

## **Modelado matemático de biorreactores**

A los ingenieros nos gusta modelar. Pero no me refiero a participar en desfiles de modas, sino a emplear modelos de las cosas que existen físicamente, allá afuera del laboratorio, para estudiarlas más a fondo. Así, un ingeniero civil a lo mejor prueba el nuevo diseño de un puente con un modelo a escala, un ingeniero hidráulico construye el modelo de un río para estudiar por qué se inunda un valle, o un ingeniero ambiental trabaja con el modelo de una planta de tratamiento de agua residual para estudiar qué pasa cuando recibe agua muy contaminada.

Con todas las ventajas que presentan estos modelos (físicos) a escala, a veces resultan limitados para realizar una investigación más a fondo de cierto fenómeno, o bien para proponer innovaciones. Es entonces cuando conviene usar modelos matemáticos. Éstos son conjuntos de ecuaciones que, usando los parámetros adecuados, permiten realizar simulaciones de lo que pasa con

cierto fenómeno sin tener que construir un modelo a escala. Otra ventaja del modelo matemático es que puede ser usado para proponer mejoras en la operación o el diseño de un mecanismo, un puente, o cualquier otra obra de ingeniería. Tal es el caso de las plantas de tratamiento de agua residual.

Una de nuestras líneas de investigación es proponer modelos matemáticos de biorreactores. Éstos son tanques donde una comunidad de microorganismos especializados usan como fuente de alimento los contaminantes que vienen en el agua residual. Con una operación adecuada, los microorganismos (esencialmente bacterias, hongos, algas y algunos protozoarios) acaban comiéndose mucho de lo que contamina el agua. Obviamente los contaminantes no desaparecen así nomás, sino que son transformados en algo menos contaminante: más microorganismos, productos gaseosos como hidrógeno o bióxido de carbono y otros minerales, ¡incluso plásticos que son 100 % biodegradables!

Usamos estos modelos matemáticos, no sólo para realizar simulaciones, sino también como base para diseñar e implementar estrategias que mejoren el funcionamiento de la planta, incluso alguna que funcione de manera automática. Sin embargo, necesitamos probar lo que diseñamos, y en el laboratorio no nos salvamos de los modelos a escala: los usamos tanto para obtener los datos experimentales que sirven para proponer los modelos matemáticos como para probar las estrategias de control de los biorreactores, los cuales, a su vez, se diseñan con base en estos modelos matemáticos.

Hacer todo lo anterior no es fácil, pues requiere el trabajo en equipo de profesionistas de diversas áreas. Por ejemplo, los microbiólogos usan sus técnicas para decirnos qué microbios están degradando, qué contaminante, cómo está compuesta su comunidad, y cómo evoluciona la población en el tiempo, etc. Una de estas técnicas es la biología molecular, que, entre otras cosas, nos permite saber con buena precisión las especies de microorganismos que hay en el proceso. Por otro lado, los ingenieros de proceso saben cómo operar los equipos, saben qué mover y dónde hacerlo para que cierta variable de interés cambie hacia donde se desea. Su experiencia sirve mucho para empezar a armar los modelos matemáticos. Los ingenieros mecánicos y en electrónica nos ayudan a hacer y montar los sensores, a programar en la computadora, y en general a establecer



Modelo a escala de un biorreactor



Software de simulación y control basado en modelo matemático

la comunicación constante entre el modelo a escala (el biorreactor) y el usuario. Por último, los ingenieros especialistas en control automático y en dinámica de sistemas, aportan sus conocimientos para el desarrollo del modelo matemático, así como en el análisis y diseño de los algoritmos que permiten automatizar el proceso y hacerlo más eficiente.

Esta investigación es permanente y forma parte de varios proyectos financiados por DGAPA-UNAM (IN104805, IN108107) y CONACYT (J-46097, 46093Y), que incluyen la operación eficiente de biorreactores para tratamiento de aguas residuales tóxicas, el tratamiento de aguas residuales con sulfatos, la producción de plásticos biodegradables y los biorreactores con membranas sumergidas. Se lleva cabo en el *Laboratorio de Investigación en Procesos Avanzados de Tratamiento de Aguas*, ubicada en la nueva Unidad Académica del Instituto en el Campus Juriquilla de la UNAM, cerca de la ciudad de Querétaro. En ella participan los investigadores Alejandro Vargas, Germán Buitrón y Jaime Moreno, además de los técnicos académicos Gloria Moreno y Jaime Pérez, así como varios estudiantes de licenciatura y posgrado.