la descomposición de la materia orgánica, entre más séptica este el agua residual más desagradable es su olor ( sulfuro de hidrógeno)
- **Temperatura.** Constituye un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción, y en la aplicabilidad del agua a diversos usos.

Por lo general, la temperatura es mayor que en el agua de suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de las casas y de actividades industriales. Según la localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía de 10 a 21 grados centígrados, siendo, pues 15 °C un valor medio

Metcalf-Eddy (1995), explica que el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en la fría, donde el aumento de la velocidad de las reacciones químicas, que supone un aumento de la temperatura junto con la disminución de oxígeno presentes en las aguas superficiales, puede frecuentemente causar graves agotamientos en los meses de verano, de las concentraciones de oxígeno disuelto.

Estos efectos se ven aumentados cuando se vierten cantidades suficientemente grandes de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Un cambio brusco de temperaturas ocasiona un aumento porcentual de mortalidad para la vida acuática así como un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos

Por tanto, la variación en la temperatura puede repercutir en una variación en la solubilidad del oxígeno, desplazamientos de equilibrios dinámicos por cambios en la velocidad de reacción, reacción química sobre los metales, cambios en la velocidad de sedimentación, aumento de la toxicidad de muchas sustancias y alteración del metabolismo de organismos acuáticos.

La variación de la temperatura en el río puede ser por causas naturales (temperatura del aire) o por vertidos (principalmente industriales)

- **Color.** Resultado de la degradación natural de la materia orgánica. El agua residual en estado reciente suele ser gris al darse la descomposición de ésta, por medio de las bacterias. El oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro, denominándose agua residual séptica. En la mayoría de los casos se debe a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual
- **Densidad.** Es la masa por unidad de volumen, expresada en  $\text{Kg/m}^3$ . La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura
- **Turbidez.** Es importante como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua. Es indicador de calidad de agua y relaciona la materia coloidal y residual en suspensión.

### Características químicas:

- *Materia orgánica.* Según Metcalf-Eddy (1985), en un agua residual de concentración media, un 73% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrables son de naturaleza orgánica. Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos.

Los principales grupos de sustancias orgánicas encontradas en el agua residual son las proteínas ( 40 a 60 % ), carbohidratos ( 25 a 50 % ) y grasas y aceites ( 10% ) . La urea ( orina) es otro constituyente, sin embargo por la rapidez con que se descompone es difícil encontrarla excepto en agua residual reciente..

En el caso concreto de la orina de origen humano presenta una composición media, esta se observa en el cuadro n° 7.

*Cuadro N° 7*

| Cationes            | Aniones             | Pigmentos    | pH...6     | Compuestos orgánicos                           |
|---------------------|---------------------|--------------|------------|------------------------------------------------|
| Na 6                | Cl 8,6              | Urocromo     | Cl Na      | Urea[CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ]<br>30 |
| K 2,6               | SO <sub>4</sub> 2,2 | Urobilina    | 13gr/ 24 h | Ácido hipÚrico 1,3                             |
| NH <sub>4</sub> 0,8 | PO <sub>4</sub> 3,8 | Uroporfirina | Cl K       | Creatimina 1,8                                 |
| Ca 5,3              |                     |              |            | Ácido úrico 0,7                                |
| Mg 0,15             |                     |              |            | Bases púricas 0,3                              |
|                     |                     |              |            | Aminoácidos 0,5                                |
|                     |                     |              |            | Alcoholes                                      |
|                     |                     |              |            | Glúcidos                                       |
|                     |                     |              |            | Ácidos grasos 0,5                              |

Fuente : Seoanez .1995

También se encuentran diferentes moléculas sintéticas cuya estructura puede variar desde muy simple a muy compleja (agentes tensoactivos, fenoles y pesticidas), su problema es la lentitud o del todo la no descomposición biológica.

- **Materia inorgánica.** Su procedencia en el agua es tanto de origen geológico por disolución de las rocas y los minerales con ésta, como por el vertido de las aguas residuales.
- **El pH.** Su variación puede ser por causas naturales propias del suelo o por vertidos principalmente de origen industrial y minero.

Incide en la vida de los organismos acuáticos y en las reacciones que se dan en el agua.

La forma habitual de expresar la concentración de ion hidrógeno es como pH, que se define como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración de ion hidrógeno

$$\text{pH} = -\log_{10} (+\text{H})$$

- **Conductividad.** es la aptitud del agua para transmitir la corriente eléctrica, orienta sobre la mineralización global del agua. No indica la naturaleza de las sustancias en solución, pero cualquier incremento o descenso en su concentración es causada por este parámetro. Permite detectar una posible contaminación y característica del curso.
- **Cloruros.** Su presencia proviene de la disolución de los suelos y rocas al hacer contacto con el agua, así como por las descargas de las aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas.

Su aumento brusco es indicativo de contaminación por aguas negras, ya que forma parte de la composición de la orina del hombre-animales (5 a 12 gr/d) o por aguas residuales industriales

- **Alcalinidad.** Su presencia se debe a los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. El aporte proviene del agua de suministro, del agua subterránea y del agua doméstica.

- *Nitrógeno*. Nutriente básico para el crecimiento biológico y la síntesis de las proteínas. Cuando el agua es reciente el nitrógeno se encuentra en forma de urea y materia proteica, pero debido a la descomposición que realizan las bacterias pasa a forma de amoníaco, que a su vez, es un indicador de la edad del agua residual
- *Fósforo*. Elemento imprescindible para el desarrollo de los microorganismos de las aguas y en consecuencia para el proceso de depuración biológica. El fósforo en las aguas puede encontrarse disuelto o en suspensión. Una acción importante de los fosfatos es la influencia en el transporte y retención de los metales en el agua debido al fenómeno de complejación.

### C. Características biológicas

Las aguas residuales urbanas contienen gran número de microorganismos vivos cuya función es la descomposición, transformación y fermentación de la materia orgánica. Pueden ser de origen vegetal ( plantas, semillas, helechos), animales ( vertebrados e invertebrados) y protistas ( bacterias, hongos, protozoos y algas)

Cada uno de estos grupos desempeña un papel primordial dentro del proceso de degradación de la materia orgánica y constituyen indicadores de la calidad del agua residual.

Los factores ambientales ( litología, microclima, vegetación, suelo ), pueden causar efectos sobre los organismos y ocasionar que se modifique su intensidad e implicando que su función autodepuradora se vea reducida. Las características fisicoquímicas se pueden alterar, considerando además los vertidos de aguas residuales urbanas que le caen.

Las principales funciones de los microorganismos se muestran en el cuadro n° 8

**Cuadro N° 8. Función de los microorganismos**

| <b>Organismos biológicos</b> | <b>Función</b>                                                                                                                                              |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Protistas:                   |                                                                                                                                                             |
| - Bacterias                  | Descomposición y estabilización de la materia orgánica                                                                                                      |
| - Algas                      | Aporte de oxígeno, en exceso producen el fenómeno de eutrofización, aumento del crecimiento de ciertas especies de peces alterando el sistema acuático      |
| -Protozoos                   | Purificación de los ríos al mantener un equilibrio natural entre los distintos grupos de microorganismos ( amebas, los flagelados, ciliados libres y fijos) |
| Plantas y animales           | Permiten valorar el estado de las corrientes y lagos, al determinar la toxicidad que traen las aguas y el desarrollo efectivo de la vida biológica          |

Fuente: Estructurado de Metcalf-Eddy. 1985

### **3. Efectos de la contaminación de las aguas sobre el sistema acuático y el ser humano.**

Los efectos que se generan por la contaminación de las aguas es el resultado de los contaminantes que llevan éstas, su composición y características. Además, dependiendo del uso y calidad que se le quiera dar al agua tanto para mantener el sistema acuático como para posibles reutilizaciones.

Los efectos sobre el hombre pueden ser originados por el consumo directo del agua contaminada, indirectos por la producción de alimentos o la transmisión de enfermedades

El sistema acuático se vería afectado por la presencia de fenoles, aumento de las temperaturas al incidir en su metabolismo, los detergentes, los hidrocarburos, la materia orgánica e inorgánica, compuestos orgánicos de síntesis entre otros..

Respecto a la materia orgánica la Fundación MAPFRE en su manual de contaminación ambiental, explica que los efectos son diferentes según se trate de materia orgánica biodegradable o no biodegradable. La primera provoca una disminución del oxígeno disuelto por consumo de éste en los procesos de degradación, reduciendo la capacidad de autodepuración de un río. Cuando se ha consumido todo el oxígeno disuelto, la degradación se torna anaeróbica, desapareciendo la vida animal y apareciendo compuestos típicos de la putrefacción, generalmente mal olor (sulfhídrico). La materia orgánica no biodegradable puede presentar efectos diferentes como son los acumulados en los tejidos animales y la toxicidad.

Las grasas y los aceites producen un impacto estético, una reducción de la reoxigenación en la interfase aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando a la actividad fotosintética y en consecuencia la producción interna de oxígeno disuelto.

Los efectos ocasionados por la presencia de materia inorgánica son diversos, entre ellos tenemos las sales de los metales pesados con toxicidad, los inductivos producidos por la acidez y la alcalinidad, que además inciden en la modificación de la toxicidad de algunas sustancias y disuelven precipitaciones.

El principal efecto patógeno que podría atribuirse a los nitratos es la metahemoglobinemia originada por la reacción de los nitritos con la hemoglobina de la sangre, con formación de hierro ferroso y generación de metahemoglobina. Esta enfermedad se caracteriza por una dificultad respiratoria que en ocasiones puede llevar a la asfixia, entre los más vulnerables están los niños.

La toxicidad de los metales pesados se basa en su condición biorrefractarios y bioacumulables, afectan los niveles tróficos más bajos y alcanza a los superiores incluyendo al ser humano.

Por otro lado, tenemos que los diferentes organismos patógenos (OMS) afectan al ser humano por medio de:

- Virus . infecciones viricas, inflamaciones cutáneas y oculares
- Bacterias . Infecciones gastrointestinales, endémicas o epidémicas como cólera, fiebres tifoideas, salmonelosis.
- Protozoos y metazoos. Enfermedades parasitarias como la hidatidosis, esquistosomiasis.

## V. PROCESO DE AUTODEPURACION DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS DOMESTICAS

### 1. Proceso de autodepuración de los ríos

El problema de las aguas residuales urbanas domésticas lo constituye el hecho de que el efluente va a desembocar, en este caso al cauce del río o a la quebrada como componentes de la cuenca hidrográfica. Esto provoca una alteración en los equilibrios físico-químicos y biológicos del agua.

Este efluente puede proceder de plantas de depuración o de aguas no tratadas. Si el agua vertida ha sido previamente tratada o depurada, el impacto que producirá será menor respecto a una procedencia bruta. La situación se complica aún más cuando el caudal de los ríos sirve de fuente básica para múltiples usos.

La dinámica de contaminación que se desarrolla en el río a partir de los vertidos explica Hernández (1994), da inicio con una reducción de la capacidad de reaeración de las aguas, acompañado de una degradación estética, debido a las sustancias flotantes sin condición de mezclarse.

Las sustancias sedimentables que se acumulan, dependiendo de las condiciones físicas e hidráulicas del río, adyacente del puesto del vertido, originan acumulaciones considerables en el fondo de materia orgánica, con facilidad de descomposición, generando una demanda de oxígeno del agua y llevando a condiciones anaerobias en el fondo y una degradación general del hábitat en dichas zonas.

Las sustancias de forma coloidal, disueltas o de densidad similar a la del agua tienen gran capacidad de trasladarse a gran distancia aguas abajo del punto del vertido. Entre sus efectos destacan el consumo de oxígeno del agua del río, la toxicidad para las especies que en él habitan, la transmisión de enfermedades y el paso de compuestos y elementos no degradables, bioacumulables.

Asimismo es peligroso los contenidos elevados de metales pesados y organoclorados presentes en dichas aguas, en caso de consumo humano de éstas, aunado a que pueden inhibir el proceso de autodepuración de los cauces receptores.

Si las aguas residuales urbanas están contaminadas, entonces debemos relacionarlo directamente con la calidad del agua, para lo cual, se debe recurrir a las características *físicas, químicas y biológicas* que ésta debe mostrar, y que se explicaron en apartados anteriores.

En este sentido, es necesario definir el concepto de *autodepuración*, el cual es explicado por Metcalf-Eddy como " *un proceso controlado por el oxígeno de tal forma que, la capacidad autodepuradora de un río se mide por el balance de oxígeno disuelto.*" Según Poch (1990) la " *autodepuración es la suma de los procesos que tienden a retornar las aguas contaminadas a su estado natural*"

En este proceso de autodepuración natural intervienen factores físicos, químicos y biológicos como se explico anteriormente. El rol principal lo llevan los microorganismos vivos ( bacterias, algas, protozoos, hongos e insectos) que emplean la materia orgánica en su proceso metabólico, transformándola en materia viva, o logrando flocularla, permitiendo así su sedimentación posterior en el caso de alcanzar densidad suficiente. De este modo garantizan la permanencia de la vida y sustentan los ciclos esenciales del nitrógeno y carbono. Este metabolismo estará limitado por la temperatura y la presión.

Según Poch (1990), la presencia de ecosistemas es fundamental para producirse la autodepuración. El sistema trófico es capaz de transformar los contaminantes biodegradables, siempre que se mantengan las condiciones de concentración de oxígeno y dilución conveniente.

Conocer la autodepuración de los rios es una tarea esencial, ésta a su vez, *depende de los caudales de las corrientes, de la fuente de vertido, de los afluentes, de las depuraciones previas que se realicen a los vertidos y de los distintos usos asignados a los tramos establecidos en el río y de la influencia de los factores geográficos.*

Hernández. (1994), explica que la autodepuración de los rios depende de varios factores como se mencionó anteriormente, sin embargo, la acción se va desarrollando por varias vías:

- Los elementos flotantes o productos tensoactivos que van quedando retenidos por las plantas y el propio terreno de las orillas. Acción de limpieza que se ve favorecida por los remansos.
- Los elementos pesados, dependiendo de su densidad y de la corriente del agua, van quedando depositados en el fondo del cauce, pero a medida que el río discurre sus aguas van quedando libre de sus partículas sedimentables.
- Los componentes ácidos y bases de los vertidos, en la homogeneización producida en el río se neutralizan.
- Los microorganismos existentes en las aguas o incorporados en los vertidos trabajan con la materia orgánica.

Por otro lado el proceso de los microorganismos se puede llevar a cabo en un ambiente aerobio o anaerobio.

**a. Proceso aerobio**

La capacidad aerobia depende directamente del aporte de oxígeno, este es dado, por la fotosíntesis de las plantas, la interfase entre la lámina de agua y la atmósfera. Donde la temperatura constituye un factor determinante.

**b. Proceso anaerobio**

El otro proceso que se puede generar es el anaerobio. Es un proceso biológico en el que se produce metano como resultado de la actividad metabólica de tres grupos de microorganismos, quienes son capaces de recuperar la energía almacenada en el sustrato en forma de biogás ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) con un rendimiento teórico superior al 93%. Por tanto, elimina la sustancia orgánica y degrada los sólidos en suspensión y los que se encuentran en forma coloidal.

Bioquímicamente el proceso se lleva a cabo en tres etapas metabólicas básicas a saber:

- La hidrólisis, donde los microorganismos hidrolíticos catabolizan las moléculas orgánicas complejas ( carbohidratos, proteínas, lípidos ) y la transformación en sus correspondientes subunidades.
- La acetogenesis, participan los microorganismos denominados acidogénicos, éstos catabolizan los diversos ácidos orgánicos, alcoholes y compuestos aromáticos, producidos por la bacterias hidrolíticas y los transforman en ácidos e hidrógeno.
- La metanogénesis, intervienen los microorganismos metanogénicos, éstos producen metano por catabolismo bien del acetato, del dióxido de carbono e hidrógeno

Respecto a la degradación de los sólidos en suspensión y coloides, se considera que los microorganismos anaerobios por medio de la actividad de las bacterias hidrolíticas, tienen un gran potencial para hidrolizar los sólidos orgánicos en suspensión y emulsión mediante su transformación en moléculas solubles, anhídrido carbónico e hidrógeno.

## **2. Parámetros utilizados para medir la contaminación de las aguas residuales urbanas domésticas**

*¿ Por qué son importantes?* Permiten señalar características o propiedades que los contaminantes pueden comunicar al agua y definen alteraciones o condiciones de uso

De allí la necesidad de trabajar con ello, y de esta forma conocer como está compuesta el agua residual urbana doméstica, sus características y las alteraciones que puede sufrir por las concentraciones de contaminantes

De acuerdo a lo anterior, los parámetros que se aplican deben estar en relación directa con las características del agua.

La determinación se puede realizar a partir de:

- Utilizando valores o correlaciones encontradas en fuentes bibliográficas.
- Estimación a partir de medidas experimentales (muestras, estudio de casos).

Los parámetros físicos y químicos analizados se pueden clasificar como objetivos. Entre éstos se tienen el pH, la temperatura, la turbidez, el oxígeno disuelto OD-, la conductividad, la DBO<sub>5</sub>, la DQO, el residuo seco, la corrosividad, los bicarbonatos, el calcio, el magnesio, el potasio, el fósforo, los nitratos, los nitritos y el nitrógeno entre otros. Así como los parámetros denominados subjetivos, a saber el color, el olor y aspecto.

Es usual que se presenten diferencias entre los valores calculados en un río y los estimados por las ecuaciones, siendo lo más recomendable utilizar datos del propio río para su calibración. Para ello es necesario disponer de un número elevado de medidas experimentales y programas de informática.

### 3. Técnicas de análisis

Constituyen la herramienta utilizada para realizar los análisis de los parámetros a estudiar, se basa en la aplicación de diversos procedimientos y uso de instrumentos. Estas se pueden realizar en situ o en laboratorio, dependiendo del tipo de información y características del análisis.

En este sentido, tenemos que el *contenido orgánico* del agua residual es uno de los constituyentes principales a medir, trabajo que se realiza por medio de los siguientes técnicas:

- **Demanda bioquímica del oxígeno ( DBO<sub>5</sub> )** . Es la medida de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, se realiza mediante un ensayo durante un período de incubación de 5 días. Se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requeriría para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, el tamaño de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y para medir la eficiencia de algunos procesos de tratamientos.

Básicamente existen dos métodos para determinar la DBO<sub>5</sub>, el de diluciones e instrumentales

- **Demanda química de oxígeno ( DQO ).** Es la oxidación de la materia orgánica por vía química, utiliza una solución ácida de dicromato potásico para medir su equivalente. Para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuesto orgánicos se necesita un catalizador ( sulfato de plata)

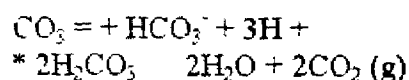
Según Hervás (1991), el procedimiento consiste en incorporar a la muestra un reactivo de dicromato y ácido sulfúrico por medio de jeringas y la mezcla se somete a reflujo a 150 °C para que se produzca la reacción. Las fuertes condiciones oxidantes no solo oxida la muestra, sino que el cromo hexavalente se reduce a cromo trivalente.

Posteriormente, se deja enfriar la solución y se mide por colorimetría la concentración de cromo remanente. El cambio en la concentración de  $Cr^{6+}$  será proporcional a la demanda química de oxígeno.. El tiempo máximo para la oxidación establecido es de 120 min.

La DQO del agua residual, es por lo general mayor que la DBO, al ser mayor el número de compuestos que se pueden oxidar por vía química respecto a la biológica.

- **Carbono orgánico total ( COT)** Su aplicación es especial para pequeñas concentraciones de materia orgánica. El carbono total es el carbono inorgánico total más el carbono orgánico total.

El procedimiento es añadir un sistema de eliminación de carbono al analizado de carbono total. Esto se consigue acidificando la muestra a pH <2 que convierte los carbonatos y bicarbonatos en CO<sub>2</sub>, seguido de una purga de nitrógeno para eliminar el CO<sub>2</sub>



El ácido y la muestra se mezclan mediante el paso de burbujas de nitrógeno a través del líquido. De esta forma se elimina el ácido con la muestra y el CO<sub>2</sub>. La muestra libre de carbono inorgánico pasa a la válvula de muestreo para ser analizada. El valor obtenido representará el carbono orgánico total ( COT ).

- Demanda total de oxígeno. (DTO). Mediante ensayo, las sustancias orgánicas e inorgánicas se transforman en productos finales estables, dentro de una cámara, mediante combustión catalizada con platino. La DTO se determina observando el contenido del oxígeno presente en el gas que transporta el nitrógeno.

El procedimiento a seguir es utilizar una cámara de permeación a temperatura constante 60 °C, donde se mezcla una cantidad constante de oxígeno con el gas portados que circula por tubo de paredes permeables, y un sensor de óxido de zirconio. La muestra entra en el circuito por la válvula de muestreo y luego es inyectada al horno de reacción donde se oxida consumiendo oxígeno. La disminución de la concentración de oxígeno en el gas portador será medida por el detector.

Hervas (1991), explica que el método presenta las siguientes ventajas:

- El parámetro a medir es la concentración de oxígeno, por tanto, no influye la concentración de carbonato que pueda tener la muestra, ni requiere acidificación ni purga.
- Al basarse en la medida del consumo de oxígeno, refleja el estado de oxidación de los compuestos químicos.
- El método es sensible a un número de compuestos que, sin contener carbono, si poseen demanda de oxígeno como son el amoníaco, los nitratos y sulfuros.

Al comparar el uso de estos métodos se establece una relación expresada en el siguiente cuadro No.9.

*Cuadro N° 9*

| Método                               | Tiempo de análisis | Repetitibilidad |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------|
| Demanda bioquímica de oxígeno ( DBO) | 2 - 20 días        | +10%            |
| Demanda química de oxígeno ( DQO )   | 2 horas (std)      | +8%             |
| Demanda total de oxígeno ( DTO )     | 2 - 10 min         | +2%             |
| Carbono total ( CT )                 | 3 - 10 min         | +2%             |
| Carbono orgánico total ( COT )       | 5 - 10 min         | +2%             |

Fuente Hervas. 1991

- **Oxígeno disuelto**

Dentro de todos estos indicadores, el OD constituye uno de los elementos imprescindibles para el sistema acuático y su disminución por debajo de ciertos valores, o su ausencia alteran profundamente al mismo. Esta característica ha hecho que el OD haya sido y siga siendo el indicador de calidad por excelencia y en la mayor parte de los ríos un buen medidor de su estado.

Los métodos utilizados para su medición están el *Winkler* y el *electrométrico*. El método *winkler* ó yodométrico, el ión manganeso reacciona con el OD presente en la solución alcalina para formar un flóculo de hidróxido óxido de manganeso. Se añade azida para eliminar la posible interferencia de los nitratos en los pasos siguientes del análisis.

El método *electrométrico*, se caracteriza por emplear un electrodo de membrana unible al oxígeno.

- **pH.** Este se puede analizar a través del método *colorimétrico* y *electrométrico*

El método *colorimétrico* consiste en añadir un indicador a una muestra, donde la coloración obtenida se compara con una escala de colores preparados a partir de soluciones de pH conocidas. De exactitud muy relativa por razones de subjetividad inherente a los cambios de color y a las variaciones que el color de las soluciones puede sufrir en el tiempo. Se utiliza pocas veces ( MAPFRE. 1994 )

El método *electrométrico* basa su procedimiento en la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas, utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia. El electrodo de hidrógeno consiste en un electrodo de platino por el que se pasan burbujas de hidrógeno gaseoso a una presión de 101 Kpa. En general se utiliza el electrodo de vidrio. ( MAPFRE. 1994 )

- **Color.** Los métodos empleados para determinar su análisis son el *platino- cobalto* y *diluciones*. En el primero, la coloración del agua se pone en tubos edosimétricos y se compara con el agua de una solución de referencia de platino-cobalto. Se aplica principalmente para determinar el color real de un agua. En el segundo, la muestra se diluye con agua destilada en proporciones de 1/20, 1/30, y 1/40, verificando en cual de éstas no aparece color. Se aplica para el color aparente.
- **Turbidez.** Se utiliza el método *nefelométrico*, su procedimiento se basa en comparar la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución de referencia de idénticas condiciones, mediante el empleo de un turbidímetro.
- **Conductividad.** Se utiliza el *conductímetro*, y se puede realizar en situ
- **Sólidos.** ( sedimentables, en suspensión, disueltos y volátiles )

Para los *sólidos sedimentables* se utiliza el método *volumétrico* con base al cono imhoff con 1L de muestra y se observa el material sedimentado a las 2 horas con resultado en ml/L. También se trabaja con el método *gravimétrico* , el cual requiere una previa determinación de los sólidos en suspensión. Posteriormente, se toma un volumen de la zona intermedia de una muestra que haya estado 1 hora en reposo. Sobre este volumen se determinan, *gravimétricamente*, los sólidos no sedimentables.

La diferencia entre los solidos en suspensión y los no sedimentables darán los solidos sedimentables en mg/L.

Los *sólidos en suspensión*, se retienen el un *filtro de fibra de vidrio* y se determinarán gravimétricamente tras secado en estufa a  $103 - 105^{\circ}\text{C}$

Respecto a los *sólidos disueltos* se determinan por la diferencia entre los sólidos totales y los solidos en suspensión. Se evaporan la muestra en una placa de porcelana y se seca a  $103 - 105^{\circ}\text{C}$ . La cantidad de sólidos se determina gravimétricamente. Al ser éstos sometidos a ignición y pesados de nuevo, la porción de peso perdida representa los *sólidos volátiles*

#### 4 Modelos y simulaciones de calidad del agua

La mayoría de los modelos de calidad de agua, se aplican a masas de aguas receptoras de vertidos que inciden en puntos concretos. Ahora bien, las fuentes de vertidos se puede ampliar de ámbito y proceder no solo de fuentes puntuales sino de fuentes difusas de contaminación como la agricultura, ganaderia e industria. Para estos casos se debe recurrir a otros modelos que puedan predecir las aportaciones del vertido al cauce correspondiente.

Los trabajos en este orden se han orientado al desarrollo y aplicación de modelos, especialmente matemáticos que consideran la variación de los parámetros definidos, donde su praxis debe estar acorde a la realidad concreta de estudio.

La aplicación de un modelo implica la selección de métodos adecuados a los requerimientos del problema en estudio, lo que significa su desarrollo estructural, calibración y verificación en el tiempo y espacio correspondiente.

En función de la metodología que se emplee, estos modelos se pueden clasificar en:

**a. Variabilidad en el tiempo**

• *Estáticos o de régimen permanente:*

Permiten cuantificar los efectos que sobre la calidad del agua del río, pueden tener medidas de carácter general como nuevos abastecimientos a poblaciones, nuevos asentamientos industriales ( aplicación económica )

Por tanto, representan un retrato del estado del sistema en un momento dado, suponiendo que los vertidos, el caudal y las condiciones ambientales no varíen en el tiempo.

Según Cubillo ( 1994 ), los modelos de ríos pueden plantearse como estáticos. De hecho, cuando se estudian con metodología convencional los fenómenos de autodepuración en cauces naturales, se parte de una determinada situación más o menos límite ( habitualmente se establece como caudal de diseño el mínimo que no se supera durante 7 días seguidos con un periodo de retorno de 10 años), pero se consideran constantes tanto el vertido como los caudales naturales.

• *Dinámicos o de régimen transitorio:*

Son útiles en el análisis de tramos de un río, se dan situaciones de calidad de agua así como en evaluación de los efectos que las perturbaciones transitorias pueden causar en el sistema. Para la aplicación de este modelo debe considerarse un período de tiempo representativo del régimen fluvial del río

Como ejemplo de ello, se tiene el estudio realizado para la cuenca del Ebro “ Modelos de autodepuración natural de las cuencas españolas “ por M. Encarnación Rodríguez Hurtado. Escuela Tec. Sup Ing. Madrid, donde se aplicó este modelo. Se seleccionaron tramos y se consideraron las siguientes variables:

- Temperatura
- Concentración de oxígeno disuelto
- Concentración de saturación de oxígeno disuelto
- Demanda bioquímica del oxígeno
- Demanda inmediata de oxígeno
- Sólidos sedimentables
- Demanda de oxígeno ejercida por la capa de lodos.

La metodología que emplearon para obtener la información fue con base a instituciones ( Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo), trabajo de campo y estimaciones a partir de datos

Los resultados reflejan que a lo largo del río Ebro, la autodepuración tuvo un comportamiento variable según los tramos de muestreo establecidos. Además, determinaron que el oxígeno disuelto varía en relación al volumen de caudal y profundidad del agua.

#### **b. Dimensionalidad espacial**

- *Uni, bi o tridimensionales o reales.*

En este caso la mayoría de los modelos de calidad de agua representan al río como un sistema unidimensional ( por su característica longitudinal ), reservándose los modelos bidimensionales, estratificados o tridimensionales para los casos de estuarios, lagos o embalses.

El modelo unidimensional consiste en la descripción del río, considerando que éste fluye a lo largo de un eje, constituyendo así un *sistema unidimensional*. Permite obtener la evolución a lo largo del tiempo y del espacio.

#### **c. Determinísticos y estocásticos**

- *Determinísticos*

Consideran los valores medios de los caudales y las concentraciones de los constituyentes. Su uso es mas frecuente por su mayor sencillez de construcción y por su facilidad de interpretación de los resultados.

- *Estocásticos:*

Consideran la aleatoriedad de varios procesos hidrológicos, físicos, biológicos, químicos y estudian sus distribuciones de probabilidad.

**c. Modelos de simulación**

Una de las técnicas que más se utilizan son los modelos de simulación, ya que permiten estudiar la evolución de las características físicas, químicas y biológicas de la cuenca hidrográfica. Si el número de alternativas a estudiar es elevado y costoso se recurre a los modelos de optimización que utilizan menos variables de estudio con las limitaciones correspondiente.

*La relevancia de los modelos de simulación es que permiten estudiar el comportamiento real o ficticio de un sistema sin necesidad de recurrir a medidas sobre el propio sistema. Constituyendo un instrumento disponible para el análisis de la calidad del agua de una forma global en las cuencas hidrográficas*

Cubillo (1994), expresa que al no incluir algoritmos matemáticos de comparación de alternativas, estos modelos describen con mayor precisión los fenómenos naturales o inducidos que se producen en el sistema. A la hora de comparar alternativas, simplemente dan a conocer la posibilidad de implantarlas, su coherencia y la respuesta a esta implantación. Sus ventajas están orientadas a que describen con mayor precisión, y no incluyen juicios de valor que en muchos casos no son evidentes a priori

El autor plantea que presentan el inconveniente de que sus respuestas requieren un análisis objetivo posterior, de modo que en base a ellas sea posible evaluar las diferentes alternativas planteadas, ya sea en el aspecto de inversiones o en el criterio de gestión

Rodriguez ( 1986), expone en su estudio que su aplicación esta orientado a:

- Analisis de un estado actual de una cuenca o tramo de un río
- Analisis de opciones de diseño de redes de observación y control de calidad del agua de una cuenca.

- Apoyo en la toma de decisiones sobre tipo, dimensión y ubicación de instalaciones de depuración y sobre la estrategia de explotación del sistema
- Apoyo en la definición de medidas legales de control de calidad.

Otra de las metodologías dentro de la línea de los modelos de simulación para determinar la calidad del agua descritas por Poch, Sola y Riyola (1985) son las siguientes :

- *Caja negra o modelos entrada/ salida:*

Son aquellos en que la predicción de la salida ( $y(t)$ ) es función de la entrada ( $u(t)$ ) y de las observaciones previas. Este modelo no asume ningún conocimiento apriori de las características del sistema. Su aplicación se sustenta en modelizar las variaciones con el tiempo en un punto fijado, con la base de las medidas en el mismo punto o para conocer los valores en un punto fijado, a partir de las condiciones en la cabecera del tramo. Se obtiene el valor de la calidad del agua en un punto, en función de la calidad en otros puntos, sin necesidad de describir los fenómenos por los que evoluciona la misma.

Estos modelos se pueden clasificar en : Estadísticos, en los que se ajusta una función empírica, usualmente polinómica, que relaciona el valor de la salida con los valores de la entrada, con utilización de unos parámetros calibrados a partir de medidas anteriores.

Es funcional para trabajar con un río en concreto. Se puede hacer análisis de componentes principales, a partir de transformaciones de los datos y correlaciones entre ellos, con el fin de expresar las asociaciones entre diferentes variables

El otro tipo de modelo es el de series temporales, en los que la salida  $y(t)$  está relacionada con las salidas en tiempos anteriores  $y(t-1)$ ,  $y(t-2)$  ....

La limitante es que no considera cuáles son los factores que producen la evolución de la calidad del agua. Solo será aplicable a aquellos lugares en que ha sido ajustado las correspondientes relaciones entrada / salida y que no cambien las interrelaciones que lo producen o sea se mantenga constante.

- *Mecanicista:*

Describe cuáles son las causas por las que se produce la evolución entre dos puntos A \_\_\_\_\_ B, y por tanto, puede integrar todas aquellas variaciones que se producen entre las variables.

Es el más habitual en el estudio de calidad ya que normalmente intentan describir aquellos fenómenos que intervienen en la evolución de un indicador de calidad

Se expresa  $y(x) = F(x(t), u(t))$

Donde,

$x(t)$  = condición del sistema

En este sentido, a la hora de aplicar un modelo debemos considerar su valoración en forma cuantitativa y cualitativa.

La cualitativa consiste fundamentalmente en la representación gráfica de los valores calculados frente a los medidos experimentalmente, como criterio de validez. Proporciona de una manera rápida e intuitiva la información respecto a los resultados del mismo.

Los cuantitativos utilizan algún tipo de parámetros estadísticos, entre los que existen el análisis de regresión, el error relativo, la comparación de medias, y la medida de error cuadrático