



## INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL AUTOMÁTICO EN BIOPROCESOS

ALEJANDRO VARGAS CASILLAS, JULIÁN CARRILLO  
REYES, IVÁN MORENO ANDRADE, JAIME PÉREZ  
TREVILLA Y GERMÁN BUITRÓN MÉNDEZ

Un componente importante y distintivo de nuestro grupo es el uso de la instrumentación y el control automático en los procesos biotecnológicos ambientales que estudiamos, desde sistemas de tratamiento de agua residual municipales e industrial, hasta la producción de biocombustibles gaseosos y líquidos a partir de residuos.

El control automático se refiere al uso de varias herramientas de la ingeniería y las matemáticas aplicadas para lograr que un sistema se comporte como lo desea el usuario a pesar de todas las perturbaciones externas e internas a las que está expuesto, logrando esto casi sin intervención humana. Si reflexionamos sobre esta definición, nos daremos cuenta de que el control automático está presente en casi toda la tecnología que nos rodea, desde un automóvil o un avión hasta nuestros teléfonos celulares, y los bioprocesos no son la excepción.

La base del control automático es la retroalimentación. Para explicarla, tomemos como caso de estudio uno de los biorreactores anaerobios que son parte de alguno de los muchos proyectos que se explican en este volumen de la Gaceta. En este biorreactor se produce biogás (metano y  $\text{CO}_2$ ) al mismo tiempo

Figura 1. Sistemas anaerobios experimentales de tamaño relevante, controlados mediante un PLC industrial

que se limpia el agua residual con gran cantidad de materia orgánica contaminante. Quien lleva a cabo estas bio-transformaciones es un consorcio de microorganismos de diversa índole. Sabemos que el proceso se lleva a cabo si damos las condiciones adecuadas de temperatura, pH, mezclado o régimen hidrodinámico, etcétera. Entonces una primera tarea consiste en medir estas variables, para ello, empleamos sensores de temperatura o pH que nos brindan información en línea. Esta información la usa el controlador automático para tomar una decisión y hacer un cambio en alguna otra variable que afecte el comportamiento de la variable que se mide. Por ejemplo, si se detecta que el pH está bajando, la decisión del controlador podría ser activar una bomba que dosifique un poco de alguna sustancia alcalina para subirlo. En este sentido, la información de los sensores retroalimenta al controlador para que éste tome decisiones sobre cómo modificar adecuadamente otras variables del proceso. Cómo se toman estas decisiones es justamente lo que estudian y proponen los ingenieros especialistas en control automático y muchas veces se basan en un modelo matemático del proceso.

El ejemplo del control de pH o de temperatura es un problema ya resuelto para biorreactores, e incluso existen controladores comerciales. Sin embargo, podemos vislumbrar que un biorreactor productor de biogás es mucho más complejo



Figura 2. Sistema de adquisición de datos y control de proceso mediante PLC

que eso. Por un lado, las variables que pueden medirse son escasas; por ejemplo, no existen sensores en línea para medir varios metabolitos importantes y mucho menos para determinar concentraciones de los distintos tipos de microorganismos que intervienen. Por otro lado, es un sistema biológico y, si bien existen modelos matemáticos aproximados, todavía hay mucho desconocimiento de los procesos involucrados, lo cual provoca que existan muchas incertidumbres en sus modelos. Aunado a esto, tampoco se cuenta con diversidad de variables que el controlador pueda manipular a discreción; en el caso del biorreactor productor de biogás, una de las pocas es la velocidad de alimentación o la tasa de dilución. Finalmente, existe gran cantidad de perturbaciones a las que puede estar sujeto el sistema, desde cambios en las concentraciones en los flujos de entrada hasta las condiciones ambientales externas.

En el caso del biorreactor productor de biogás, el objetivo del controlador puede incluso ir más allá de sólo regular algunas variables del proceso. Por ejemplo, se busca garantizar la estabilidad del proceso o maximizar su producción o eficiencia de biodegradación, todo esto a pesar de las limitantes anteriormente expuestas: falta de sensores y/o actuadores, incertidumbres de los modelos y múltiples perturbaciones externas.

Desde hace más de 15 años, en la Unidad Académica Juriquilla hemos desarrollado e implementado exitosamente un gran número de estrategias de control automático en diversos bioprocesos para el tratamiento de residuos y la maximización

de productos de valor agregado (anaerobios, aerobios, físico-químicos, etc.). El primer paso es realizar la instrumentación de los procesos. Esto se refiere a contar con la infraestructura necesaria para obtener información de calidad, en línea, de variables de proceso, lo cual incluye la determinación y uso de sensores adecuados, el procesamiento de las señales generadas por éstos, el almacenamiento y despliegue al usuario de los datos obtenidos, y la interacción con un controlador para la manipulación adecuada de otras variables de proceso a través de los actuadores. En años recientes hemos optado por emplear controladores lógicos programables (PLC) y almacenar los datos en un servidor central, en vez de computadoras personales, para dotar de un ambiente de instrumentación más robusto y más fácil de escalar. Los trabajos de instrumentación en nuestro grupo incluso van más allá del uso de los PLC, con la propuesta de sistemas novedosos para la cuantificación de variables para las que no existen sensores comerciales o bien éstos son limitados para nuestros propósitos. Por ejemplo, hemos desarrollado un sensor para medir la alcalinidad y estamos integrando uno para cuantificar la composición del biogás en línea.

Gracias a una buena instrumentación, la información recabada de los sensores de proceso puede usarse en un controlador, pero también para mejorar la propuesta de modelos matemáticos de los bioprocesos estudiados. De esta manera, una línea de investigación del grupo tiene que ver con este

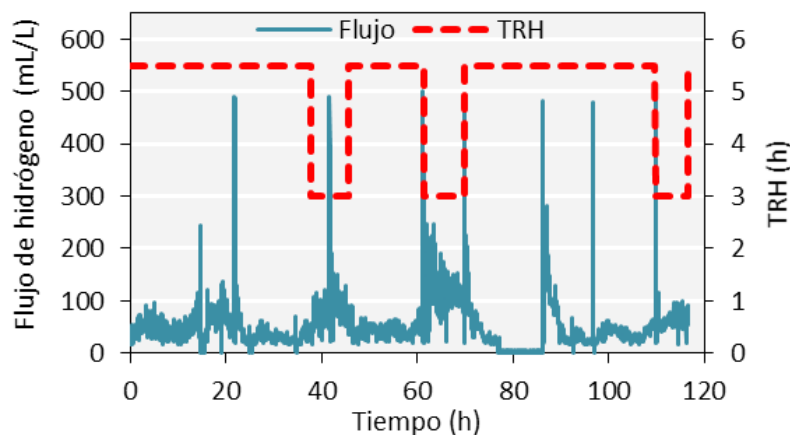
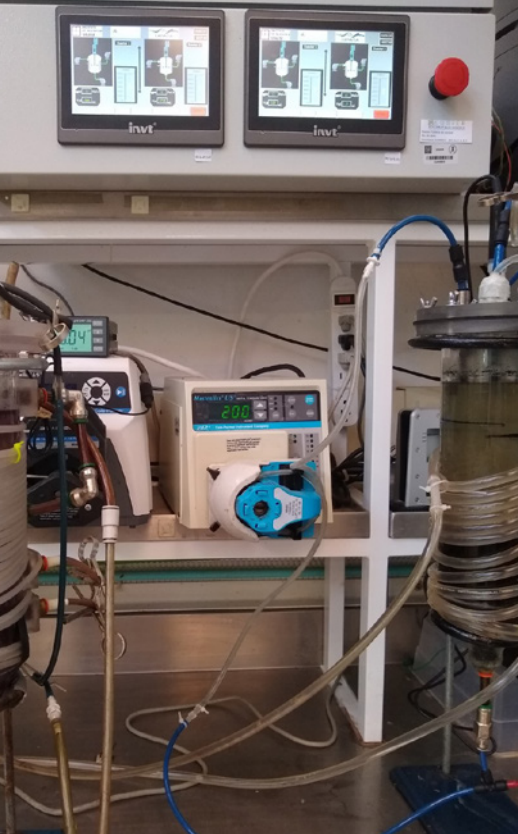


Figura 3. Reactor automatizado para la producción de hidrógeno a partir de efluentes vitivinícolas y gráfica de flujo de producción de hidrógeno ante diferentes choques de carga disminuyendo el tiempo de residencia hidráulico (THH)

objetivo, especialmente para explicar la dinámica de dichos procesos ante cambios en las variables de entrada. Por ejemplo, hemos propuesto modelos para sistemas que emplean consorcios de microalgas y bacterias para el tratamiento de aguas residuales y actualmente lo hacemos para sistemas de digestión anaerobia a partir de varios residuos.

Aplicando las estrategias de modelado, control y automatización, hemos logrado maximizar la producción de hidrógeno y metano mediante variaciones automáticas del flujo de alimentación de un reactor alimentado con glucosa<sup>[1, 2]</sup>. El uso de este sistema no sólo tiene la ventaja de encontrar los máximos de producción en menor tiempo comparado con evaluaciones manuales, sino que puede adaptarse a las distintas concentraciones de carga orgánica que comúnmente se encuentran en efluentes reales. En este sentido, estrategias de optimización y automatización con choques de carga se están evaluando con distintos efluentes agroindustriales para la producción de hidrógeno o metano, como efluentes vitivinícolas, hidrolizados de bagazo de agave y suero de leche proveniente de la fabricación de queso<sup>[3]</sup>. También estamos trabajando para maximizar la producción de hidrógeno y/o metano en sustratos sólidos como residuos sólidos orgánicos de restaurantes. Estas estrategias se han propuesto con base en análisis matemáticos formales de sus modelos, por tanto, han podido ser extendidas a otro tipo de bioprocesos<sup>[4, 5]</sup>. Por ejemplo, otro caso exitoso ha sido en la mejora

de un proceso de producción de polímeros biodegradables a partir de residuos<sup>[6]</sup>.

La instrumentación y el control automático está presente en casi todos los proyectos de investigación que se realizan en la Unidad Académica Juriquilla. Es una línea de investigación horizontal que ha permitido potenciar los resultados de las otras investigaciones, pero que también tiene resultados propios que nos distinguen y nos pone a la altura de pocos a nivel mundial. |

## Referencias

- [1] Torres Zúñiga, I.; Villa-Leyva, A.; Vargas, A. y Buitrón, G. (2018). *Chemical Engineering Science*, 190: 48-59.
- [2] Monroy, I.; Bakonyi, P.; Buitrón, G. (2018). *Clean Techn Environ Policy*. 20 (7), 1581-1588.
- [3] Barrios-Pérez, J.; Sepúlveda-Gálvez, A.; Carrillo-Reyes, J.; Buitrón-Méndez, G.; Vargas-Casillas, A. (2018). *IFAC-PapersOnLine* 13: 639-643.
- [4] Vargas, A.; Moreno, J. A. y Vande Wouwer, A. (2015). *Journal of Process Control*, 35: 41-49.
- [5] Vargas, A. y Moreno, J. A. (2015). *IFAC-PapersOnLine* 28(8): 14-19.
- [6] Muñoz, G. y Vargas, A. (2018). *Waste & Biomass Valorization* (en prensa).