

Especificación de sistemas de manufactura mediante procesos de negocios y Redes de Petri

Luis Manuel Sánchez y Bernal

luis.sanchez@usach.cl

Departamento de Matemática y Ciencia de la Computación, Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile

Abstract: *Currently, the organizational structure of enterprises needs to be dynamic due to frequent changes in the rules of business because of the turbulence of national and international markets. Therefore, we need a new strategy to analyze the systems of manufacturing processes that enable the integration of production processes and management. This paper proposes a methodology to specify and analyze the integration of both processes through the formality of Petri Nets. This will improve the response both in production and in the management of resources in the manufacturing system against changes produces by uncertain and dynamic environment.*

Keywords: Manufacturing System, Formal Systems, Workflow, Petri Nets.

1. Introducción

En la actualidad, todas las empresas de manufactura son afectadas por cambios generados por la globalización que incrementa las opciones de ofertas de los productos, con un consecuente aumento en las expectativas y exigencias del cliente. Ante este escenario, las empresas que no ofrezcan productos o servicios de calidad que satisfagan a los clientes, tendrán problemas de permanencia tanto en el mercado nacional como en el internacional.

Por lo anterior, las empresas de manufactura están modificando su forma de organización y administración, pasando de una estructura jerárquica y funcional, a una estructura horizontal, formada por grupos flexibles y orientada al cliente, proporcionando al mercado productos y servicios más adecuados [Chebbi 2006] [Van 2002] [Sadig 2000].

De esta manera, las empresas que adoptan la estructura horizontal se concentran en la transferencia de ideas, informaciones, decisiones y recursos, de una forma eficiente y rápida, a lugares donde éstos son necesarios. Esto facilita la adaptación de la empresa frente a los cambios que puedan afectarla debido a modificaciones de su entorno [Chebbi 2006] [Verbeek 2002]. Otro factor que influye en las empresas modernas es el uso de la tecnología de la información que se aplica en todo el proceso de producción, permitiendo mejorar la calidad de los productos y los servicios proporcionados por la empresa.

La presente investigación propone un método para facilitar el análisis del proceso de producción de una empresa de manufactura moderna. Basándose en las representaciones formales clásicas del modelo de negocios de la empresa, se reformula de acuerdo con una representación gráfica estructurada de diagrama de bloques, que facilita su conversión directa a representaciones en Redes de Petri. Esto permitiría el análisis de procesos de planificación de recursos, conocidos como procesos ERP (Enterprise Resource Planning), con foco en los procesos de producción en una sola herramienta de análisis. Por otra parte, este enfoque entregará un mayor conocimiento sobre las causas que afectan al sistema de manufactura favoreciendo la entrega

de respuestas rápidas y eficientes por parte de los responsables del sistema. El trabajo se ha organizado del siguiente modo. En la sección 2, se presenta los tipos de organización que forman parte de los sistemas de manufactura. La sección 3 caracteriza los procesos de negocios y su importancia en el modelamiento y gestión de la empresa. En la sección 4, se muestran los elementos para modelar actividades de interactividad en procesos de negocios. La sección 5 presenta la formalización del modelo de procesos de negocios mediante Redes de Petri. La sección 6 presenta un ejemplo de aplicación modelado mediante procesos de negocios y Redes de Petri. Finalmente, en la sección 7, se presentan las conclusiones alcanzadas en la presente investigación.

2. Sistema de organización mecánico y orgánico

Una organización mecánica se caracteriza por funcionar dentro de un ambiente estable, sigue un conjunto de reglas y reglamentos, y su estructura jerárquica solo permite decisiones centralizadas [Chebbi 2006] [Verbeek 2002].

Por el contrario, una organización orgánica se caracteriza por operar dentro de un ambiente dinámico, con decisiones descentralizadas y con menos dependencia de reglas y reglamentos. En la tabla 1, se presentan características de los dos tipos de organizaciones.

Para modificar el funcionamiento de una organización, es necesario alterar su estructura, incorporar tecnología y capacitar a su personal. Así, el cambio de la estructura de la organización involucra una reformulación de procesos, flujos de trabajo, etc. La incorporación de tecnología dentro de la empresa debe facilitar y apoyar las labores del personal [Chebbi 2006][Hongchen 2004]. Finalmente, la capacitación del personal permite mejorar los procesos productivos.

Respecto a los ambientes donde operan las organizaciones, se tienen tres tipos: estable, en transformación y en turbulencia [Chebbi 2006].

El ambiente estable no afecta el funcionamiento de la organización debido a que no existen cambios imprevistos.

El ambiente en transformación, aunque puede existir la necesidad de innovar productos y la presencia de nuevos mercados, éstos disponen de tendencias visibles y previsible, lo que facilita la adaptación de las organizaciones mediante cambios planificados.

El ambiente turbulento se caracteriza por el requerimiento de productos nuevos no previstos, cambios en los métodos de producción debido a cambios en las máquinas de producción, etc. En general, en este último tipo de ambiente, las tareas requieren constantes redefiniciones que permitan atender las necesidades de las transformaciones frecuentes de la organización [Verbeek 2002].

Para disminuir el efecto del ambiente sobre la estructura de la organización, se recomienda la planificación de la producción mediante la metodología de la administración por procesos de negocios, que incorpora tanto los procesos de producción como los procesos ERP.

3. Administración del sistema de manufactura por procesos de negocios

Permite que las empresas de manufactura disminuyan los costes operativos en situaciones complejas que no pueden ser superadas de forma inmediata posibilitando la flexibilidad y rapidez en la ejecución de los procesos y la reducción en el consumo de los recursos [Eshuis 2002] [Hongchen 2004].

En el contexto de la economía actual de las empresas de manufactura, la flexibilidad de los procesos es considerado clave para su sobrevivencia. Un proceso puede ser definido como un conjunto de actividades de negocios, que colectivamente permiten alcanzar un objetivo común dentro del contexto de una estructura organizacional.

En general, la administración por procesos de negocios permite cambios en la forma de gestionar una organización y en la metodología de implementar los sistemas productivos. A diferencia de la re-ingeniería, que significa iniciar todo de nuevo, la administración por procesos de negocios construye y transforma sobre lo que ya existe, permitiendo incorporar técnicas para mejorar la productividad de los procesos [Tick 2007].

Tabla 1. Características de forma de las Organizaciones

Mecánica	Orgánica
Las tareas se dividen en partes especializadas.	El personal de la empresa contribuye en la ejecución de las tareas comunes.
Las tareas son definidas de forma rígida.	Las tareas son redefinidas con la participación de los empleados.
Existe una rigurosa jerarquía de autoridad y muchas reglas.	Existe menos jerarquía de autoridad y pocas reglas.
El conocimiento y el control de las tareas son centralizadas por la alta administración	El conocimiento y el control de las tareas están distribuidos en cualquier parte de la organización.
La comunicación es vertical.	La comunicación es horizontal.

Con el propósito de controlar las necesidades actuales y futuras de los procesos, es necesario modelar y analizar sus actividades y flujos de trabajo durante todo el ciclo de producción [Sánchez 2007] [Tick 2006].

Cuando una empresa de manufactura modela su producción en términos de procesos de negocios, es posible realizar actividades de reingeniería en cada proceso permitiendo su adaptación a nuevos requerimientos del cliente, aumento de la calidad de los productos, reducción de los costes de fabricación y estudio de nuevos desafíos y oportunidades para la empresa [Van 1998].

4. Modelo de procesos de negocios

Permite describir cada proceso de la empresa de manufactura en un nivel conceptual muy alto, necesario para entender, evaluar y re proyectar el proceso.

Para desarrollar la especificación de los procesos, es necesario que el modelo incluya conceptos para describir la estructura de cada proceso, a partir de sus tareas, la dependencia entre tareas y requerimientos que permitan su ejecución [Van 2002].

A continuación, se presentan los elementos necesarios a considerar para el desarrollo con la descripción del proceso y con el flujo de trabajo de sus tareas componentes:

(a) Información de proceso:

- ◆ Definir el conjunto de tareas que permitan alcanzar el resultado deseado para el proceso.
- ◆ Identificar y medir las entradas y salidas del proceso.
- ◆ Identificar las interfaces del proceso.
- ◆ Establecer la responsabilidad y autoridad para administrar el proceso.
- ◆ Identificar los clientes internos y externos interesados en el proceso.

(b) Flujos de trabajo

- ◆ **Enrutamiento Secuencial:** Una tarea es ejecutada luego de finalizar la ejecución de la tarea anterior (Figura 1).



Figura 1. Secuencia de Tareas

- ◆ **Enrutamiento paralelo:** La ejecución de una tarea de control permite la ejecución en paralelo de un conjunto de tareas. Estas tareas deben finalizar de forma sincronizada antes de iniciar la ejecución de la próxima tarea (Figura 2).

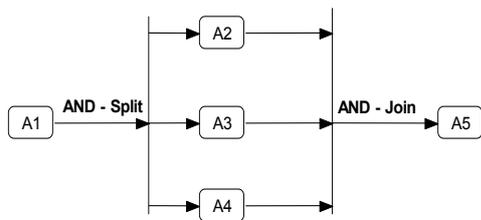


Figura 2. Concurrency de tareas

- ◆ **Enrutamiento Selectivo:** Representa la elección de una tarea a partir de un grupo de potenciales tareas que forman parte del proceso. La elección se realiza mediante la evaluación de un conjunto de condiciones generadas en la planificación de recursos (Figura 3).

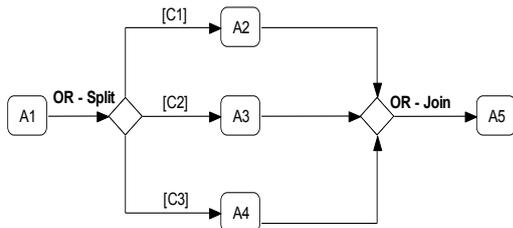


Figura 3. Selección condicional de tareas

- ◆ **Enrutamiento iterativo:** Es un caso particular del enrutamiento selectivo de tareas (Figura 4).

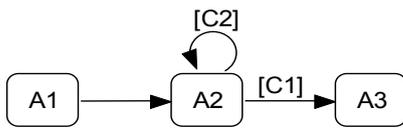


Figura 4. Iteración de Tareas

5. Formalización del modelo de procesos de negocios mediante Redes de Petri

En el modelo, cada proceso de negocio que forma parte del sistema de manufactura, involucra tareas complejas, concurrentes y distribuidas (producción, marketing, contabilidad, procedimientos financieros, etc), por lo que el uso de las Redes de Petri resulta apropiado para la descripción de la estructura interna de los procesos y para el análisis y simulación de sus correspondientes flujos de trabajo. Esto favorece la aplicación de algoritmos procedentes de la teoría de decisiones, teoría de juegos, estadística, heurísticas, etc.

Para describir el modelo de procesos de negocios como una red de Petri, es necesario establecer las siguientes definiciones:

Una Red de Petri que expresa un modelo de negocios se define como una tupla: (P, T, F, M_0) donde,

$P = P_{prod} \cup P_{ERP}$: representa el conjunto del pre y pos condiciones, asociadas a cada tarea que forma parte del proceso de negocio. A partir de la satisfacción de las precondiciones (descritas por la presencia de materiales, personas o permisos), los recursos son consumidos por las tareas y nuevos recursos son producidos para posibilitar que nuevas tareas se inicien;

$T = T_{prod} \cup T_{ERP}$: representa las tareas que componen cada proceso de negocio.

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$: representa el flujo de trabajo de los procesos de negocios

M_0 : representa la distribución inicial de los recursos en P.

$$P \cap T = \emptyset \text{ y } P \cup T \neq \emptyset$$

Las tareas se describen mediante dos tipos de atributos: el primero indica la acción que la tarea desarrolla y se clasifica en: inmediata (T_i), por mensaje (T_m), por recurso (T_r) y temporizada (T_t). El segundo atributo expresa la forma de relacionarse con sus respectivos pre y post condiciones, las que pueden ser de los siguientes tipos:

Caso de una precondición y una pos-condición: representa el enrutamiento secuencial de tareas (Figura 5).



Figura 5. Atributo secuencial en Redes de Petri

Caso de una pre condición y varias pos-condiciones: representan el modo simple de los enrutamientos paralelo o selectivo (Figuras 6 y 7).

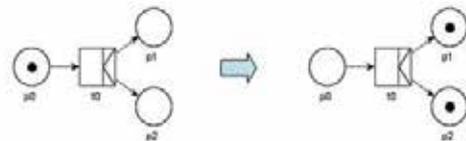


Figura 6. Atributo AND-Split en Redes de Petri

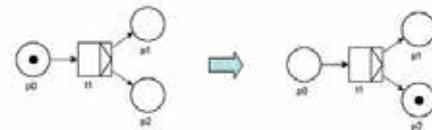


Figura 7. Atributo XOR-Split en Redes de Petri

Caso de varias pre-condiciones y una pos-condición: representan el sincronismo de las pre condiciones en el enrutamiento paralelo o en el enrutamiento selectivo (Figuras 8 y 9).

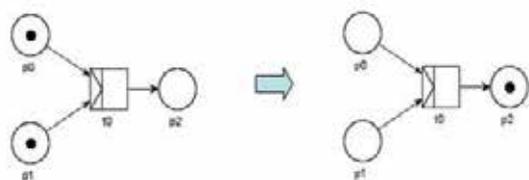


Figura 8. Atributo AND-Join en Redes de Petri

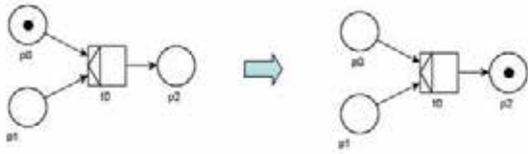


Figura 9. Atributo XOR-Join en Redes de Petri

Caso de varias pre condiciones y varias pos-condiciones: representan el modo general de los enrutamientos paralelo o condicional, donde puede expresarse el sincronismo y la concurrencia en los respectivos enrutamientos (Figuras 10, 11, 12 y 13).

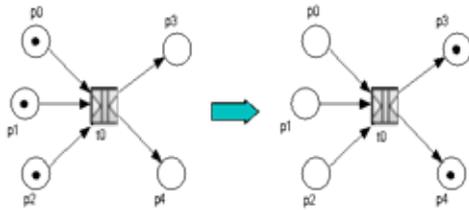


Figura 10: Atributo AND-Join-AND-Split en Redes de Petri

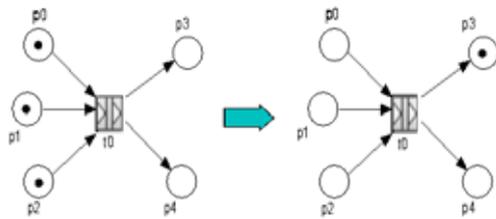


Figura 11. Atributo AND-Join-XOR-Split en Redes de Petri

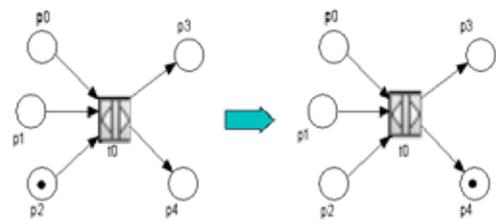


Figura 12. Atributo XOR-Join-XOR-Split en Redes de Petri

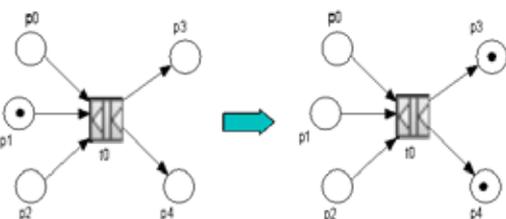


Figura 13. Atributo XOR-Join-AND-Split en Redes de Petri

6. Ejemplo de aplicación

En esta sección, se presenta el flujo de trabajo generado en una empresa de manufactura que considera como entrada la orden del cliente y como salida la cancelación de la orden o la generación de la orden de producción. El flujo de trabajo es desarrollado a través de tres secciones de la empresa: Ventas, Materiales y Producción. La

sección de Ventas se encarga de las actividades que se realiza directamente con el cliente. La sección de Materiales es la encargada de identificar los materiales requeridos en la producción. La sección de Producción tiene por funciones: la identificación de todos los recursos de planta para la producción y la planificación y la generación de la orden de producción (Figura 14).

A partir del caso planteado, se procede a identificar los procesos de negocios requeridos para identificar las actividades desarrolladas en cada sección de la empresa. La sección de Ventas desarrolla el proceso de negocios que consta de las tareas: analizar orden del cliente y autorización para redefinir orden del cliente. Ambas tareas requieren de documentos para que puedan ser ejecutadas. La sección de Materiales, en conjunto con la sección de Producción, desarrolla la tarea de la planificación de los materiales requeridos por la producción. Esta tarea es desarrollada durante un determinado intervalo de tiempo. La sección de Producción, también desarrolla la tarea de autorizar la producción requiriéndose para la ejecución de esta tarea de un documento generado por el responsable de la sección de producción.

Para generar el modelo de procesos de negocios en Redes de Petri, se utiliza el software WoPED (Workflow Petri Net Designer – <http://www.woped.org>), donde se identifican, de acuerdo con los atributos definidos para las tareas en la sección 5, cada una de los procesos de negocios a ser implementados en el flujo de trabajo del sistema de manufactura (figuras 14 y 15).

7. Conclusiones

El método propuesto facilita el análisis del proceso de producción de una empresa de manufactura moderna. Se reformulan los procesos de negocio de acuerdo con una representación gráfica que facilita la conversión directa a modelos en Redes de Petri. Este enfoque facilita el análisis de procesos de planificación de recursos, conocidos como procesos ERP (Enterprise Resource Planning). También, contribuye a la generación de un mayor conocimiento sobre las actividades desarrolladas en las diferentes secciones que conforman la empresa. Esta propuesta facilita la entrega rápida de respuestas a nivel de planta ante cambios dinámicos que ocurren en su contexto externo e interno.

La incorporación de las Redes de Petri, como un formalismo de apoyo a la descripción de la propuesta, permite una mayor participación de los especialistas posibilitando el intercambio de información en las diferentes fases del proyecto. Otro aporte de la propuesta es que, a partir de la descripción formal del sistema de manufactura se muestra la interactividad de los procesos de negocios que la componen, al incorporar concurrencia, exclusión mutua y sincronismo a dichos procesos.

La presente investigación continuará con el desarrollo de las etapas de análisis y validación para modelos formales de negocios que permitirán dar una mayor visión para el análisis de sistemas de manufactura bajo condiciones de ambientes de mercados dinámicos.

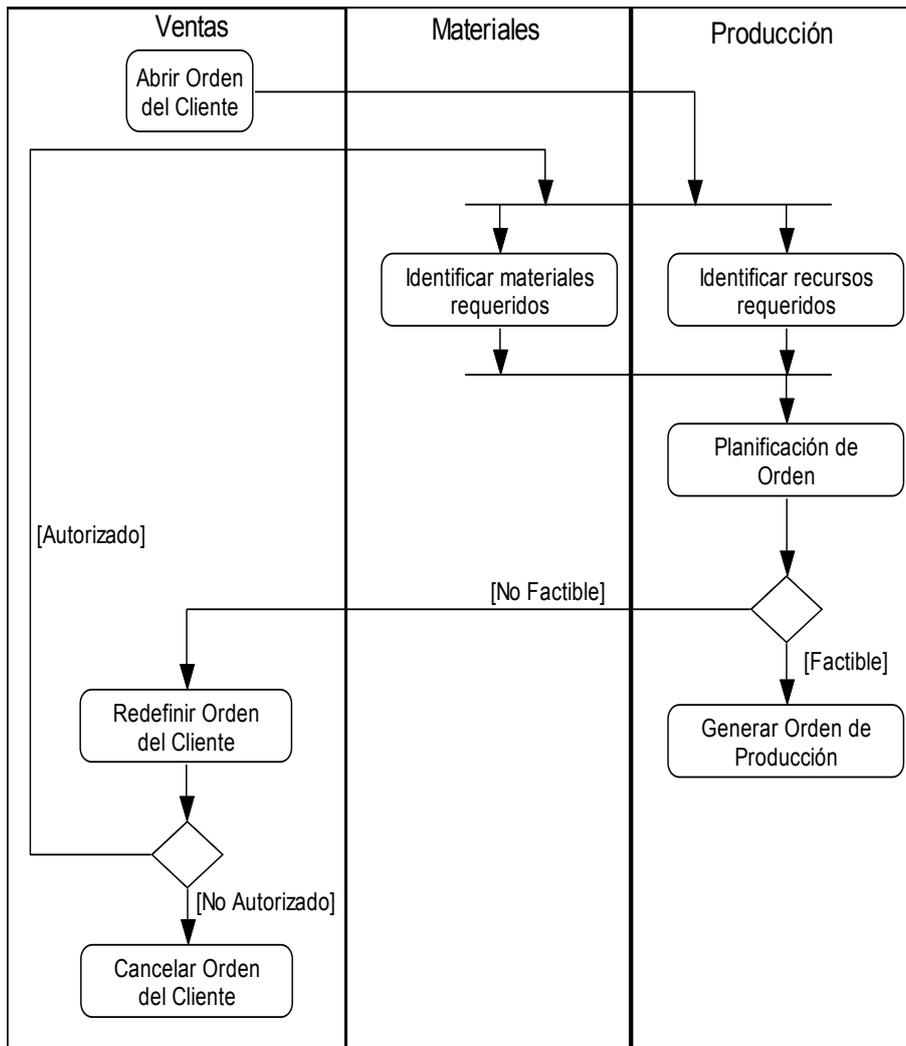


Figura 14. Flujo de trabajo para iniciar una orden de producción

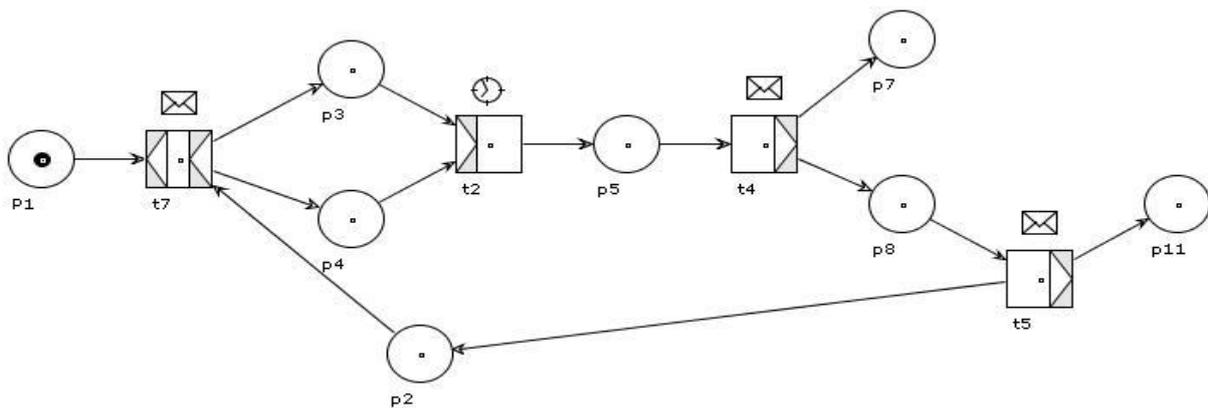


Figura 15. Modelo de Procesos de Negocios en Redes de Petri

Referencias bibliográficas

[Chebbi 2006] Chebbi, I., Dustdar S, Tata S.; “The view-based approach to dynamic inter-organizational. Workflow cooperation. In Data & Knowledge Engineering, Volume 56, Issue 2, pp. 139-173, 2006.

[Eshuis 2002] Eshuis R., Wieringa R.; “Verification Support for Workflow Design with UML Activity Graphs”. In the Proceedings of the 24th International

Conference on Software Engineering, Orlando, Florida, pp: 166-176, 2002.

[Hongchen 2004] Hongchen L., Yun Yang A., Chen T.; “Resource constraints analysis of workflow specifications”. The Journal of Systems and Software 73, pp: 271–285, 2004.

[Janssens 2000] Janssens, G. K.; Verelst, J.; Weyn, B. “Techniques for modelling workflows their support of reuse”. In: AALST, V. D. W.; DESEL, J.;

- OBERWEIS, A. *Business process management: models, techniques, and empirical studies*. Berlin: Springer-Verlag, 2000.
- [Sadig 2000] Sadiq, W., Orłowska, M.E.; “Analysing process models using graph reduction techniques”. *Information Systems*, 25 (2), 117–134, 2000.
- [Sanchez 2007] Sánchez M.; “Modelo y análisis de sistemas flexibles de manufactura en condiciones de alto rendimiento y flexibilidad”, Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Chile, 2007.
- [Tick 2006] Tick J.; “Workflow Model Representation Concepts”. In *Proceedings of 7th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence, HUCI 2006*, Budapest, Hungary, pp.329-337, ISBN 963 715454X, 2006.
- [Tick 2007] Tick J.; “Workflow Modelling Based on Process Graph”. *5th Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*, 2007.
- [Van 1998] Van Der Aalst W.; “Three Good Reasons for Using a Petri-net-based Workflow Management System”. Wakayama et al., editors. Volume 428 of *The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science*. Boston Kluwer Academic Publishers, pp.161-182, 1998.
- [Van 2002] Van Der Aalst W., Van Hee K.: “Workflow Management – Models, Methods, and Systems”. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 2002.
- [Verbeek 2002] Verbeek H., Hirschall A., Van Der Aalst W; “Supporting Inter-organizational Workflows Using XML/Petri-Net” Technology. *Proceedings of Web Services, E-Business, and the Semantic Web, WES 2002*, Toronto, Canada, pp. 93-108, 2002.