

# La ingeniería de sistemas de proceso y la industria colombiana

---

**Juan David Reyes Fernández**

*Ingeniero químico, Universidad Nacional de Colombia*

*Bogotá, Colombia*

*Gerente y cofundador de la compañía Smart & Simple Engineering*

*jdreyesf@ssengineering.com.co*

Las compañías tienen que diseñar y operar sus procesos en forma efectiva y eficiente para poder tener éxito y viabilidad en las condiciones de alta competitividad que se presentan en el mercado actual. La ingeniería de sistemas de procesos es un área que le brinda métodos a las organizaciones para modelar, predecir, analizar y optimizar sus procesos productivos; es una herramienta para la mejora en la toma de decisiones para la creación y operación de la cadena de suministro, incorporando los fenómenos asociados a las transformaciones fisicoquímicas de la materia y energía con la logística y la planeación de la producción (Grossmann & Westerberg, 2000).

El año 2016 estuvo lleno de incertidumbres a nivel económico, asociado a la desaceleración y a la volatilidad de los mercados de productos energéticos. Para la economía colombiana, este panorama macroeconómico implicó grandes retos para la débil estructura de comercio externo y la baja competitividad de la industria nacional (ANDI, 2017). Relacionada con esta realidad, la reducción del recaudo fiscal por la disminución del precio internacional del petróleo implicó el cambio a una política de austeridad y una reforma tributaria que, lejos de ser estructural, fue aplicada en el siguiente año fiscal como intentos de asegurar la viabilidad del Estado (Congreso de la República de Colombia, 2016).

Adicionalmente, en ese mismo año se llegó a un acuerdo de paz con las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), para el cual se aseguraron recursos fiscales para 2018, como también la ayuda económica de países de la Unión Europea, Estados Unidos, entre otros (Oficina del Alto Comisionado Para La Paz, Embajada de Noruega, & Social Development Group, 2016). Tales recursos serán manejados por el Fondo Colombia en Paz y los diferentes ministerios adscritos al Gobierno nacional. Esta carga tributaria será asumida por recortes a otros sectores con menor prioridad,

por las empresas y los contribuyentes en diferentes grados, tal como se establece en la reforma tributaria del 2017 (Congreso de la República de Colombia, 2016).

El funcionamiento de la política interna aparentemente va en contravía del desarrollo económico de Colombia, tal como lo revelan los escándalos de corrupción y detrimento patrimonial en proyectos de infraestructura claves en el país, tales como los altos sobrecostos de la modernización de la refinería de Cartagena (Reuters, 2016), los sobornos para la adjudicación de proyectos de infraestructura de transporte en la Ruta del Sol y la autopista Ocaña-Gamarra (Reuters, 2017).

Estos eventos desafortunados que se están investigando actualmente implican un obstáculo al desarrollo industrial y económico debido a los recursos adicionales que se pierden, los cuales podrían cubrir obligaciones fundamentales del Estado en pro del bienestar de sus ciudadanos o bien invertirse en el desarrollo de proyectos para mejorar la competitividad de las empresas tanto públicas como privadas.

Aunque Colombia mantiene su grado de inversión Standard & Poor's en BBB, es importante mencionar que la revisión del panorama económico (*outlook*) pasó de estable a negativo. También es necesario tener en cuenta las condiciones de países claves de la región, tales como Chile (A+) y Perú (BBB+), ambos con un *outlook* estable (Standard & Poor's, 2017).

Así, considerando el entorno macroeconómico de Colombia, su política interior, los desafíos para la inversión extranjera en comparación a otras economías más competitivas de la región, las bajas garantías de libre competencia y legitimidad estatal en proyectos de infraestructura, surgen interrogantes relevantes: ¿cuál sería una forma en que la industria colombiana pueda mejorar y tener crecimiento en el presente y viabilidad en el futuro?, ¿qué papel tiene la ingeniería de sistemas de proceso en tal estrategia?

La industria colombiana ha tenido un comportamiento heterogéneo en términos de crecimiento y desaceleración. Entre los sectores que han experimentado la primera tendencia para 2016 se destacan la refinación de petróleo y derivados, con crecimientos en producción y ventas totales de 19,1 y 23,3 %, respectivamente (Davivienda, 2016). Otras actividades que revelaron un comportamiento positivo fueron las sustancias y productos químicos, bebidas, cosméticos y alimentos. Por otro lado, las industrias que presentaron una reducción en producción y en ventas fueron los accesorios para vehículos automotores, forjados en acero, textiles y productos minerales no metálicos.

La globalización y los acuerdos de libre comercio para industrias poco competitivas llevan indudablemente a la reducción del margen de utilidad. Un ambiente poco positivo para la inversión puede generar presiones por parte de los inversionistas para demandar más rentabilidad y un mejor desempeño en el tiempo (Shleifer & Wolfenzon, 2002). La dinámica de consumo basada en tecnologías de la información apremia a las compañías y acelera los procesos de toma de decisión, requiriendo así una alta flexibilidad en los procesos productivos para cumplir con las especificaciones de los clientes en un tiempo menor.

Teniendo en cuenta los rendimientos de los diferentes sectores industriales y la probabilidad de la disminución de la inversión extranjera, una posible estrategia para los sectores que están en crecimiento y que puedan llegar a ser competitivos en el mercado nacional e internacional corresponde a mejorar los procesos productivos y llegar a óptimos de rentabilidad teniendo en cuenta las restricciones ambientales y sociales (OECD, 2015). En este punto, la ingeniería de sistemas de proceso entra como una herramienta capaz de abordar esta estrategia, ofreciendo métodos que permiten la operación, el diseño de nuevas instalaciones y la optimización de toda la cadena de suministro que genere el mayor beneficio económico posible.

La ingeniería de sistemas de proceso se puede dividir en diferentes áreas, tal como se presenta en la fig. 1. El diseño de productos y procesos busca expandir la metodología tradicional al incluir tanto el diseño del producto a nivel molecular y el proceso; de esta forma, se puede integrar parámetros de calidad con condiciones de operación y decisiones de diseño (Lin, Wang, Chen, & Chang, 2008). En esta metodología, el factor clave es la predicción precisa de las propiedades de los componentes y las mezclas presentes tanto en las materias primas, productos intermedios y secundarios, como también en el producto final. Es particularmente importante, considerando la complejidad de los productos de alto valor agregado, tales como materiales compuestos e interrelación entre fluidos y materiales estructurados, las formulaciones cosméticas y sus interrelaciones fisiológicas.

Una posibilidad de desarrollo para la industria colombiana sería el aprovechamiento del potencial de su biodiversidad para la generación de nuevos productos farmacéuticos, cosméticos, alimenticios y nutracéuticos (Niño, Mosquera, & Correa, 2012). Existen diferentes modelos matemáticos que pueden llegar a usarse para predecir tanto las propiedades organolépticas de los productos finales e intermedios del proceso (Bryson, 2014; ElMasry, Sun, & Allen, 2012; Smyth &

Cozzolino, 2013), como también para estimar las propiedades de transporte y termodinámicas de mezclas complejas, tales como las formulaciones farmacéuticas y cosméticas (Godin & Touitou, 2007; Grégoire, Ribaud, Benech, Meunier, Garrigues-Mazert, & Guy, 2009; Hancock, York, & Rowe, 1997; Karadzovska, Brooks, Monteiro-Riviere, & Riviere, 2013; Moss, Dearden, Patel, & Cronin, 2002; Sinkó et al., 2012). Estas metodologías y algoritmos pueden usarse tanto para el diseño de productos como también del proceso mismo para que pueda cambiar en función de los requerimientos del mercado en forma rápida y se maximice la productividad y la competitividad.

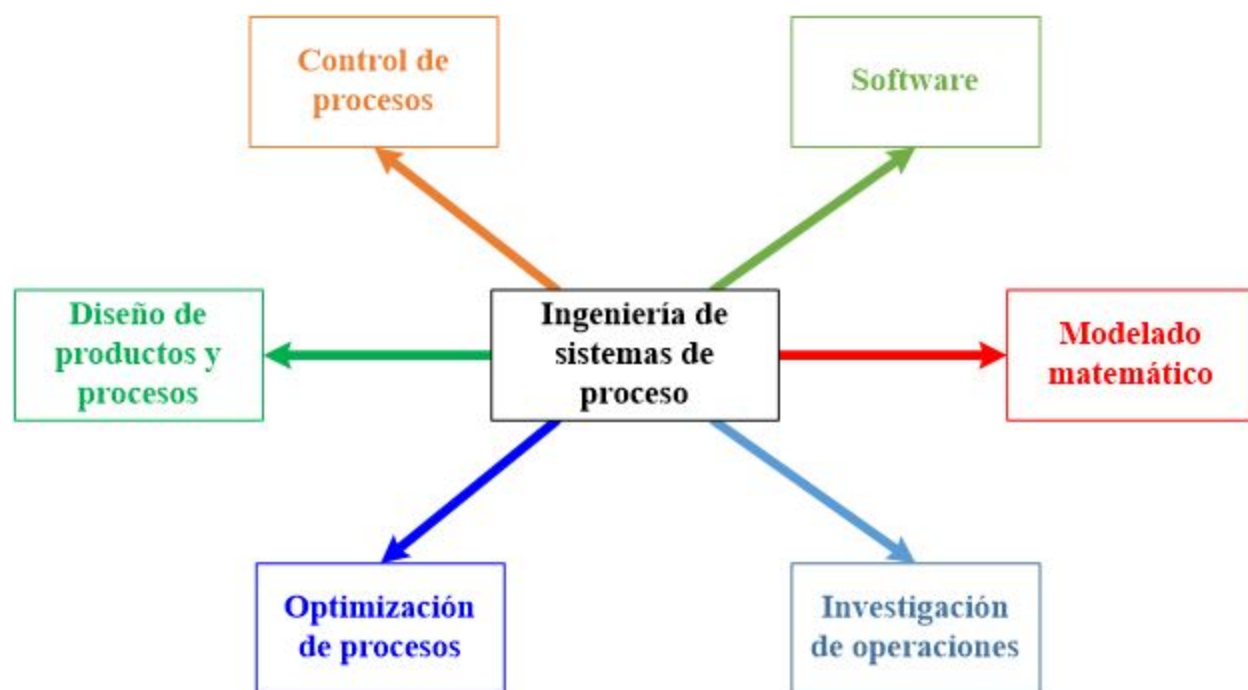


Fig. 1. Áreas principales de trabajo en ingeniería de sistemas de proceso.

El control de procesos ha tenido un gran desarrollo en los últimos años. En el área de producción en masa, el desarrollo principal se ha dado por la necesidad del desarrollo de sistemas de control total de planta (Downs & Skogestad, 2011) y la aplicación del control predictivo basado en modelos para integrar las capas de planeación y gerencia de cadena de suministro (Pistikopoulos & Diangelakis, 2016). La jerarquía de decisión de una planta de proceso de gran escala busca tener la integración de cada una de las capas presentes en la fig. 2. En esta representación gráfica de las

diferentes capas interactuantes dentro de la operación de una planta moderna de proceso se observa una línea punteada que representa la separación virtual de las capas más externas con las internas; tal división se hace para diferenciar que los procesos externos se realizan en forma discreta o fuera de línea (*off-line*), en tanto las capas internas se ejecutan en línea (*on-line*).

Las plantas de proceso de un alto perfil tecnológico buscan tener la estructura de producción esquematizada en la fig. 2. Las limitaciones que existen corresponden a los modelos matemáticos de cada una de las capas internas; en particular, el desarrollo de optimización en tiempo real (*real time optimization*, RTO) ha tenido una gran dificultad de implementación a nivel industrial, aunque tiene un gran potencial en las plantas de producción masiva, tal como la refinación de petróleo y derivados (Zanin, Tvrzská de Gouvêa, & Odloak, 2002).

También se tiene la dificultad matemática y estructural de la integración de las capas de decisiones gerenciales y planeación de producción y las capas de control, ya que, de estar integradas, la planta reaccionaría a los cambios de los requerimientos del mercado o cualquier alteración en la cadena de suministro en tiempo real, minimizando así las pérdidas de material y siempre estando sobre el punto óptimo de operación en cada instante de tiempo (Pistikopoulos & Diangelakis, 2016).

La industria colombiana no tiene un grado de automatización e instrumentación tal que tenga un nivel de estructura que pueda llegar a usar las metodologías anteriormente descritas. Sin embargo, sí podrían emplearse las metodologías para integrar de modo parcial las capas externas y lo que pueda llegar a existir de control y automatización. Esto requeriría una inversión en sistemas de captura de datos, pero puede recuperarse si se plantea los modelos dinámicos de cada una de las capas y se realizan análisis de escenarios a nivel computacional, para luego sí invertir con menos incertidumbre.

En conclusión, la ingeniería de sistemas de proceso tiene herramientas y métodos que pueden llegar a implementarse en muchos campos de la industria colombiana con un nivel de inversión media que, como se ha visto históricamente, se recupera al mejorar la productividad, la calidad de los productos, la minimización del uso de recursos energéticos, la disminución de las pérdidas de materias primas y la competitividad en un mercado cada vez más global.

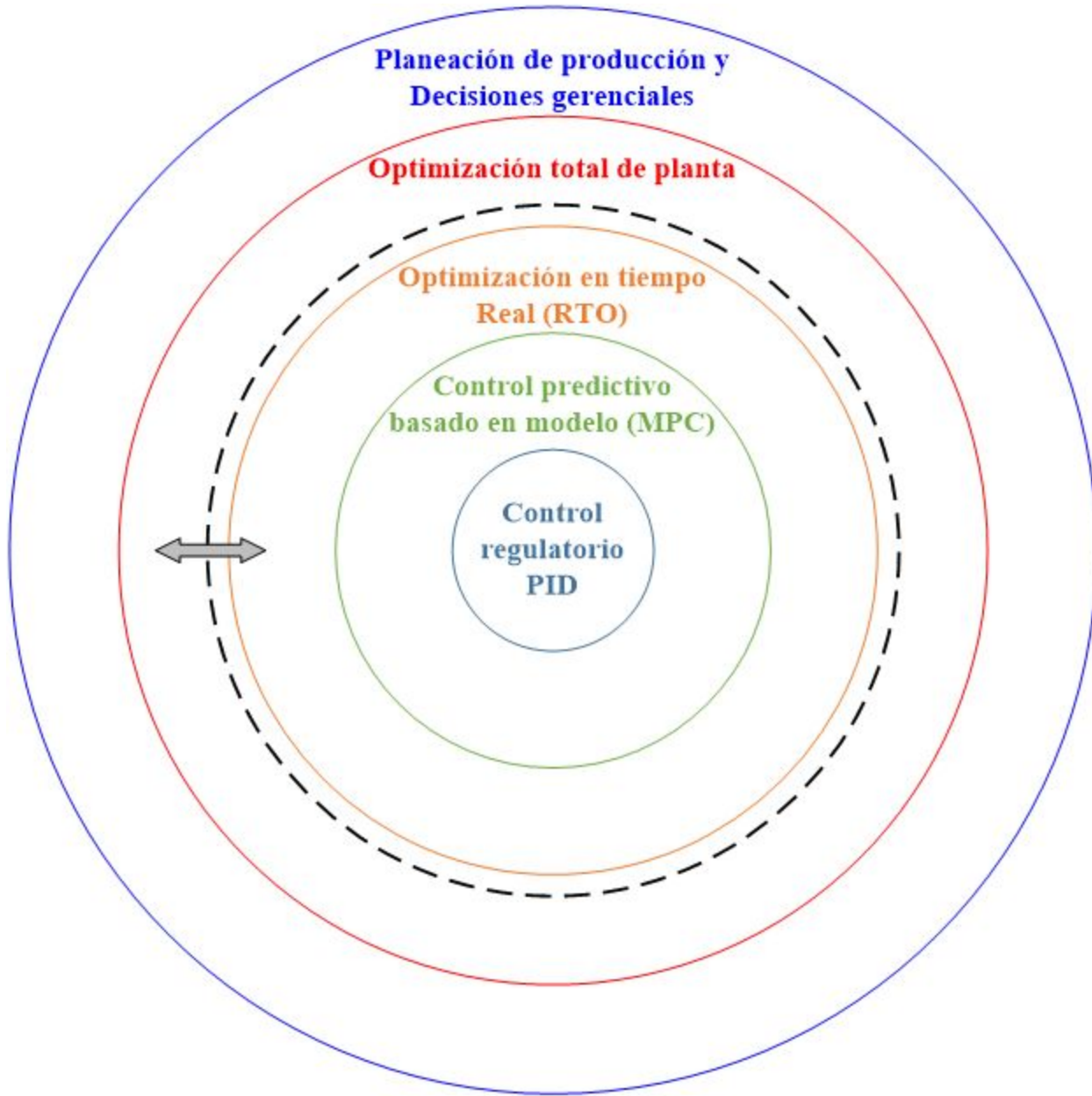


Figura 2. Diagrama de jerarquía de decisiones en plantas de proceso basadas en ingeniería de sistemas de proceso. Adaptado de Biegler & Zavala (2009).



## Referencias

- ANDI (2017). *Colombia: balance 2016 y perspectivas 2017*. Bogotá, Colombia: autor.
- Biegler, L.T. & Zavala, V.M. (2009). Large-scale Nonlinear Programming Using IPOPT: An Integrating Framework for Enterprise-wide Dynamic Optimization. *Computers & Chemical Engineering*, 33(3), 575-582. doi: 10.1016/j.compchemeng.2008.08.006.
- Bryson, S.P. (2014). Patient-centred, Administration Friendly Medicines for Children – An Evaluation of Children’s Preferences and How They Impact Medication Adherence. *International Journal of Pharmaceutics*, 469(2), 257-259. doi: 10.1016/j.ijpharm.2014.04.069.
- Colombia’s Ecopetrol seeks \$2 bln from CB&I on refinery costs. (2016, 29 de marzo). *Reuters*. Consultado en <http://www.reuters.com/article/ecopetrol-colombia-refinery-idUSL2N1710DL>
- Colombia’s Santos apologizes for illegal funds paid into campaign. (2017, 14 de marzo). *Reuters*. Consultado en <http://www.reuters.com/article/us-colombia-odebrecht-santos-idUSKBN16L2BP>
- Congreso de la República de Colombia (2016, 27 de diciembre). Informe de conciliación al proyecto de ley 178/2016 (Cámara) y 163/2016 (Senado). Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria estructural, se fortalecen los mecanismos para la lucha contra la evasión y la elusión fiscal, y se dictan otras disposiciones.
- Davivienda (2016). *Colombia. Perspectivas macroeconómicas 2016-2017*. Bogotá, Colombia: autor.
- Downs, J.J. & Skogestad, S. (2011). An Industrial and Academic Perspective on Plantwide Control. *Annual Reviews in Control*, 35(1), 99-110. doi: 10.1016/j.arcontrol.2011.03.006.
- ElMasry, G., Sun, D.-W., & Allen, P. (2012). Near-infrared Hyperspectral Imaging for Predicting Colour, pH and Tenderness of Fresh Beef. *Journal of Food Engineering*, 110(1), 127-140. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.11.028.
- Godin, B. & Touitou, E. (2007). Transdermal skin delivery: Predictions for Humans from *in vivo*, *ex vivo* and Animal Models. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59(11), 1152-1161. doi: 10.1016/j.addr.2007.07.004.

- Grégoire, S., Ribaud, C., Benech, F., Meunier, J.R., Garrigues-Mazert, A., & Guy, R.H. (2009). Prediction of Chemical Absorption into and through the Skin from Cosmetic and Dermatological Formulations. *British Journal of Dermatology*, 160(1), 80-91. doi: 10.1111/j.1365-2133.2008.08866.x.
- Grossmann, I.E. & Westerberg, A.W. (2000). Research Challenges in Process Systems Engineering. *AIChE Journal*, 46(9), 1700-1703. doi: 10.1002/aic.690460902.
- Hancock, B.C., York, P., & Rowe, R.C. (1997). The Use of Solubility Parameters in Pharmaceutical Dosage form Design. *International Journal of Pharmaceutics*, 148(1), 1–21. doi: 10.1016/S0378-5173(96)04828-4.
- Karadzovska, D., Brooks, J.D., Monteiro-Riviere, N.A., & Riviere, J.E. (2013). Predicting Skin Permeability from Complex Vehicles. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 65(2), 265-277. doi: 10.1016/j.addr.2012.01.019.
- Lin, M.-C., Wang, C.-C., Chen, M.-S., & Chang, C.A. (2008). Using AHP and TOPSIS Approaches in Customer-driven Product Design Process. *Computers in Industry*, 59(1), 17-31. doi: 10.1016/j.compind.2007.05.013.
- Moss, G.P., Dearden, J.C., Patel, H., & Cronin, M.T.D. (2002). Quantitative Structure–permeability Relationships (QSPRs) for Percutaneous Absorption. *Toxicology in Vitro*, 16(3), 299-317. doi: 10.1016/S0887-2333(02)00003-6.
- Niño, J., Mosquera, O.M., & Correa, Y.M. (2012). Antibacterial and Antifungal Activities of Crude Plant Extracts from Colombian Biodiversity. *Revista de Biología Tropical*, 60(4), 1535-1542.
- OECD. (2015, enero). *Colombia. Policy Priorities for Inclusive Development*. París, Francia: autor.
- Oficina del Alto Comisionado Para La Paz, Embajada de Noruega, & Social Development Group. Final Agreement To End the Armed Conflict and Build a Stable and Lasting Peace. 24 de noviembre de 2016.
- Pistikopoulos, E.N. & Diangelakis, N.A. (2016). Towards the Integration of Process Design, Control and Scheduling: Are We Getting Closer? *Computers & Chemical Engineering*, 91,



85-92. doi: 10.1016/j.compchemeng.2015.11.002.

Shleifer, A. & Wolfenzon, D. (2002). Investor Protection and Equity Markets. *Journal of Financial Economics*, 66(1), 3-27. doi: 10.3386/w7974.

Sinkó, B., Garrigues, T.M., Balogh, G.T., Nagy, Z.K., Tsinman, O., Avdeef, A., & Takács-Novák, K. (2012). Skin-PAMPA: A New Method for Fast Prediction of Skin Penetration. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45(5), 698-707. doi: 10.1016/j.ejps.2012.01.011.

Smyth, H. & Cozzolino, D. (2013). Instrumental Methods (Spectroscopy, Electronic Nose, and Tongue) As Tools To Predict Taste and Aroma in Beverages: Advantages and Limitations. *Chemical Reviews*, 113(3), 1429-1440. doi: 10.1021/cr300076c.

Standard & Poor's (2017). S&P: Sovereign Ratings List. *CountryEconomy.com*. Consultado de <https://countryeconomy.com/ratings/standardandpoors>

Zanin, A.C., Tvrzská de Gouvêa, M., & Odloak, D. (2002). Integrating Real-time Optimization into the Model Predictive Controller of the FCC System. *Control Engineering Practice*, 10(8), 819-831. doi: 10.1016/S0967-0661(02)00033-3.