

Sistemas Flexibles de Manufactura según el Paradigma Holónico

Isaías Simón Marmolejo¹ y Luis Enrique Ramos Velasco²

¹Alumno de Doctorado en Manufactura Avanzada, Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ, sede Cd. Sahagún Hidalgo.

²Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, UAEH, Pachuca Hidalgo.

isaias.simn@uaeh.edu.mx

RESUMEN

En este artículo se describe la evolución y tendencias de los sistemas de manufactura inteligentes desarrollados según el paradigma holónico. Dicho paradigma permite modelar los sistemas de manufactura de una forma más realista, facilitando la implementación en sistemas flexibles de manufactura, escalables y robustos.

Palabras Claves: Sistemas de manufactura tradicionales, sistemas flexibles de manufactura, sistemas manufactura inteligentes, sistemas de manufactura holónicos.

1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas manufactureros no sólo pueden estar orgullosos de la satisfacción de sus clientes, sino que también tienen que prever las futuras necesidades de sus clientes y tratar de estar listo para servir cuando se experimenta la necesidad de que se trate. En la última década se observan cambios significativos en el entorno de manufactura: pasan de economías locales hacia economías globales, con necesidades de clientes pidiendo productos de mayor calidad a menores costos, altamente personalizados y con un ciclo de vida corto [1].

Es un hecho entonces que los sistemas de manufactura actuales, basados en estructuras jerárquicas de control tradicionales y rígidas, ya no pueden hacer frente a estos exigentes desafíos [2,3], por lo que el reto radica en desarrollar sistemas de control de manufactura inteligentes, rápidos, adaptables a los cambios del entorno y más robustos contra la ocurrencia de disturbios. Lo que requiere de la integración global desde las funciones de diseño de fabricación hasta el envío del producto. Es por esto que actualmente para que un sistema de manufactura sea competitivo en el mercado bajo estas consideraciones, deberá adoptar características y estrategias que impliquen

flexibilidad, calidad, adaptabilidad, rapidez de respuesta y robustez, mismas que se han convertido en la clave del éxito en muchas organizaciones [4, 5, 6].

Así bien, la configuración vinculada entre flexibilidad, modularidad y control descentralizado en los sistemas de manufactura hace que sea posible utilizar los recursos limitados con la mayor eficacia y evitar los retrasos, lo que aumenta la satisfacción del cliente [7]. En su libro *Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management* [8], mencionan que nuevos métodos de fabricación están surgiendo hacia sistemas de manufactura totalmente automatizados y no tripulados, que podría ser muy flexible, reconfigurable, reutilizable, e interoperables, así como autónomos e inteligentes (los sistemas inteligentes pueden ser considerados como una de las formas útiles de tratar con las expectativas del cliente.), y se explica en este mismo documento que las tendencias evolutivas en este aspecto todavía sigue aumentando con los Sistemas de Manufactura Holónicos (SMH). Estos sistemas se construyen utilizando algunas estructuras autónomas llamadas holónes, mismas que son capaces de trabajar bajo el control de los demás, así como independiente de los demás. Es por esta razón, que un SMH es un importante avance en el campo del control descentralizado para Sistema de Manufactura Inteligente (SMI).

Sin embargo, entender y analizar esta analogía desde el punto de vista teórico práctico requiere del entendimiento de la evolución, tendencia y terminología que comprende este nuevo paradigma para aprovechar al máximo los beneficios que contrae el concepto de manufactura holónica.

Razón por la que, el presente artículo en su sección 2 provee información de los SMI incluyendo un análisis de los cambios y progreso histórico de los sistemas de manufactura así como una breve revisión de los sistemas de manufactura tradicionales. También son revisadas tecnologías fundamenta de inteligencia artificial para establecer la base de SMI. Seguido a esto, en el apartado 3 se mencionan las características básicas de los SMH y se proporciona la arquitectura respectiva. Finalmente el documento resalta en el apartado 4 conclusiones puntuales de este nuevo paradigma.

2 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA

Esta sección, provee una revisión general de los cambios que han venido sufriendo los sistemas de manufactura tradicionales (SMT), hasta llegar a los SMI, información más detallada al respecto podrá encontrarse en [9].

Para entender los enfoques comunes de los SMI, es importante hacer una revisión de los SMT. Este tipo de sistemas recibe entradas (material, conocimiento, energía, recursos humanos, etc.) y transforma éstas internamente mediante diferentes procesos para finalmente entregar un producto terminado a la salida. Así dentro de cada proceso, se dan un conjunto de actividades con el fin de obtener un producto terminado, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Componentes de un sistema de manufactura tradicional [9].

Sin embargo, los avances en los sistemas de manufactura, no sólo está relacionada con las máquinas y la tecnología, sino que también hay otros aspectos que influyen en su desempeño como son:

- Métodos de manufactura.
- Cambios en el ambiente.
- Cambios gerenciales y
- Expectativa y requerimientos de los clientes.

Como se indica en la Figura 1, la evolución que se ha venido dándose en los procesos de manufactura influenciados principalmente por la gran cantidad de variables que interactúan, los cambios tecnológicos y los nuevos paradigmas constituyen un sistema complejo, esta complejidad hace que tales sistemas sean difíciles de controlar y predecir, por lo que la evolución ha tendido a sistemas autónomos. Actualmente, se cuenta con procesos de producción que son capaces de manejar las actividades de fabricación relacionadas con todos los aspectos de la manufactura y las cuestiones medioambientales (véase la Figura 2).

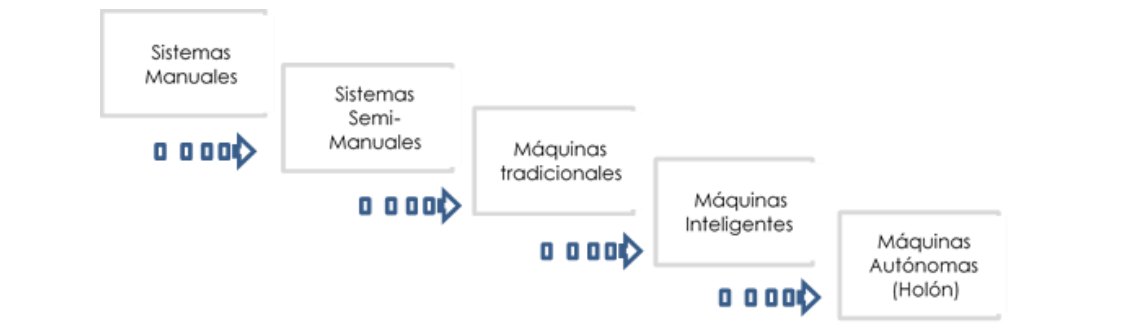


Figura 2. Evolución en los procesos de producción [9].

Los cambios en los métodos de fabricación, también son evidentes en los sistemas de manufactura. La Figura 3, señala el progreso que se ha venido dando hasta nuestros días.

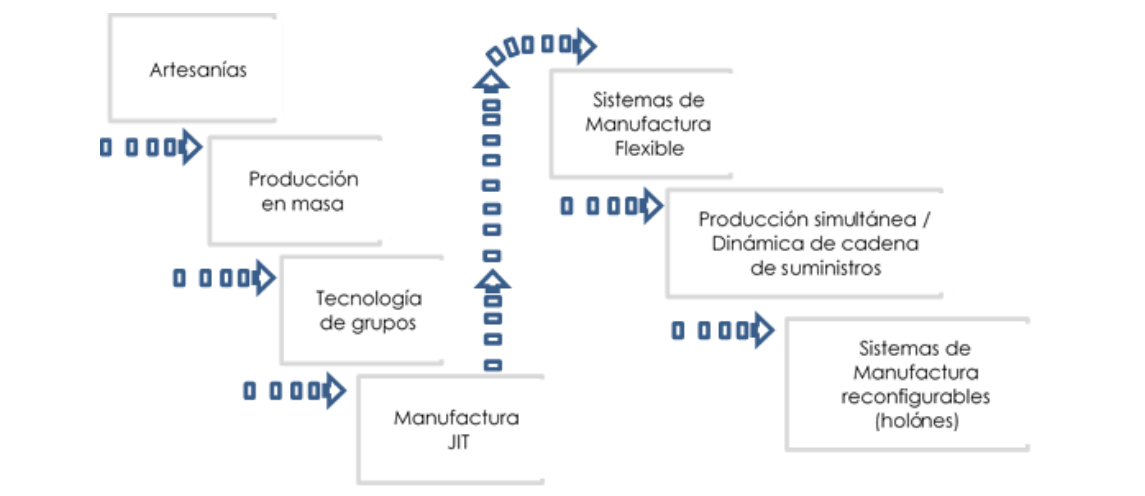


Figura 3. Evolución en los métodos de manufactura [9].

Como se puede observar, los SMI y el paradigma de SMH han recibido mucha atención en investigación e industria alrededor de todo el mundo. Investigaciones recientes buscan garantizar sistemas de control con niveles de rendimiento mínimo en el caso de circunstancias imprevistas, predecir el comportamiento de las órdenes individuales, el uso generalizado de sistemas de control en entornos industriales (uso de la información global), etc. Sin embargo, lo anterior tiene su origen en técnicas de inteligencia artificial las cuales se han utilizado en la manufactura inteligente desde hace más de veinte años [10].

2.1 Inteligencia Artificial y Sistemas Manufactura Inteligentes

Los equipos de expertos de la industria, científicos e ingenieros de las naciones industriales más importantes del mundo trabajaron juntos desde 1992 hasta 1994 para construir y probar

un marco para la colaboración internacional en SMI [10]. Los SMI son los que realizan las funciones de manufactura como si los operadores humanos estuviesen haciendo el trabajo [11], y están equipados con un nivel suficiente de inteligencia para realizar estas actividades. Sin embargo, actualmente, ningún de los sistemas inteligentes es capaz de reemplazar sus homólogos humanos. En este entendido, los SMI son aquellos que utilizan técnicas de inteligencia artificial (IA) para las actividades manufactureras, por lo que es necesario dotar a los sistemas con capacidades inteligentes a fin de lograr aprendizaje, razonamiento, toma de decisiones, etc. Para tal efecto, es posible utilizar diversas técnicas de IA con el fin de desempeñar sus funciones previstas, así los SMI pueden ser diseñados de tal manera que logren operar cuando es difícil medir los resultados, en los que son posibles cambios frecuentes en las operaciones y cuando no existan decisiones anteriores disponibles sobre el comportamiento del sistema [12].

Algunas técnicas de IA, muestran un progreso notable y se utilizan en todas las áreas que afectan a la vida humana. Las más populares son:

1. Sistemas expertos.
2. Redes neuronales artificiales.
3. Algoritmos genéticos.
4. Lógica difusa.
5. Agentes inteligentes y
6. Sistemas holónicos.

En este artículo se presenta una aplicación de la IA a los sistemas de manufactura holónicos.

3 SISTEMAS DE MANUFACTURA HOLÓNICOS

Los avances en SMI promueve el concepto de manufactura holónica el cual establece una línea base de autonomía, alta flexibilidad, agilidad, reutilizables y modulares. Es decir, estos sistemas están diseñados a través de módulos autónomos, cooperativas, inteligentes capaces de reconfigurar los sistemas de fabricación de forma automática en respuesta a los nuevos requerimientos del sistema o cambios ambientales. Estos sistemas se construyen utilizando algunas estructuras autónomas llamadas "holones", estos son capaces de trabajar bajo el control de los demás, así como independiente de los demás. Lo que significa que si una unidad de fabricación (holón) falla o no puede responder a algunos problemas; otros holones crear un redireccionamiento de las operaciones con el fin de evitar grandes

trastornos (es muy similar a la naturaleza de una colonia de hormigas o termitas). De acuerdo con estas bondades, se piensa que un SMH es un importante avance en el campo del control descentralizado para SMI [9]. Sin embargo, es importante hacer notar dos aspectos de la manufactura holónica:

- Estrategias de control en tiempo real basados en eventos y
- Procesamiento de información distribuida.

Las dos características antes descritas logran que los SMH sean capaces de alterar la configuración de las máquinas y los programas de producción de acuerdo con las necesidades inmediatas e inherentes, lo que es importante puesto que con esto se permite por ejemplo; la manipulación de averías en los equipos, reprogramación en tiempo real, etc., con lo que se logra un sistema de manufactura suficientemente ágil para hacer frente a cambios inesperados.

Los componentes de manufactura holónicos (bloque de construcción) están diseñados para reflejar el hecho de que las distintas unidades de manufactura se comporten de una manera autónoma y cooperativa. Los principios que dan sustento a los sistemas holónicos genéricos se propusieron por primera vez por [13], sin embargo hoy en día el concepto está siendo reiterado por investigadores respecto a manufactura inteligente definida cada unidad de fabricación como diferentes holónes que pueden utilizar distintos tipos de conocimiento.

Los investigadores [14], identificaron la arquitectura básica de un holón como se muestra en la Figura 4 y destacaron las propiedades clave de un SMH como sigue:

- Autonomía
- Cooperación
- Auto-organización, y
- Reconfigurabilidad

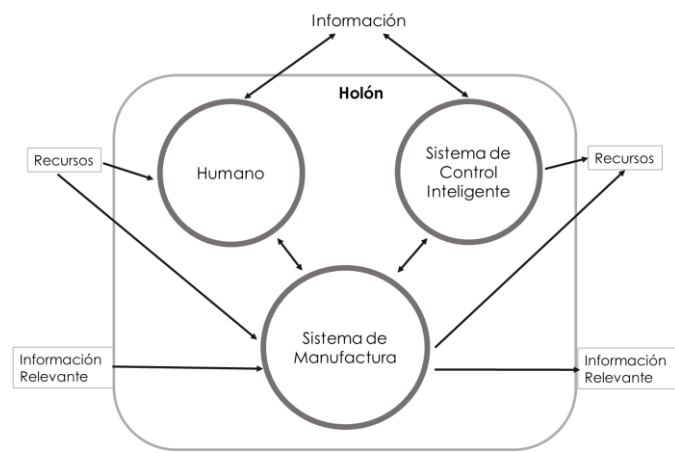


Figura 4. Arquitectura básica de un holón [14].

En un SMH hay dos tipos de holónes principales, estos son:

Holónes recursos, pueden proporcionar todos los recursos genéricos en el SMH. Cada uno de estos holónes recursos es una entidad que realiza una acción sobre un elemento. Estos pueden ser; máquinas de pintura, vehículos guiados automáticamente (AGV), estaciones de inspección con cámaras de vídeo y software de inteligencia artificial para reconocer cualquier defecto en los artículos, etc.

Holónes *productos*, representan requerimientos en las operaciones, como la producción, el montaje y así sucesivamente, estos holónes también proporcionan conocimientos respecto a la manera en que serán alcanzados los objetivos de producción, pueden proporcionar asesoramiento experto, y también puede actuar como un servidor de información para difundir el conocimiento entre los holónes. Cada uno se puede reutilizar en el ámbito de aplicación de diferentes operaciones y de manera individual podría negociar con diferentes holónes recursos a fin de asegurar los servicios deseados. En otras palabras, cada holón producto es una entidad activa responsable de realizar el trabajo de gestión de manufactura correctamente y en tiempo, mientras que capturan de forma explícita todo el procesamiento de la información necesario para un trabajo específico.

Un conjunto de holónes establecen un holarquía, la cual actúa como un sistema de holónes que pueden cooperar para lograr un determinado objetivo de fabricación específico [15], indicaron la estructura básica de un SMH como se muestra en la Figura 5.

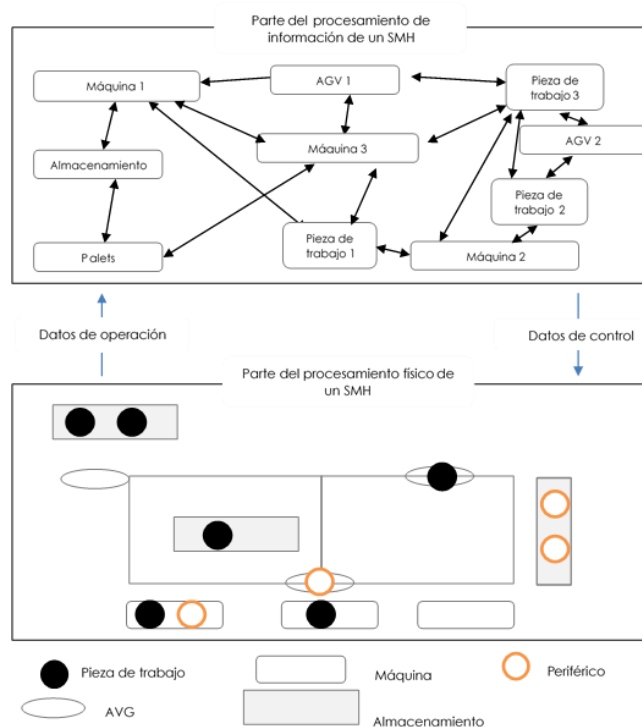


Figura 5. Estructura básica de un SMH [15].

Como se indica en la Figura 5, el sistema se divide básicamente en la parte de procesamiento físico y la parte de procesamiento de la información, ambas constituyen un conjunto de componentes holónicos (holarquía). La parte de procesamiento físico transforma la materia prima en productos terminados a través de las actividades autónomas y cooperativas de los componentes holónicos. Los datos requeridos en los procesos físicos se generan y determinan en la sección de procesamiento de la información, que también se compone de un conjunto de componentes holónicos. Del mismo modo [15], demostraron la holarquía de un SMH como se ilustra en la Figura 6.

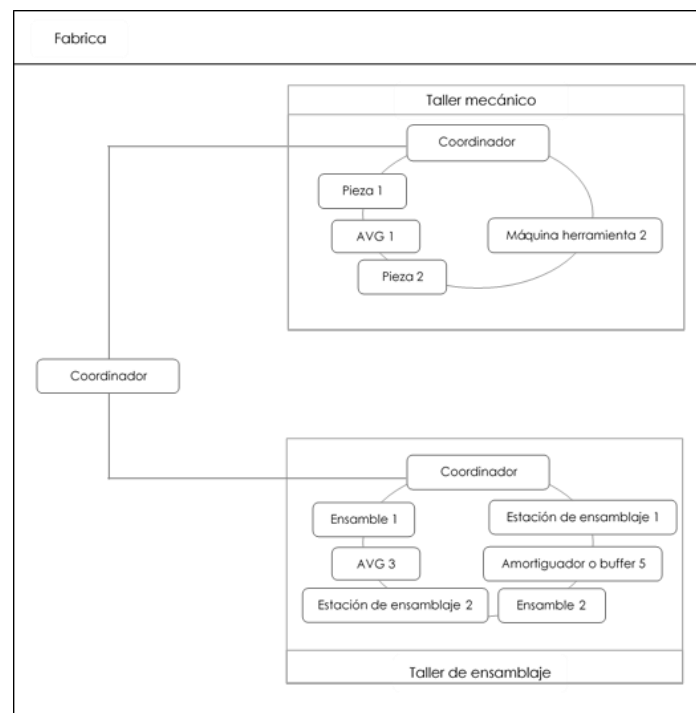


Figura 6. Holarquía de un SMH [15].

La figura anterior, muestra un ejemplo de holarquía dentro de un SMH constituido por un taller mecánico y un taller de ensamble. Individualmente, cada taller incluye componentes holónicos tales como; máquinas herramienta, estaciones de ensamble, piezas, AVG's, buffers y ensamblajes, dentro de la holarquía, las decisiones a nivel local, como la programación de operaciones del taller, se realizan a través de las decisiones autónomas de los componentes holónicos y su cooperación, y los coordinadores limitan y/o gobiernan mediante los coordinadores taller las actividades autónomas de componentes holónicos individuales. Información más detallada referente a SMH se puede encontrar en [16].

Es así, como la aplicación de los conceptos holónicas a la fabricación fue motivada inicialmente por la incapacidad de los SMT para hacer frente a la evolución de los productos dentro de instalaciones de manufactura existentes y para mantener los niveles de rendimiento satisfactorios fuera de las condiciones de funcionamiento normales, y dado que el concepto de SMH combina las mejores características de la organización jerárquica y heterárquica, se conserva la estabilidad de jerarquía mientras que se proporciona la flexibilidad dinámica de heterarquía necesaria para operar un sistema de manufactura de la mejor manera posible [10].

4 CONCLUSION Y TRABAJOS FUTUROS

En este artículo se describen los antecedentes de los SMH iniciando el análisis desde el origen de un SMT hasta la descripción de los SFM y SMI. Los SMT son difíciles de controlar y predecir debido a razones operativas y estructurales, por otro lado los SMI han venido evolucionando rápidamente y se desarrollan en plazos de tiempo muy cortos, con lo que se hace evidente que los SMI serán dominantes en los sistemas de manufactura mediante la aplicación del paradigma holónico. Por tanto, se puede concluir que la tecnología de los SMH es un campo de investigación activo, que permite incluir diferentes áreas del conocimiento para su implementación en aplicaciones reales.

Dentro de los trabajos de investigación por desarrollar son: modelado, análisis, diseño e implementación de los SMH en los SFM.

REFERENCIAS

- [1] LEITAO, Paulo; RESTIVO, Francisco. "ADACOR: a holonic architecture for agile and adaptive manufacturing control". *Computers in Industry*. 2006, vol. 57, núm. 2, p. 121-130.
- [2] NAGEL, Roger; DOVE, Rick; GOLDMAN, Steven.; PREISS, Kenneth.; I. I. OF LEHIGH UNIVERSITY; U. STATES; D. OF DEFENSE; O. OF MANAGING TECHNOLOGY. 21st century manufacturing enterprise strategy. Lacocca Institute. Lehigh University. Bethlehem, PA. 1991, vol. 1. 58 p. ISBN 0-9624866-3-9
- [3] N. R. C. (U.S.). Visionary manufacturing challenges for 2020. National Academy Press, Washington, DC. 1998. 172 p. ISBN 0-309-06182-2

- [4] ARAÚZOA, J. A.; MARTINEZ, R.; LAVIÓS, J. J.; MARTÍNA, J.J.B. "Programación y control de sistemas de fabricación flexibles: un enfoque holónico". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*. 2015, vol. 12, p. 58-68.
- [5] NAHMIAS, Steven. *Production and Operations Analysis*. 6th Revised edition. London: McGraw Hill Higher Education. 2013. 736 p. ISBN 0077159004
- [6] ROSENZWEIG, Even; EASTON, George. "Tradeoffs in manufacturing? a meta analysis and critique of the literature". *Production and Operations Management*. 2013, vol. 19, núm. 2, p. 127-141.
- [7] CANTAMESSA, Marco. "Agent-based modelling and management of manufacturing systems". *Computer In Industry*. 1997, vol. 34, p. 173-186.
- [8] BENYOUCEF, Lyes; GRABOT, Bernard. "Artificial intelligence techniques for networked manufacturing enterprises management". *Springer Series in Advanced Manufacturing*. Cardiff, United Kingdom. 2010, ed. 1, p. 1-44.
- [9] OZTEMEL, E. "Intelligent manufacturing systems". Editors Benyoucef L., Grabot B. *Springer Series in Advanced Manufacturing*. 2010, p. 1-41.
- [10] BOTTI, Vicent; GIRET Adriana; "A multi-agent methodology for holonic manufacturing systems". *Holonic Manufacturing Systems, Hardcover, XVI*. 2008, Chapter 2, p. 7-20.
- [11] KUSIAK, Andrew. "Computational intelligence in design and manufacturing". *John Wiley and Sons*. 2000. 560 p. ISBN: 978-0-471-34879-5
- [12] RZEVSKI, George. "A framework for designing intelligent manufacturing systems". *Computer In Industry*. 1997, vol. 34, num. 2, p. 211-219.
- [13] KOESTLER, Arthur. "The ghost in the machine". *Arkana*. 1967. 384 p. ISBN 9780140191929.
- [14] BUSSMANN, Stefan; MCFARLANE, Duncan. "Rationales for holonic manufacturing control". In: *Brussel Hvan and Valckenaers P (Eds.)*. Proceedings of the 2nd International Workshop on Intelligent Manufacturing Systems. 1999, p. 177-184.
- [15] SUGIMURA, Nobuhiro; TANIMIZU, Yoshitaka; AE, Sotoshi. "A study on object oriented modelling of holonic manufacturing system". In: *Proceedings of the 29th CIPR International Seminar on Manufacturing Systems*. 1997, p.13-14.
- [16] JARVIS, Jacqueline; JARVIS, Dennis; RONNQUIST, Ralph. et al. "Holonic execution: A BDI approach". *Springer- Verlag, Berlin Heidelberg*. 2008, ISBN 978-3-540-77478-5.