

Online Scheduling: Un marco de referencia para ambientes discretos.

Espinaco, Franco Gaston^{1,2}

¹Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química, INTEC (UNL-CONICET)

²Facultad de Ingeniería Química, FIQ (UNL)

Directora: Henning, Gabriela Patricia.

Área: Ingeniería

Palabras claves: *Online Scheduling*, Rescheduling, Industry 4.0.

INTRODUCCIÓN

Los ambientes de manufactura se enfrentan a distintos eventos inesperados, los cuales afectan los planes de producción y obligan a los planificadores a tomar medidas para evitar y/o paliar el deterioro que estas interrupciones puedan causar en la eficiencia del sistema.

Los sistemas de *scheduling* industrial generan agendas de producción llamadas *schedules*. Estas agendas especifican el orden y los tiempos en el que se ejecutarán las operaciones de las distintas órdenes de producción en el piso de planta, así como la asignación de los recursos. Los eventos imprevistos pueden tornar infactibles o ineficientes los *schedules* originales o predictivos. Por ello se requiere de mecanismos para contemplar la ocurrencia de estos eventos y modificar en consecuencia el *schedule predictivo*, generando una nueva agenda. El proceso de modificar un *schedule* predictivo en el contexto de interrupciones en el sistema de manufactura recibe el nombre de *rescheduling* (Aytug y colab., 2005).

A la hora de generar una nueva agenda de producción se debe buscar por un lado, recuperar la factibilidad, de haberse perdido, a la vez que se maximiza la eficiencia. Por otro lado, también se tienen que tener en cuenta las diferencias entre el nuevo plan y el original. Si estos son muy distintos, se puede causar inestabilidad en el piso de planta, lo cual es un efecto muy indeseable (Rangsaritratsamee y colab., 2004).

Este trabajo presenta un *framework* para el desarrollo de la actividad de *rescheduling* en ambientes discretos del tipo *job shop*.

OBJETIVOS

- Desarrollar un *framework* o marco de referencia general que permita el funcionamiento de un sistema de *scheduling* en ambientes de manufactura discretos tipo *job-shop*.
- Hacer explícita la necesidad de contar con una representación adecuada de la agenda de producción para poder aprovechar las herramientas e información que se tienen en un contexto de industria 4.0.

Título del proyecto: Nuevos Materiales Poliméricos y Nuevas Tecnologías Sustentables Basados en el Uso de Fuentes Renovables Provenientes de la Región Centro”

Instrumento: Proyecto Unidad Ejecutora PUE 22920160100007CO

Año convocatoria: 2016

Organismo financiador: CONICET

Director/a: Gabriela Patricia Henning

METODOLOGÍA

Para realizar la actividad de *rescheduling* se pueden adoptar distintas estrategias. En este trabajo se emplea la estrategia llamada *predictive-reactive*. Ésta puede ser descrita como un proceso iterativo en el cual se crea un *schedule* original (predictivo) y al detectarse una interrupción se evalúa el impacto de la misma. Dependiendo de esta evaluación se puede continuar sin modificaciones o desencadenar un proceso de *rescheduling*. Cuándo y cómo se desarrolla el *rescheduling* se encuentra dictado por la política adoptada (Vieira y colab., 2003). En este trabajo se utiliza la política llamada *event-driven*, la cual consiste en desencadenar el proceso de *rescheduling* cuando se ha detectado un evento disruptivo en el piso de planta. Los sucesos considerados son: la rotura de una máquina y el alta/baja/modificación de una orden. Para que este proceso se desarrolle exitosamente es menester que el sistema de *scheduling* cumpla con algunos requisitos:

- Interopere con los sistemas tecnológicos operacionales (OT, por su sigla en inglés) y de información tecnológica (IT, por sus sigla en inglés) relevantes. Los primeros, que operan a nivel de piso de planta, deberán informar los eventos que en la misma tengan lugar y el estado de la ejecución de la agenda al ocurrir un suceso. También serán responsables de poner en práctica la agenda actualizada luego de la actividad de *rescheduling*. Los sistemas IT, de gestión empresarial, tales como un ERP, comunicarán cambios imprevistos en las órdenes de trabajo, disponibilidad de personal, materiales, etc.
- Conserve y actualice (con la mayor frecuencia posible) una representación fidedigna del estado de la agenda y del ambiente de producción.

El *framework* propuesto cuenta con los siguientes componentes:

- Interfaces con los sistemas IT y OT relevantes en la interacción.
- Un modelo de la información del sistema basado en una representación orientada a objetos. El mismo permite mantener un gemelo (en forma de datos) del estado actual de ejecución de la agenda y del ambiente de producción.
- Un modelo de programación matemática mixto-entero lineal (MILP) encargado de generar los *schedules* predictivos y/o reactivos. En este trabajo se desarrolló una formulación para ambientes *job-shop* flexibles basada en el modelo de Özgüven y colab. (2010), a la cual se le realizaron modificaciones para incluir tiempos de *changeover* y consideración de *due dates*. La misma se implementó en el software IBM ILOG CPLEX (IBM ILOG, 2022) utilizando CPLEX como *solver*.
- Un conjunto de algoritmos que permiten, ante la necesidad de realizar un *rescheduling*, generar la información requerida por el modelo matemático trabajando y haciendo razonamiento sobre el modelo de objetos y la información del evento disruptivo.
- Un módulo de gestión de datos encargado de realizar los pedidos/gestionar los envíos de información a/desde los sistemas correspondientes, así como también de enviar a estos sistemas la información que estos requieran. También se encarga de la transferencia interna de datos e información entre los diferentes módulos.
- Un módulo que actúe como librería a través de la cual se puedan elegir distintas funciones objetivo y/o restricciones a incorporar en el modelo de programación matemática.

Es importante resaltar que el *framework* considera que se posee una representación explícita de la agenda de trabajo a través de la cual se puede razonar. Este modelo de objetos es la piedra angular del sistema de *scheduling* porque permite mantener actualizado en línea el estado de avance del *schedule*. Esto es indispensable para poder realizar el

rescheduling ya que el modelo necesitara como *input* el estado actual del piso planta. Además, es el medio a través del cual se manifiesta la integración entre los componentes del sistema y entre el sistema de *scheduling* con los demás sistemas de la planta (Novas y Henning, 2010). La Figura 1 esquematiza la arquitectura del *framework* propuesto, en tanto la Figura 2 conceptualiza el funcionamiento del proceso de *rescheduling* a través de un diagrama de estados del sistema de *scheduling* (se incluyeron únicamente los estados directamente relacionados a esta porción de funcionalidad).

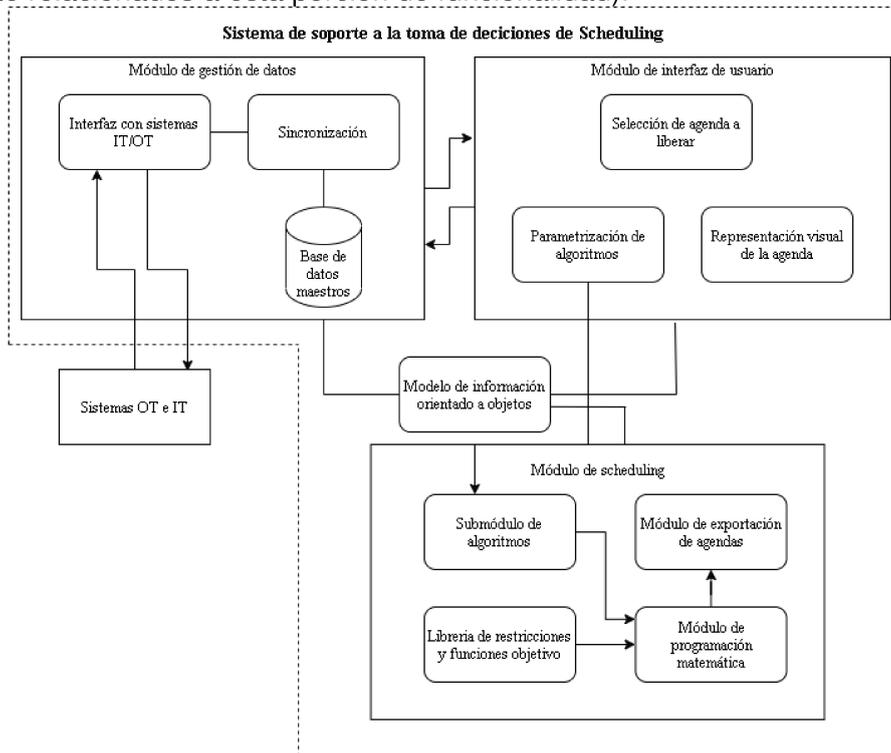


Figura 1: Arquitectura del *framework* propuesto.

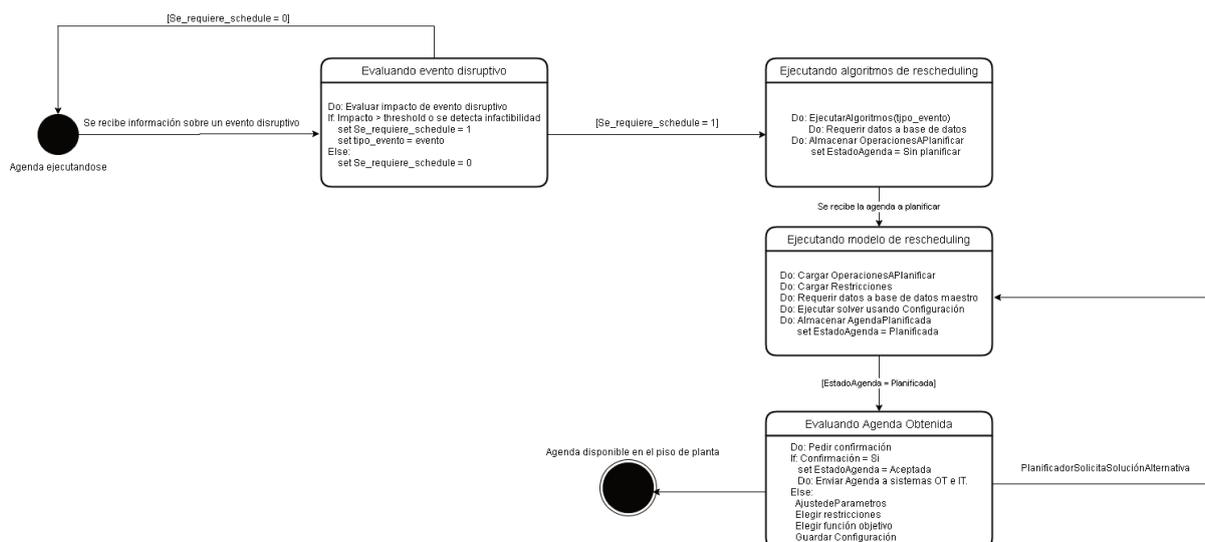


Figura 2: Diagrama de estados del proceso de *rescheduling*

El proceso se inicia con la generación de un *schedule* predictivo y la puesta en práctica del mismo en el piso de planta. Al detectarse un evento disruptivo (sistemas OT o IT) y transmitirlo al *framework*, se debe evaluar su impacto y decidir si existe necesidad de llevar a cabo una actividad de *rescheduling*. Si fuese necesaria se ejecutan los algoritmos que correspondan al tipo de evento detectado. Estos algoritmos generan parte del *input* del modelo matemático (la otra parte proviene de la base de datos maestros). El modelo matemático obtenido se ejecuta y una vez alcanzada una solución el planificador deberá verificar si la misma resulta satisfactoria, teniendo la posibilidad de solicitar una nueva ejecución. El planificador es quien se encuentra a cargo del sistema y quien, por lo tanto, toma la última decisión (Framinan y colab., 2014). Adoptada ésta, el *framework* de *scheduling* se ocupa de transmitir la nueva agenda a los sistemas OT, responsables de su implementación.

Al considerarse un horizonte rodante el proceso podría ser continuo, dando lugar al denominado *Online Scheduling*, ya que al llegar nuevas órdenes estas se irían acoplando a la agenda a través de sucesivas actividades de *rescheduling*.

CONCLUSIONES

El contexto de industria 4.0 brinda a las empresas la posibilidad para aumentar su eficiencia y/o mejorar sus prácticas a partir de la adopción de una serie de tecnologías. No obstante, el verdadero valor no reside en las tecnologías, sino en cambio en la integración de las mismas y en la digitalización sistematizada de la empresa y sus socios. Uno de los dominios donde aún no se ha explotado toda la potencialidad de la Industria 4.0 es el de *scheduling* en industrias de manufactura discreta. Esto ocurre por una serie de motivos, siendo uno de ellos la falta de una representación explícita de la agenda de trabajo que permita dar soporte a un seguimiento apropiado del proceso de manufactura a medida que éste se desarrolla. Este requerimiento ha sido sistemáticamente soslayado por la bibliografía especializada del campo. En este sentido, este trabajo presenta un *framework* general que puede ser adoptado y adaptado a distintas empresas de manufactura discreta. Se describen los componentes del *framework* y el rol de cada uno de ellos. Las pruebas de concepto realizadas mediante casos de estudio simples demuestran la importancia que la representación de la agenda tiene dentro de este esquema.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

Aytug, H., Lawley, M.A., McKay, K., Mohan, S., Uzsoy, A., 1987. Executing production schedules in the face of uncertainties: A review and some future directions. *European Journal of Operational Research* 161(1), 86-110.

Framinan, J.M., Leisten, R., Garcia, R.R., 2014. *Manufacturing Scheduling Systems: An Integrated View on Models, Methods, and Tools*. Editorial Springer. Londres.

IBM ILOG, 2022. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio>. Accedido 28/07/2022.

Novas, J.M., Henning, G.P., 2010. Reactive scheduling framework based on domain knowledge and constraint programming. *Computers and Chemical Engineering* 34, 2129-2148.

Özgülven, C., Özbakir, L., Yavuz, Y., 2010. Mathematical models for job-shop scheduling problem and process plan flexibility. *Applied Mathematical Modelling* 34, 1539-1548.

Rangsaritratsamee, R., Ferrell Jr., W.G., Kurz, M.B., 2004. Dynamic rescheduling that simultaneously considers efficiency and stability. *Computers & Industrial Engineering* 46, 1–15.

Vieira, G.E., Herrmann, J.W., Lin, E. 2003. Rescheduling manufacturing systems: A Framework of strategies, policies, and methods. *Journal of Scheduling* 6, 39–62.