**WP 3 - Integration of production, financial and environmental aspects, risk and uncertainty**

**D3.1 - Entorno de modelado y optimización, y técnicas de solución para la consideración de aspectos de producción, financieros, de riesgo e incertidumbre en empresas flexibles y redes complejas de producción**

Introducción: aspectos de producción, financieros, riesgo e incertidumbre

En el entorno actual de globalización de los mercados y una competencia feroz, las industrias de proceso deben esforzarse para seguir siendo competitivas. En este sentido, las empresas buscan la integración de decisiones dentro de su estructura organizativa a distintos niveles temporal y espacial con el fin de mejorar sus resultados globales. En la práctica, se han publicado en la literatura varios casos industriales que confirman los beneficios económicos derivados de la integración de decisiones y en la consideración de aspectos de producción, aspectos financieros, de riesgo e incertidumbre en el diseño y operación de empresas flexibles y redes complejas de producción. Por este motivo, se invierten muchos esfuerzos de investigación para la obtención y mejora de modelos, de herramientas de integración y de flujo de información, así como para el desarrollo de algoritmos de optimización que proporcionen las herramientas de soporte a las decisiones dentro de un marco coherente para el diseño y operación de las empresas.

Desde una perspectiva a nivel de planta, los aspectos de producción y programación de operaciones a corto plazo persiguen la gestión óptima de las órdenes de producción mediante la asignación de los recursos disponibles con el fin de cumplir con las demandas de los clientes. Este nivel de decisión está además relacionado con otros niveles como la planificación y control. La necesidad de integración de estos niveles de decisión se ha citado ya desde los años 60, pero las contribuciones en esta área de investigación son todavía escasas. Por eso, es necesario invertir más esfuerzos para la integración de decisiones a nivel operativo, el cual incluye las funciones de programación de operaciones y control.

El estudio del problema de diseño de la cadena de suministro bajo condiciones de incertidumbre es relativamente reciente. Además, el concepto de gestión de riesgo e incertidumbre ha sido mayoritariamente utilizado en aspectos estratégicos y tácticos de los niveles de decisión, principalmente en el área de gestión del portfolio. El riesgo financiero asociado a un proyecto de diseño en condiciones de incertidumbre se define como la probabilidad de no alcanzar un determinado nivel de beneficios (maximización) o costes (minimización) de nivel conocido/esperado.

Por otra parte, la aplicación de gestión de riesgo no se ha extendido a la programación a corto plazo. Se podría pensar que la consideración de la incertidumbre de ciertos parámetros como la demanda en la programación de operaciones a corto plazo es de alguna manera una contradicción, ya que suele estar relacionada con decisiones de largo plazo. Sin embargo, sus efectos se propagan fácilmente a decisiones de corto plazo ya que implica cambios en las cantidades de producción. Por este motivo, la incorporación de la incertidumbre en el nivel operativo para gestionar el riesgo de la empresa es un área de especial interés.

De la misma manera, cabe destacar la necesidad de extender los límites de consideración de la incertidumbre a otras áreas de la gestión como el impacto medioambiental de la empresa.

Una de las funciones de la gestión de la cadena de suministro de empresas flexibles consiste en maximizar los retornos financieros sincronizando los flujos de materiales, información y efectivo existentes entre las distintas entidades que se encuentran interconectadas con el objetivo de proveer un bien o servicio al mercado. Recientemente, también se ha reconocido la necesidad de una gestión integrada de la cadena de suministros, la cual consiste en la sincronización de otras funciones del negocio y de diferentes niveles jerárquicos de decisión. El actual entorno dinámico de los negocios y de las propias operaciones de la cadena de suministro hace difícil la coordinación de las actividades de los componentes que la componen. Por tanto, es importante que los objetivos y planes sean desarrollados considerando explícitamente la incertidumbre del mercado y de las propias tareas de fabricación y que sean revisados periódicamente.

Entorno de modelado y optimización, y técnicas de solución

*Objetivos y alcance*

Desde el punto de vista de inclusión de aspectos de producción en empresas flexibles, el principal objetivo de este trabajo consiste en contribuir a la integración del problema de programación de operaciones a corto plazo de las industrias batch de proceso desde un punto de vista estructural y funcional. La perspectiva estructural se refiere a la integración con otros niveles de decisión de la estructura organizativa de la empresa, que se limita en este trabajo al nivel de control básicos, pero en cualquier caso, no limita la capacidad de las estrategias propuestas para incluir otros niveles de decisión. En cuanto a las cuestiones funcionales, la adopción de funciones objetivo que incluyan todos los aspectos del problema de programación de operaciones puede llevar a decisiones integradas desde un punto de vista global. En este sentido, la inclusión de los costes de las variables de proceso en la función objetivo del problema de programación de operaciones puede facilitar la integración de los niveles. Además, la inclusión de objetivos no económicos en la toma de decisiones puede generar soluciones más comprometidas desde otras perspectivas del problema, como por ejemplo la medioambiental.

En este sentido, se ha desarrollado como continuación de trabajo previo relacionado con la  descripción y la extensión de las varias formulaciones del problema de programación de operaciones, a fin de considerar características no triviales del problema, tales como las operaciones de limpieza, las operaciones de transferencia de equipo, velocidades de proceso variables, la sincronización de operaciones y la introducción de la dinámica del proceso.

La inclusión de la dinámica del proceso dentro del nivel de programación de operaciones, que se puede lograr ya sea (i) indirectamente: considerando funciones de coste en función del tiempo, o (ii) directamente: mediante la discretización de las ecuaciones dinámicas del modelo de proceso y su incorporación a la formulación del problema de programación de operaciones. En este sentido, se analiza la idoneidad de cada método de integración y se evalúan los beneficios que pueden lograrse con la integración. El trabajo de Capón García et al (2011) presenta la integración de la programación del sistema de producción con las decisiones de control, que se suelen optimizar por separado. En este caso, la variabilidad en la receta de producción se incluye a través de la función objetivo del problema de programación. Como resultado, se producen beneficios económicos claros, así como nuevas oportunidades de mejora asociadas a la calidad, la seguridad o el cambio de las políticas de operación.

Por otra parte, cuando se tiene en cuenta la dinámica del proceso en el nivel de scheduling, el modelo dinámico se discretiza mediante el uso de colocación ortogonal en elementos finitos. Como resultado, se consigue una integración completa de la dinámica del proceso y las decisiones de programación, pero a expensas de la formulación de un complejo mixto entero no lineal de optimización dinámica que requiere un elevado esfuerzo computacional. Los resultados demuestran que teniendo en cuenta los perfiles variables de tiempo para las variables de control a nivel de la programación de mejora de los resultados económicos a nivel de planta, afectando tanto a las decisiones de control y el tiempo de procesamiento por lotes.

En este mismo campo de entornos de modelado y optimización para introducir conceptos de producción, el trabajo de Capón-García et al. (2011) introduce una metodología sistemática para ayudar a la planificación y programación de operaciones teniendo en cuenta las consideraciones económicas y ambientales a nivel de planta. Concretamente se plantea un modelo matemático, que se resuelve mediante el uso de algoritmos multiobjetivo moMILP / MINLP rigurosos, que permiten la observación de posibles relaciones de compromiso entre los indicadores seleccionados. Este trabajo se ha extendido por Capón-García et al. (2012) para tratar problemas de mayor tamaño, cuyo coste computacional es más elevado.

Como resultado de la investigación conducida en este trabajo, se han desarrollado métodos proactivos de tratamiento de la incertidumbre y el riesgo adecuados para la identificación de predicciones de operación más sólidas cuando se ejecutan en entornos inciertos, y que proporcionan información valiosa y orientaciones generales sobre el funcionamiento del sistema de proceso. Cuando se asume total certidumbre, se tiende a sobrestimar el rendimiento del sistema y esto resulta en  soluciones subóptimas o incluso inviables cuando se aplican en la práctica. Sin embargo, la necesidad de enfrentar la incertidumbre de manera proactiva con el desarrollo de sistemas de modelado que incorporan información sobre la incertidumbre no excluye la utilización de la reprogramación de operaciones en el tiempo de ejecución. Se pueden identificar múltiples fuentes de incertidumbre, pero algunas de ellas pueden ser muy pequeñas y no parece razonable tomar todas ellas a la hora de modelar el sistema de programación de operaciones.

En el trabajo de Lainez et al. (2010), se analiza la incertidumbre de los parámetros de entrada del modelo de decisiones estratégicas para la consideración de los efectos económicos y medioambientales en la cadena de suministro de la empresa flexible, y cómo afecta a los resultados del problema. Muchos parámetros pueden ser descritos por medio de escenarios, pero debido a la falta de conocimiento de los árboles de escenarios posibles, se ha decidido utilizar las funciones de distribución de probabilidad (pdf) para todas las variables de entrada. Así, todas las variables de entrada del modelo se modelan considerando distribuciones uniformes de probabilidad, de esta manera no se le da énfasis a unas variables por encima de otras. El análisis apunta a priorizar las variables de entrada de acuerdo al mapa de efectos sobre las variables de salida.

Referencias

*Presentaciones a congresos y publicaciones*

Capón-García, E.; Moreno-Benito, M.; Espuña, A. “Improved short-term batch scheduling flexibility using variable recipes”, Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, 50 (9), 4983–4992

Capón-García, E.; Bojarski, A.D.; Espuña, A.; Puigjaner, L. “Multiobjective optimisation of multiproduct batch plants scheduling under environmental and economic concerns”  AIChE Journal, 2011, 57 (10), 2766-2782

Capón-García, E.; Bojarski, A.D.; Espuña, A.; Puigjaner, L. “Multiobjective evolutionary optimization of batch process scheduling under environmental and economic concerns”  AIChE Journal, 2012, (enviado)

Laínez, J.M.; Bojarski, A.D.; Puigjaner, L. Chapter Title: "Environmental Considerations into Strategic and Tactical Planning of Supply Chains", in Environmental Planning, Editor: Newton, R.D. Series: Environmental Science, Engineering and Technology (2010). Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA. ISBN: 978-1-61728-654-4

*Otras publicaciones relacionadas*

Bojarski, A.D.; Laínez, J.M.; Espuña, A.; Puigjaner, L. Incorporating Environmental Impacts and Regulations in a Holistic Supply Chains Modeling: An LCA Approach. Computers & Chemical Engineering, 33 (10): 1747 – 1759 (2009)