

"Scheduling" de plantas "batch" multiproducto. Análisis comparativo crítico de los desarrollos académicos y comerciales y propuesta de acercamiento.

YOSSEN, Glenda.

Carrera Ingeniería Industrial (FIQ-UNL)

Área temática: Ingenierías.

Sub-área: Industrial.

INTRODUCCIÓN

Las plantas *batch* multiproducto permiten manufacturar en una misma instalación distintos productos, que se fabrican en *batches* (lotes). Estos pueden agruparse en familias cuando reúnen características similares, siendo la de mayor importancia la similitud de sus recetas de procesamiento. Existe actualmente una gran dinámica en los ámbitos industriales dada por la existencia de productos con ciclos de vida más cortos y demandas cambiantes por parte de clientes, cada vez más exigentes.

Se define *scheduling* como la asignación de recursos limitados a tareas a través del tiempo, determinando cuándo dichas tareas deben comenzar y terminar, dependiendo de su duración, de las actividades predecesoras, relaciones de precedencia existentes, recursos disponibles y fechas límites aceptadas para la finalización de las mismas. En las industrias, la actividad de *scheduling* se lleva a cabo en el marco del área de planificación de la producción, interactuando con otras áreas de la empresa y con ayuda de algún tipo de herramienta computacional. La programación de la producción de estos ambientes es una tarea compleja que demanda herramientas de soporte eficientes. Esto se traduce en la necesidad de contar con un sistema de *scheduling* con gran usabilidad, que posea una interfaz amigable con el usuario, que genere soluciones de buena calidad en un tiempo reducido y que se integre con los demás sistemas informáticos de la organización, intercambiando datos de manera transparente.

La resolución de problemas de *scheduling* ha despertado un notable interés en la comunidad científica, la que ha desarrollado innumerables propuestas para el tratamiento del mismo (Méndez y colab., 2006; Marchetti y Cerdá, 2008), la mayor parte de las cuales se basa en modelos de programación matemática, que enfatizan la obtención de resultados óptimos en bajos tiempos de CPU. Sin embargo, estos trabajos requieren del pre-procesamiento de gran cantidad de entradas o *inputs* para poder formular un modelo, ejecutarlo y lograr un resultado, lo que demanda disponibilidad de tiempo y recursos humanos altamente capacitados. Además, por lo general, se proponen metodologías de solución que se basan en representaciones del problema de tipo "ad-hoc" que prácticamente no son utilizadas en la práctica industrial. Como resultado, si bien se han conseguido grandes avances en la resolución de problemas de *scheduling*, las propuestas académicas no encuentran aún su aplicación en la industria.

OBJETIVOS

El objetivo de esta propuesta es identificar las razones por las cuales existe una brecha en las formas de resolución de los problemas de *scheduling* entre los ambientes académico e industrial y a la vez realizar una propuesta que tienda a reducirla, de manera de que ambos "mundos" puedan verse beneficiados. Se pretende que el ámbito

académico perciba las herramientas de *scheduling* como sistemas informáticos de soporte de decisión. Con esta nueva interpretación, se debería poner el foco en el sistema informático usado para el desarrollo del *schedule* – que debe ser mucho más que un programa – y no solamente en la calidad del producto generado (agenda de producción a corto plazo). Se desea lograr herramientas lo más generales posibles, que permitan desarrollar el *schedule* en diferentes ambientes industriales, especificar los datos del problema y analizar los resultados de manera amigable y transparente para el usuario.

METODOLOGÍA

Para abordar este trabajo, y con la finalidad de lograr una familiarización con las propuestas del ámbito académico, se comenzó con el análisis crítico de diversos artículos (Harjunkoski y colab., 2006; Méndez y colab., 2006, entre otros). Se profundizó en el conocimiento de cómo los problemas de generación de agendas de producción son representados actualmente, reconociendo que las conceptualizaciones intermedias más utilizadas son la STN (*State Task Network*) y RTN (*Resource-Task Network*). La conceptualización STN solamente tiene en cuenta los estados de los materiales a lo largo del proceso productivo (materias primas, productos intermedios, y productos finales) y las tareas que son requeridas a lo largo de la elaboración de estos últimos. En STN, tanto la posibilidad de llevar a cabo una tarea en diferentes equipos, como la necesidad de consumo de distintos servicios o de empleo de recursos humanos por parte de las tareas, se capturan de manera informal. La representación RTN no sólo modela tareas y estados, sino también conceptualiza los equipos, el personal y los servicios auxiliares; es decir incorpora la representación explícita de todos los recursos. Los estados correspondientes a materiales, los equipos, mano de obra y los servicios auxiliares son representados como recursos consumidos o producidos (liberados) por una determinada tarea.

Para analizar la función de *scheduling* y su ejecución en un contexto de aplicación industrial, se propuso hacer explícitos los requerimientos funcionales y no funcionales de un sistema de *scheduling*. Para determinar lo que éste debe ser capaz de realizar, se identificaron los requerimientos funcionales del mismo, es decir, los servicios que el sistema debe proveer. A la vez, con el objetivo de describir la calidad del sistema, se planteó la necesidad de hacer explícitos los requerimientos no funcionales. Ambos requerimientos deben ser establecidos de manera clara, precisa y con el nivel de detalle necesario. (Cavalieri y colab., 2007, otros).

Se identificaron los requerimientos funcionales de un sistema de *scheduling*, y se los organizó en los siguientes grandes grupos, cada uno de los cuales fue expandido en 4 a 7 niveles adicionales (Ver GY, 2015).

- 1- Gestionar recetas de procesamiento.
- 2- Gestionar información del modelo físico/topología de la planta.
- 3- Disponer de facilidades para especificar la demanda a ser satisfecha.
- 4- Disponer de facilidades para especificar la política de operación de la planta y mecanismos de resolución del problema.
- 5- Disponer de facilidades para especificar disponibilidad de recursos en el periodo de planificación.
- 6- Generar plan predictivo de producción.
- 7- Gestionar resultados de la planificación predictiva
- 8- Gestionar *scheduling on line*.

Luego de ser especificados los requerimientos funcionales, se identificaron los requerimientos no funcionales, encontrando como principales características deseables la escalabilidad, robustez, flexibilidad, usabilidad, interoperabilidad y *performance*.

A la luz de los requerimientos funcionales y no funcionales identificados, se realizó un análisis y posterior comparación de las herramientas desarrolladas a nivel académico y del paquete comercial SchedulePro (Intelligen 2015), cuyas características y funcionalidades se analizaron a través de casos de estudio. La comparación entre las herramientas de los dos ambientes se efectuó desde diferentes perspectivas, tales como la representación de la información de entrada y salida, la capacidad de integración con otros sistemas informáticos industriales, los algoritmos y métodos empleados en la resolución del problema, las facilidades para interactuar con los usuarios, las funcionalidades inherentes al enfoque (*scheduling* predictivo, reactivo, análisis de capacidad, etc.), la eficiencia computacional, entre otros aspectos.

RESULTADOS

A partir del estudio del dominio de trabajo y del análisis crítico de las propuestas académicas e industriales, se obtuvo un listado detallado de los requerimientos funcionales de un sistema de *scheduling*. La especificación completa de dichos requerimientos se encuentra en el repositorio de material suplementario (GY, 2015) y en la Figura 1 se muestra un extracto. Asimismo, se procedió a generar un listado completo de los requerimientos no funcionales (Ver GY, 2015).

6. Generar plan predictivo de producción.

- 6.1. Especificar la secuencia de *batches* a ser procesados en cada equipo.
- 6.2. Especificar información de las operaciones unitarias programadas.
 - 6.2.1. Especificar tiempo de inicio y fin de cada operación unitaria.
 - 6.2.2. Especificar conflictos generados en la operación unitaria.
 - 6.2.3. Especificar duración real de la operación unitaria.
- 6.3. Generar perfil de *stock* de cada materia prima crítica a lo largo del horizonte de planificación.
- 6.4. Generar perfil de *stock* de cada producto final a lo largo del horizonte de planificación.
- 6.5. Generar perfil de asignación de personal.

Figura 1. Extracto de los requerimientos funcionales de un sistema de *scheduling*.

A partir de dicha información y de la lectura de trabajos, se elaboró una tabla comparativa entre herramientas comerciales disponibles en la actualidad y de uso en la industria, tomando como referencia a SchedulePro (SchedulePro, 2015), y distintas propuestas académicas. Las propuestas académicas analizadas en mayor detalle fueron las de Marchetti y Cerdá (2008), Castro y colab. (2001) y Novas y Henning (2010). Los dos primeros casos corresponden a enfoques orientados a la resolución de problemas de *scheduling* predictivo, mientras que la tercera hace referencia a *scheduling* reactivo. Un extracto de dicha comparación se presenta en la Tabla 1 y la comparación completa se encuentra en el repositorio (GY, 2015).

Tabla 1. Extracto de la comparación de requerimientos funcionales de SchedulePro y enfoques académicos

Funcionalidad	SchedulePro	Marchetti y Cerdá (2008)	Castro y colab.(2001)	Novas y Henning (2010)
6. Generar plan predictivo de producción.				
Especificar la secuencia de <i>batches</i> a ser procesados en cada equipo.	✓	✓	✓	
Generar perfil de <i>stock</i> de las materias primas a lo largo del horizonte de planificación.	✓	Requiere post-procesamiento	Requiere post-procesamiento	
Generar perfil de <i>stock</i> de cada producto final a lo largo del horizonte de planificación.	✓	Requiere post-procesamiento	Requiere post-procesamiento	
7. Gestionar <i>scheduling on line</i>				✓

CONCLUSIONES

Se puede afirmar que existe una dicotomía entre los enfoques de solución y las herramientas utilizadas para la resolver problemas de *scheduling* en los ambientes académico e industrial. En la industria se utilizan paquetes comerciales como SchedulePro, el cual es usable, permite especificar una gran variedad de problemas, crear recetas de procesamiento, etc., y no se encuentra acotado a un tipo de planta *batch*. No obstante, no posibilita evaluar la calidad de las soluciones obtenidas

Por su parte, las propuestas del ambiente académico no cuentan con facilidades para el ingreso/intercambio de datos, para la generación de salidas de fácil interpretación y, en general, se encuentran enfocadas a un ambiente industrial en particular. Debido a la alta especificidad de estas herramientas (muy baja flexibilidad) y al esfuerzo de pre-procesamiento de datos que demandan, no son comúnmente utilizadas en industrias. Además, en plantas reales se requiere de propuestas que integren los requerimientos de sistemas de *scheduling* predictivo y reactivo. Si el “mundo” académico percibiera que no sólo es importante la calidad del *schedule*, sino también la de la herramienta que lo genera, se enfocarían sus trabajos de diferente manera. Por otra parte, la ventaja de los desarrollos académicos frente a las herramientas industriales utilizadas, es que estas últimas presentan una menor *performance* en lo que a calidad de soluciones se refiere.

BIBLIOGRAFÍA

- Castro, P., Barbosa-Póvoa, A., Matos, H.** 2001. “An improved RTN Continuous-Time Formulation for the Short-term Scheduling of Multipurpose Batch Plants”. I&EC. Res.,40, 2059–2068.
- Cavaliere, S., Terzi S., Macch M.**, 2007. “A Benchmarking Service for the evaluation and comparison of scheduling techniques”. Computers in industry-Elsevier,58, 656 - 666.
- GY** 2015. <https://sites.google.com/site/glendayossen2015/>. Último acceso: 24/09/2015.
- Marchetti, P., Cerdá, J.**, 2008.”A general resource-constrained scheduling framework for multistage batch facilities with sequence-dependent changeovers”. Computers and Chemical Engineering-Elsevier, 33,. 871 – 886.
- Méndez, C.A., Cerdá, J., Grossman, I.E., Harjunkoski, I., Fahl, M.**, 2006. “State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes”. Computers and Chemical Engineering-Elsevier, 30, 914 – 946.
- Novas, J., Henning, G.** 2010. “Reactive scheduling framework based on domain knowledge and constraint programming”. Computers and Chemical Engineering-Elsevier, 34, 2129 - 2148.
- SchedulePro user’s guide.** http://www.intelligen.com/schedulepro_overview.html. Último acceso: 21/09/2015.