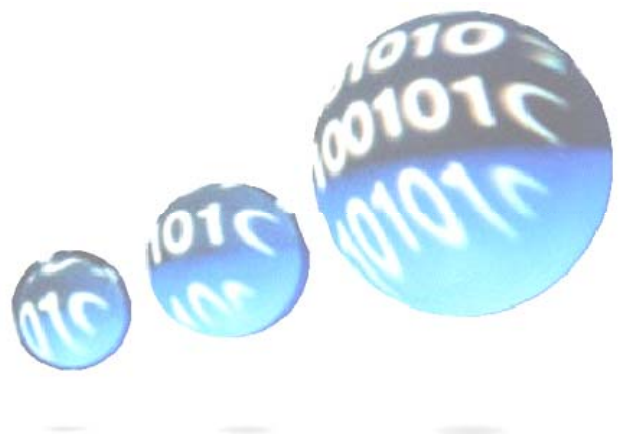


# CAPITULO V

---



## **V. MODELACION MATEMATICA DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

La modelación matemática de procesos de tratamiento de agua residual es una herramienta actualmente útil, dependiendo de la perspectiva con la cual se examina o se estudia algún proceso en específico. Para el desarrollo de la investigación en esta área, la modelación sirve como un marco conceptual para construir y probar hipótesis, por lo tanto convirtiéndose en una herramienta para el conocimiento. Con lo que respecta al diseño de nuevos tratamientos, la modelación permite la exploración de los impactos de una gran variedad de variables del sistema, lo que incrementa la experiencia acerca del proceso propuesto. Además, el uso de la modelación con el marco adecuado permite el desarrollo de diseños óptimos donde los objetivos deseados para los procesos se alcanzan al mínimo costo. Con lo que respecta en la operación de las plantas, la modelación permite el desarrollo de estrategias de control que facilitan la investigación de la respuesta en el comportamiento del sistema ante una variación de las entradas sin poner en riesgo el funcionamiento actual del mismo. En cuanto a la parte de normatividad, es un instrumento que facilita realizar juicios acerca del impacto de nuevos requerimientos en los efluentes en los sistemas de tratamiento y su costo. Y finalmente para la enseñanza de ingeniería, es una herramienta con la cual los estudiantes pueden explorar nuevas ideas, enriqueciendo su formación de aprendizaje.

Estos modelos pueden ser muy altamente mecánicos, los cuales sirven a los investigadores para entender los eventos que ocurren en el sistema, así como al encargado de la enseñanza de ingeniería ofrecer un nivel básico de conocimiento a los estudiantes. Generalmente estos modelos son determinísticos e incorporan relaciones entre las entradas y salidas a través de ecuaciones de cambio que buscan emular los mecanismos de reacción, estos modelos pueden llegar a ser muy complejos. Además de los altamente mecánicos existen los modelos empíricos, son los mayormente usados por los operadores ya que pueden ser estocásticos y pueden describir las respuestas del sistema real. Sin embargo son muy específicos para cada sistema y es difícil transpolar el modelo a nuevas situaciones.

El desarrollo de los modelos matemáticos para la modelación de agua residual surge en 1960 sin embargo cada versión utiliza diferentes mecanismos y notaciones aún para procesos y componentes iguales entre varios modelos, esta situación originó la propuesta de la IAWPRC (International Association on Water Pollution Research and Control), actualmente denominada IWA, Internacional Water Association, para llevar a cabo la unificación de la notación empleada para la descripción de procesos de tratamiento de agua residual. (Grau et al., 1982)

De la misma manera en 1983 la IAWPRC designó a un grupo de trabajo desarrollar dos objetivos: en primer lugar la revisión de la literatura existente acerca de la modelación de sistemas de tratamiento biológico de crecimiento microbiano suspendido capaces realizar la oxidación de carbón, nitrificación y denitrificación; y como segundo la propuesta de un modelo simplificado capaz de predecir de manera veraz el desempeño de los sistemas de tratamiento que llevan a cabo los procesos antes descritos.

El resultado del grupo de trabajo es el modelo matemático denominado actualmente ASM No.1 (Activated Sludge Model No.1). Este modelo es el más sencillo, sin embargo desde su aparición en 1987, ésta ha sido extendido, como ejemplo, se han añadido diferentes fracciones de QDO para componentes que permitan nuevas observaciones experimentales y describan el crecimiento bacterias que incluyen procesos como la eliminación de fósforo.

Debido a los elevados tiempos de residencia de lodos y a las bajas tasas de crecimiento requeridas para que flocule la biomasa, la mayoría de los efluentes de procesos de lodos activados contienen una pequeña fracción de materia orgánica residual biodegradable soluble, sin importar la configuración del sistema. Contradictoriamente, es común encontrar grandes diferencias entre la concentración de sólidos suspendidos del licor mezclado, SSVLM, requerimientos para la recepción de electrones ya sea de oxígeno ó nitrógeno y la concentración de amoniaco residual. Se recomienda para realizar diseños exitosos se requiere que la apropiada concentración de aceptadores de electrones sea suministrada en respuesta tanto al tiempo como a los cambios del agua y que los sedimentadotes secundarios y el retorno de lodos sean capaces de manejar la concentración de SSVLM en ellos. En

base en lo descrito, se afirma que las expresiones de velocidades reacción que describen la remoción de materia orgánica son más importantes en sus predicciones de concentración de SSVLM y en los requerimientos de aceptación de electrones, que es su capacidad de predecir la concentración del sustrato en el efluente.

## **5.1 Principios básicos de modelación**

Como se mencionó anteriormente, el uso de modelos determinísticos ó mecánicos simplificaron el entendimiento de los modelos de procesos biológicos de agua residual, el modelo ASM No. 1 es un modelo de éstos, el cual se basa en ecuaciones de balance de materia. Estas ecuaciones relacionan los cambios de estado en el sistema con los procesos de transporte y transformación, estos cambios son con respecto a unidades de concentración. Los procesos de transporte son característicos para el diseño del sistema, ya que incluye entre otros la configuración del reactor, la distribución del flujo de entrada, el mezclado dentro del reactor, la remoción de biomasa en exceso, etc. Los procesos de transformación dependen de las condiciones características del sistema y se relacionan con el cambio en la estructura química de los componentes.

El modelo debe incluir al menos los siguientes elementos.

- Componentes de interés, son los que intervienen en la caracterización del agua residual, expresados en un arreglo de concentraciones.
- Caracterización de los procesos que afectan a los compuestos. Esta caracterización se denomina modelo bio-cinético y consiste en los valores estequiométricos y en las ecuaciones de reacción de los procesos.
- Descripción del esquema de flujo del sistema, incluyendo clarificador secundario, entradas y salidas así como el equipo de aireación.
- Descripción de mezclado y transporte interno, sedimentación o adelgazamiento.

Las características esenciales del modelo se presentaron en forma matricial, con lo cual se logró una estructura consistente y sencilla, fácil de leer después de su estudio y

con viable adaptación en lenguajes de cómputo o programas de simulación. La matriz contiene en la parte superior los compuestos característicos del agua residual, descritos con la notación establecida (Grau *et al.*, 1982), en el costado derecho contiene los procesos de transformación llevados a cabo, mientras que en el cuerpo de la matriz se encuentran los coeficientes estequiométricos. En la parte derecha se observan las ecuaciones de reacción de cada proceso, mientras que en la parte inferior se encuentra la ecuación de conversión para cada componente. En la siguiente figura se observa la estructura básica en forma matricial de los modelos matemáticos en base al trabajo de la IAWPRC.

**Figura 2. Matriz empleada para la descripción del modelo matemático**

	Componentes $i$ $\longrightarrow$	Ecuación de reacción del proceso [ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> ]
P r o c e s o s  j  ↓		
Ecuación de conversión [ML <sup>-3</sup> T <sup>-1</sup> ]	$r_i = \sum_j v_{ij} \rho_j$	

El modelo ASM No. 1 quedó compuesto por 13 componentes, divididos en dos grupos: materia en partícula y soluble, y por 8 procesos de transformación.

Actualmente existen diferentes modelos matemáticos, la mayoría de ellos basados en la estructura del ASM No. 1, cada uno con distintos propósitos, aunando en el estudio los procesos de tratamiento de agua residual. Los siguientes modelos son ejemplos de modelación basados en el ASM No. 1.

- ASM No. 2, “Activated Sludge Model No.2”, el cual se enfoca en la remoción de fósforo.
- ASM No. 2d
- ASM No. 3, “Activated Sludge Model No.3”, enfocado a la denitrificación biológica.
- ADM No. 1, “Anaerobic digester Model No.1”, modelo que estudia procesos anaerobios biológicos para agua residual o digestión.