

## Desarrollo de sistemas de scheduling de producción en el contexto de la industria 4.0

Daniel Díaz, Francisco Ibañez, Sandra Oviedo, Juan Cuneo, María Becerra  
Fernando Guardia

LabIAI- Instituto de Informática – Dpto. de Informática  
FCEFYN - Universidad Nacional de San Juan  
CUIM – Av. Ignacio de la Roza 590 (O), Rivadavia – J5402DCS San Juan  
{ fibanez, ddiaz, soviedo, jcuneo, mbecerra,fguardia}@iinfo.unsj.edu.ar}

### Resumen

La nueva revolución industrial conocida como industria 4.0 va en camino a crear productos inteligentes y conectados que ofrecen posibilidades de expansión exponenciales hacia nuevas funcionalidades con mayor confiabilidad, mayor utilidad y capacidades que atraviesan y trascienden los límites de los productos tradicionales. Al interior de una planta industrial producir estos productos requiere de una transformación de los sistemas de producción, una componente importante de este proceso son los sistemas de planificación y scheduling de la producción. Es por ello que este proyecto propone investigar sobre el desarrollo de sistemas de scheduling de producción en el contexto de la industria 4.0.

### Palabras clave:

Planificación de la producción, industria 4.0, fabricación inteligente

### Contexto

El concepto de industria 4.0 se refiere a la integración de diferentes tecnologías tales como big data, edge computing, inteligencia artificial, servicios en la

nube, internet industrial de las cosas [1], sistemas ciberfísicos [2] entre otras.

El objetivo de este proyecto es investigar sobre tecnologías de la industria 4.0 plausibles de ser incorporadas en un sistema de scheduling de producción.

El proyecto se lleva a cabo en el Laboratorio de Informática Aplicada a la Innovación (LabIAI) del Instituto de informática de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, el mismo está inserto en la línea de investigación sobre sistemas de scheduling que tiene el LabIAI y se presenta como una continuidad del último proyecto ejecutado bajo esta línea de investigación [3, 4].

### Introducción

Desde el surgimiento de la informática los sistemas de producción han evolucionado conforme las tecnologías de la información y comunicación lo han hecho. Se pueden identificar 3 etapas en esta evolución. La etapa de digitalización, que va desde mediados del siglo XX hasta mediados de la década de 1990, en esta etapa se informatiza la industria mediante aplicaciones de gestión y dispositivos de control tales los PLC ( Programmable Logic Controllers ). Desde mediados de

los 1990 comienza la etapa de red, que surge con el advenimiento de internet, en esta etapa todo se conecta, los sistemas y los dispositivos electrónicos dejan de trabajar aislados y pasan a formar parte de la gran red. Hoy en día, un clúster de avances tecnológicos tales como big data, edge computing, inteligencia artificial, servicios en la nube, internet industrial de las cosas [1], sistemas ciberfísicos [2] entre otras, están dando surgimiento a la etapa de la inteligencia, también denominada la nueva generación de manufactura inteligente [5]. Estos nuevos avances han dado lugar al desarrollo de nuevas estrategias de manufactura tales como industria 4.0 en Alemania, Internet Industrial en EEUU [6] y Made In China 2025 en China [7]. Esta cuarta revolución industrial ya ha llegado a nuestro país, así lo demuestran las últimas conferencias de la Unión Industrial Argentina (UIA) [8-10], donde diversas temáticas relacionadas con la industria 4.0 han sido tratadas.

En este contexto la Industria 4.0 presenta nuevos desafíos y oportunidades para los sistemas de planificación y scheduling de la producción. Es por ello que esta propuesta de proyecto propone investigar sobre el desarrollo de sistemas de scheduling de producción en el contexto de la industria 4.0.

## **Industria 4.0**

Según Hermann y otros [11] “la Industria 4.0 es un término colectivo para las tecnologías y conceptos de organización de la cadena de valor. Dentro de las fábricas inteligentes modulares y estructuradas de la Industria 4.0, los sistemas ciberfísicos (CPS) monitorean los procesos físicos, crean una copia virtual del mundo físico y toman decisiones descentralizadas. A través de Internet de las cosas (IoT), CPS se

comunica y coopera entre sí y con los humanos en tiempo real. A través de Internet de Servicios (IoS), los participantes de la cadena de valor ofrecen y utilizan servicios internos y de organización cruzada”

## **Sistemas ciberfísicos (CPS)**

Los CPS pueden considerarse sistemas que unen el mundo físico y el virtual. Más precisamente, “los sistemas ciberfísicos son integraciones de procesos computacionales con procesos físicos. Dispositivos computarizados y redes integradas monitorean y controlan los procesos físicos, generalmente con bucles de retroalimentación donde los procesos físicos afectan los cálculos y viceversa. En el contexto de la manufactura, esto significa que la información relacionada con lo físico (el taller, la fábrica) y el espacio virtual de cómputo están altamente sincronizados. Esto permite un nuevo grado de control, vigilancia, transparencia y eficiencia en el proceso de producción. Con respecto a su estructura, CPS tiene dos redes paralelas para controlar, a saber, la red física de componentes interconectados de la infraestructura y la red cibernética compuesta por controladores inteligentes y los enlaces de comunicación entre ellos. CPS realiza la integración de estas redes mediante el uso de múltiples sensores, actuadores, unidades de procesamiento de control y dispositivos de comunicación.

## **Internet de las cosas (IoT)**

El termino no tiene una sola definición, tal esta expresado en [12], la definición del Estandar de IEEE dice "Una red de elementos, cada uno integrado con sensores, que están conectados a Internet". Porter [13] “son los productos inteligentes y conectados que ofrecen

posibilidades de expansión exponenciales para nuevas funcionalidades, mayor confiabilidad, mayor utilidad del producto y capacidades que atraviesan y trascienden los límites de los productos tradicionales “. En resumen podría decirse que la IoT puede hacer que todas las cosas físicas puedan convertirse en cosas inteligentes conectadas a internet.

### **Internet de servicios (IoS)**

De manera similar al IoT, está surgiendo una Internet de servicios (IoS), basada en la idea de que los servicios se ponen a disposición fácilmente a través de tecnologías web, lo que permite a las empresas y a los usuarios privados combinar, crear y ofrecer un nuevo tipo de servicios de valor agregado [14]. Los servicios de la nube, así como las aplicaciones basadas en arquitectura orientada servicios o en arquitectura de microservicios son parte del internet de servicios.

### **Fabricación inteligente**

Los conceptos de CPS, IoT e IoS son los componentes principales de Industria 4.0. Cabe señalar que estos "conceptos" están estrechamente relacionados entre sí, ya que CPS se comunica a través de IoT e IoS, lo que permite la llamada "fábrica inteligente", que se basa en la idea de un sistema de producción descentralizado, en el que “Los seres humanos, las máquinas y los recursos se comunican entre ellos de manera tan natural como en una red social. En [5] se discuten en profundidad todos los conceptos de fabricación inteligente.

### **Sistemas de scheduling en dominios industriales**

Los problemas de Scheduling aparecen en diferentes dominios, este proyecto trata con problemas de scheduling que surgen en el dominio industrial y que en la industria que se denominan production scheduling o manufacturing scheduling.

La definición más clásica de la palabra scheduling dice : “Scheduling es el problema de asignar recursos limitados a tareas en el tiempo con el objeto de optimizar uno o más objetivos” [15]. En la industria, un sistema de scheduling es el corazón del sistema de planificación y control de la producción. Normalmente el sistema de scheduling interactúa con otros sistemas de fabricación, tales como ERP ( Enterprise Resource Planning) y MES (Manufacturing Execution System).

Existe una literatura muy extensa sobre scheduling y se ha escrito mucho sobre modelos y algoritmos que resuelven problemas de scheduling. Sin embargo, poco son los artículos que tratan de cómo traer estos modelos y algoritmos a implementaciones reales. Esto se conoce como el “hueco o gap” entre la teoría y la práctica de scheduling [16]. Para cerrar este hueco entre la teoría y la práctica los modelos y algoritmos de scheduling se deben implementar en una pieza de software que satisfaga las necesidades que tiene una empresa en el área de scheduling. Esto implica llevar a cabo un proceso de desarrollo de software para obtener un producto final, es decir un sistema de scheduling y que ayude a la toma de decisión. Según Yen y Pinedo [17] un sistema de scheduling se compone tres módulos: (1) módulos de base datos y base de conocimiento, (2) módulos del motor de scheduling y (3) módulo de interface de usuario. La parte esencial de todo sistema de scheduling es

el desarrollo del motor de scheduling, es donde se vinculan las necesidades que tiene la empresa con los modelos y algoritmos de scheduling.

Nuevas necesidades por parte de la empresa debido a los avances tecnológicos y evolución del mercado hacen que las técnicas aplicadas para desarrollar los sistemas de scheduling mencionados no sean aplicables al nuevo entorno industrial. McKay et al. [18] Describen un conjunto de necesidades o requisitos que debe reunir un sistema de scheduling, algunos de los cuales se refieren a los algoritmos de secuenciación y al uso del sistema. Con respecto a los algoritmos de secuenciación, éstos deben ser flexibles y configurables. Deben ser capaces de manejar diversos criterios (scheduling multicriterio). A estos requisitos se les debe agregar otros tales como facilitar el mantenimiento y la reducción de costos de desarrollo.

Por último, [19] intenta integrar esta definiciones definiendo a un manufacturing scheduling como el proceso de toma de decisión que consiste de asignar un conjunto de operaciones/tareas requeridas para manufactura un conjunto de productos con los recursos existentes en una planta, como así también los tiempos necesario para iniciar estas operaciones o tareas. Un Schedule o plan se define como un conjunto específico de asignaciones de operaciones o tareas a los recursos sobre una escala temporal.

## Resultados y Objetivos

El objetivo es investigar sobre métodos y técnicas en pos de integrar las más recientes tecnologías en un marco de trabajo que permita construir sistemas de scheduling de producción para la industria 4.0.

En cuanto a resultados, se está trabajando en el desarrollo de chatbots que asistan en el proceso de planificación de la producción, más específicamente que ayude al planificador en la carga e interpretación de los datos de entrada y salida de un scheduling de producción

## Formación de Recursos Humanos

El equipo de trabajo que lleva adelante este proyecto se compone de

- 4 docentes investigadores,
- 1 tesistas de grado en período iniciación.
- 2 alumnos avanzados de iniciación a la investigación
- 2 tesistas de posgrado (maestría)

## Referencias

- [1] Z. Bi, L. Da Xu, and C. Wang, "Internet of Things for Enterprise Systems of Modern Manufacturing," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, pp. 1537-1546, 2014 2014.
- [2] N. Jazdi, "Cyber physical systems in the context of Industry 4.0," *2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, 2014 2014.
- [3] D. Díaz, S. Oviedo, F. Guardia, J. M. Cuneo, and A. Otazú, "Hacia un marco de trabajo para desarrollar sistemas de programación de la producción utilizando servicios en la nube.," presented at the Congreso argentino de ciencias de la computación, Universidad Nacional de Río Cuarto - Córdoba, 2019.
- [4] D. Díaz, S. Oviedo, F. Guardia, J. Cuneo, F. Ibañez, and N. Alonso, "Desarrollo sistemas de programación de producción mediante servicios en la nube,"

- presented at the X ENCUENTRO DE INVESTIGADORES Y DOCENTES DE INGENIERÍA, Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, 2019.
- [5] J. Zhou, P. Li, Y. Zhou, B. Wang, J. Zang, and L. Meng, "Toward new-generation intelligent manufacturing," *Engineering*, vol. 4, pp. 11-20, 2018.
- [6] I. Industrial. (2014, 2019/12/3). *The Industrial Internet Consortium: A Global Nonprofit Partnership Of Industry, Government And Academia, March 2014*. Available: <https://www.iiconsortium.org/about-us.htmPartnePartnership>
- [7] L. Li, "China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0"," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 135, pp. 66-74, 2018.
- [8] UIA2018, "24° Conferencia Industrial (2018)," <https://www.uia.org.ar/conferenciaindustrial/conferencia/24>, 2018.
- [9] UIA2017, "23° Conferencia Industrial (2017)," <https://www.uia.org.ar/conferenciaindustrial/conferencia/23>, 2017.
- [10] UIA2019, "25° Conferencia Industrial (2019)," 2019.
- [11] M. Hermann, T. Pentek, and B. Otto, "Design principles for industrie 4.0 scenarios," in *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)*, 2016, pp. 3928-3937.
- [12] R. Minerva, A. Biru, and D. Rotondi, "Towards a definition of the Internet of Things (IoT)," *IEEE Internet Initiative*, vol. 1, pp. 1-86, 2015.
- [13] M. E. Porter and J. E. Heppelmann, "How smart, connected products are transforming competition," *Harvard business review*, vol. 92, pp. 64-88, 2014.
- [14] W. Wahlster, H.-J. Grallert, S. Wess, H. Friedrich, and T. Widenka, *Towards the internet of services: The THESEUS research program*: Springer, 2014.
- [15] K. R. Barker, *Elements of sequencing and scheduling*. New York: John Wiley and Sons, 1974.
- [16] B. L. MacCarthy and J. Liu, "Addressing the gap in scheduling research: A review of optimization and heuristic methods in production scheduling," *International Journal of Production Research*, vol. 31, pp. 59-79, 1993.
- [17] B. P.-C. Yen and M. Pinedo, "On the design and development of scheduling systems," in *Fourth International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology*, 1994, pp. 197 - 204.
- [18] K. McKay, M. L. Pinedo, and S. Webster, "Practice-Focused Research issues for scheduling systems," *Production and Operations Management*, vol. 11, pp. 249-258, 2002.
- [19] J. M. Framinan, R. Leisten, and R. R. García, "Manufacturing scheduling systems," *An integrated view on Models, Methods and Tools*, pp. 51-63, 2014.