

# Análisis de costos en redes de procesos de producción utilizando RStudio

**Palabras clave:** diagrama de flujo, proceso de producción, análisis de costos

## Abstract

El análisis de costos en un proceso de producción es una actividad fundamental en las carreras de ciencias e ingeniería, ya que permite integrar información relacionada con materias primas, flujos intermedios, energía y equipos. Dicho análisis conlleva cálculos repetitivos y extensos que, si no se organizan adecuadamente, pueden conducir a conclusiones erróneas o decisiones poco acertadas (Turton et al., 2018). Para enfrentar esta complejidad, tanto estudiantes como profesionales suelen apoyarse en *software* especializado. Sin embargo, muchas de estas herramientas son costosas o presentan limitaciones significativas en sus versiones gratuitas (Peters et al., 2003). En este escenario, RStudio surge como una alternativa atractiva: es un entorno de programación gratuito, con una interfaz amigable y el respaldo de una comunidad amplia que aporta constantemente paquetes y documentación (R Core Team, 2023). Aunque R se ha aplicado de forma extensa en estadística, economía y minería de datos (Wickham & Golemund, 2016), no se han encontrado abundantes trabajos orientados al análisis de costos de procesos productivos.

Para mostrar las bondades de RStudio se seleccionó un caso de producción de antioxidantes a escala de laboratorio para evaluar los costos de producir esos antioxidantes a mayor escala (Leyton et al., 2017). El primer paso en este tipo de problemas es describirlo y representarlo en un diagrama de flujo (Figura 1).

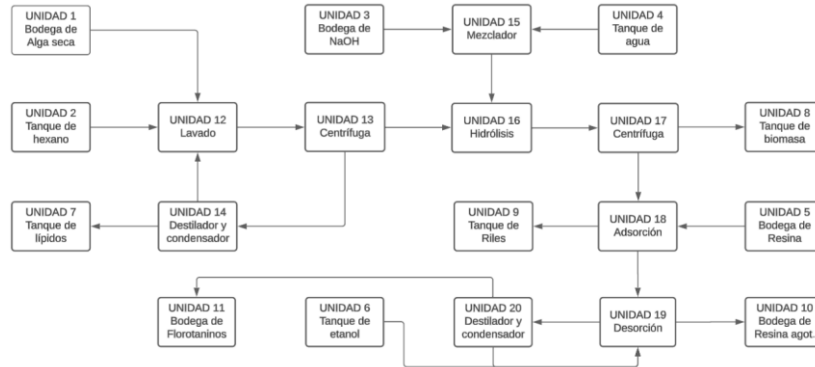


Figura 1. Diagrama de flujo de la producción de antioxidantes (florotaninos) a partir de algas marinas.

Como se observa es un proceso con varias unidades. En este caso el etiquetado se realizó empezando desde las bodegas y tanques de materia prima, luego con las bodegas y tanques de residuos y finalmente con las unidades del proceso de producción. Para este análisis se evaluó la ruta principal que inicia en la unidad 12 y continúa en 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y se obtiene el producto que se deposita en la unidad 6. El análisis en estado estacionario respeta la conservación de masa como entrada = salida:  $\sum m_e = \sum m_s$ , es decir, la suma de los flujos másicos (masa/tiempo) que entran a una unidad debe ser igual a la suma de los flujos másicos que salen. Además, los flujos másicos tienen un sentido determinado por la naturaleza del proceso que pueden representarse como  $m_{i,j}$  (Figura 2), es decir, el flujo másico que proviene de la unidad  $i$  va hacia la unidad  $j$ .



Figura 2. Etiquetado del flujo másico en función de su origen y destino.

Con este planteamiento se toma una base de cálculo, por ejemplo 100 kg/h de alga seca, a partir de la cual se calculan todos los flujos másicos de la Figura 1. Las proporciones, separaciones, rendimientos, etc. vienen determinados por los datos de laboratorio. En RStudio empezamos creando la matriz de flujos de 20 por 20 para el caso analizado. Luego, se calculan los flujos de todas las unidades, por ejemplo, en la unidad 15 (mezclador), entra flujo másico desde las unidades 3 y 4, y sale flujo másico hacia la unidad 16, es decir:

$$m_{15,16} = m_{3,15} + m_{4,15}$$

Así sucesivamente en cada unidad hasta calcular todos los flujos másicos. Con estos flujos se calcula el tamaño de las unidades (tanques, centrífugas, evaporadores, etc.), así como la demanda energética de cada unidad. Posteriormente se calculan los costos asociados a cada unidad en un vector ( $C_u$ ): se crea un vector de costos de operación ( $C_{op,u}$ , correspondiente al costo/h de energía consumida, costo/h de operadores calificados, etc.), un vector de costos de inversión ( $C_{I,u}$ , correspondiente al costo/h de adquisición del equipo y su mantenimiento) y un vector de costos de materia prima  $C_{mp,u}$ . El cálculo para cada unidad es:

$$C_u = C_{mp,u} + C_{op,u} + C_{I,u}$$

A partir de esos resultados se pueden analizar fácilmente el proceso en términos económicos. Una manera es con un gráfico de cascada. Para esto se crea un vector de costo acumulado en cada unidad ( $CA_u$ ) como la suma del costo de la unidad anterior ( $C_{u-1}$ ) con el costo de la unidad evaluada ( $C_u$ ):

$$CA_u = C_{u-1} + C_u$$

Una vez obtenido el vector  $CA_u$ , se puede utilizar la función *plot* de RStudio para obtener el gráfico. Se observa que la unidad 16 (hidrólisis) es la que más encarece el proceso por lo que será necesario analizar en detalle los costos asociados. Si se desea representar más detalles de los costos asociados a cada unidad se puede crear un gráfico de barras utilizando simplemente los vectores  $C_{I,u}$  y  $C_{op,u}$  (Figura 4).

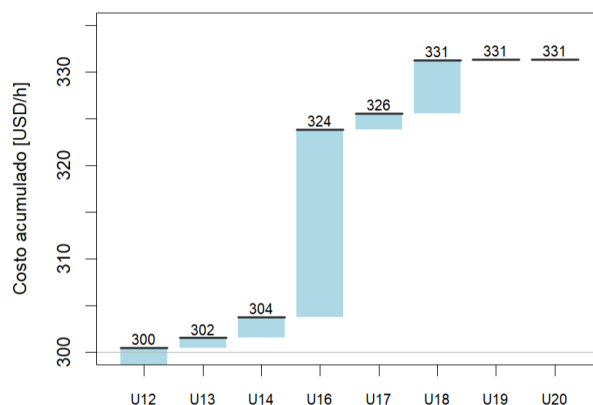


Figura 3. Gráfico de cascada del proceso productivo.

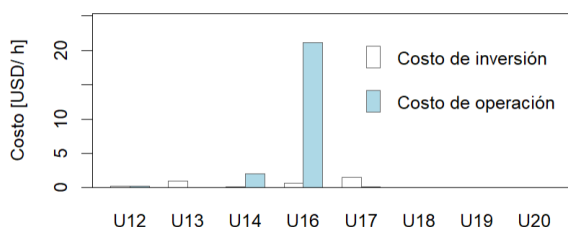


Figura 4. Gráfico de barras de costos de operación e inversión.

Como se aprecia en la Figura 4, el alto costo en la unidad 14 se debe a la operación. Ya que esta etapa requiere calentarse, se podría analizar posibilidades de abaratar dicha operación recuperando calor o analizando en laboratorio si es posible disminuir el volumen sin afectar el rendimiento.

## Referencias

- Leyton A., Vergara-Salinas J.R., Pérez-Correa J.R., Lienqueo M.E. (2017) Purification of phlorotannins from *Macrocystis pyrifera* using macroporous resins. *Food Chemistry* 237 (2017) 312–319.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (5th ed.). McGraw-Hill.
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., Shaeiwitz, J. A., & Bhattacharyya, D. (2018). *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes* (5th ed.). Pearson.
- Wickham, H., & Golemund, G. (2016). *R for Data Science*. O'Reilly Media.