

C15

INGENIERÍA DEL CICLO DE VIDA DE PRODUCTOS Y PROCESOS INDUSTRIALES BAJO LA SIMPLEJIDAD EN INDUSTRIA 4.0

de la Peña Herrador, Blanca; Aguayo González, Francisco; Ávila, María Jesús. Sistemas Inteligentes y Desarrollo de Productos. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

Doctorado-2018

RESUMEN

En un mundo en el que las necesidades de los consumidores son satisfechas con una variedad de productos cada vez mayor y con productos cada vez más complejos, los procesos de fabricación para proporcionar estas características lo son también. Muchos han sido los que han estudiado como crear modelos para reducir el nivel de complejidad eliminando elementos en los planos físico o de percepción. Estos modelos reduccionistas son vistos desde dos perspectivas, la que considera que esta simplificación es necesaria para crear sistemas más robustos, otros piensan que esta complejidad es necesaria la creación de modelos cada vez más innovadores. [1]

Si partimos desde que la complejidad emerge desde tres dominios: el del producto en sí mismo, el de su sistema de fabricación y desde el mercado de negocio [2]. Y añadimos el concepto del “triple bottom line” [3] tendremos que utilizar controladores que nos permitan analizar las interdependencias en una perspectiva del ciclo de vida. Estos controladores podremos monitorizarlos utilizando distintas herramientas de la Industria 4.0 como las PDM (Product Data Management, PLM (Product Life Management), ERP (Enterprise Resource Planning) y CRM (Customer Relation Manager).

Palabras clave: *complejidad, fabricación, producto, ciclo de vida, Industria 4.0.*

ABSTRACT

Nowadays, the needs of the customers are satisfied through an increase of the number of products and with high-tech products. This leads to more complex manufacturing processes in order to provide these required characteristics. Many have attempt to invent new models or systems that tries to reduce the complexity level removing real and/or perceived elements of complexity. Usually, these models are seen from two perspectives; one considers this reduction is necessary to create more robust systems. And the other believes complexity is a way to generate innovative models and products. [1]

If we consider the complexity emerges from three domains: product, manufacturing system and business organization [2]. And we add the concept of triple bottom line [3], we will be push to use controllers that allow us to analyze the interdependences in life cycle perspective. These controllers will be traced using one or more Industry 4.0. tools: PDM (Product Data Management, PLM (Product Life Management), ERP (Enterprise Resource Planning) and CRM (Customer Relation Manager).

Keywords: *complexity, manufacturing, product, life cycle, Industry 4.0*

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Todos parecemos tener una idea intuitiva de lo que significa “complejidad” lo que genera distintos enfoques del estudio de la misma. Esto normalmente genera confusión entre lo que sería “complejo” (complexity) y “complicado” (complicatedness). Hay veces que se utilizan para denominar lo mismo, pero debemos distinguir entre ambos.

Un sistema complicado es uno que no es simple pero que es conocido, por ejemplo, un coche. Un sistema complejo es aquel en el que hay algún grado de incertidumbre. Un ejemplo de esto sería el proceso de desarrollo y fabricación del avión ya que requiere de los conocimientos de diferentes disciplinas y, por tanto, de un trabajo colaborativo de un equipo de expertos en cada una de ellas. Esto provoca que la salida de este proceso de diseño, desarrollo y fabricación tenga al menos un pequeño porcentaje de incertidumbre.

A partir de ahora definiremos complejidad como:

“La complejidad es una medida de la incertidumbre para entender que queremos saber u obtener a través de un requisito funcional”. [4].

En los sistemas de ingeniería del diseño un “requisito funcional” es una función que ha de ser proporcionada al sistema diseñado. Por ejemplo, si hablamos de un corazón su requisito funcional será bombear la sangre. Los requisitos funcionales siempre son especificados a través de un valor nominal y una tolerancia de acuerdo a la precisión deseada. Los requisitos funcionales son satisfechos utilizando “parámetros de diseño” o parámetros físicos. Con esto concluimos, que los requisitos funcionales es lo que queremos alcanzar y los parámetros de diseño son cómo vamos a obtenerlo.

Por lo tanto, cuando tratamos de cumplir un requisito funcional, existe una incertidumbre, complejidad, de realizarlo dentro de la tolerancia o precisión especificada. El “rango de diseño” es el rango especificado para el requisito funcional y el “rango del sistema” es la función de densidad de probabilidad de que proporciona el sistema elegido para cumplir con ese requisito funcional. Solo cuando el rango del sistema y el rango de diseño se solapan se puede completar un requisito funcional, pero cabe la posibilidad de una incertidumbre de no cumplimiento. Ver figura 1.

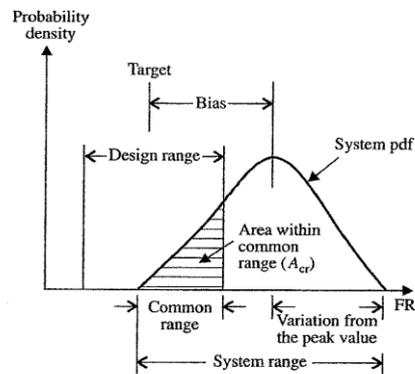


Figura 1: Función de densidad de probabilidad de un requisito funcional. Fuente [4].

1. Introducción a los tipos de complejidad

Los ámbitos de la complejidad pueden clasificarse de una manera simplificada como pieza, producto, sistema, sistema de sistemas (por ejemplo, modelo de negocio). Y de una forma más transversal la complejidad puede ser clasificada en dos dominios. El dominio físico y el dominio funcional. [4]

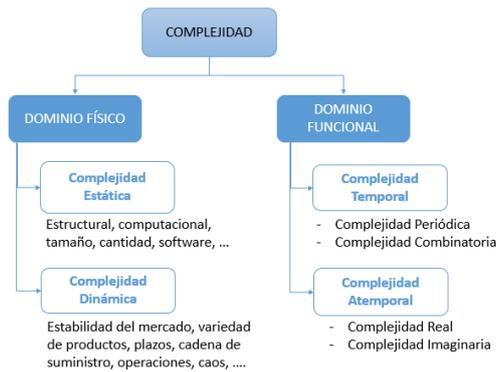


Figura 2: Tipología de complejidad según Suh.

La complejidad en el dominio físico ha de ser definida para ser usada como medida del grado de incertidumbre de la realización de las tareas necesarias para satisfacer los requisitos funcionales.

En el dominio funcional encontramos cuatro tipos distintos de complejidad:

- Complejidad atemporal real: Es la debida a que las tolerancias de fabricación respecto a los requisitos funcionales son superiores y, por lo tanto, existe un grado de incertidumbre de poder satisfacer los requisitos.
- Complejidad atemporal imaginaria: Cuando los requisitos funcionales han de ser satisfechos en un orden concreto o los requisitos están enlazados de tal forma que la variación de uno supone un reajuste de otro, se produce la complejidad atemporal imaginaria debido a una falta de entendimiento de sistema de diseño, de la arquitectura del sistema y/o del comportamiento del sistema. Cuando los requisitos funcionales son totalmente independientes la complejidad atemporal imaginaria es cero.
- Complejidad temporal combinatoria: se refiere cuando el rango del sistema cambia en función del tiempo. Si el rango del sistema se desplaza del rango del diseño con el tiempo, la efectividad del sistema no puede ser predicha con certeza.
- Complejidad periódica: El rango de sistema cambian en función del tiempo, pero los periodos definidos por una interrupción que permite resetear de nuevo el sistema a un esta inicial sin complejidad.

Las posibles acciones según esta teoría para reducir la complejidad podrían resumirse en:

- Minimizar el número de interdependencias.
- Eliminar la complejidad atemporal real e imaginaria.
- Transformar un sistema con complejidad temporal combinatoria en un sistema con complejidad temporal periódica.

2. Gestión de la complejidad enfocada al ciclo de vida

Los productos y procesos operan en un entorno de dimensiones caóticas al que han de adaptarse constantemente (cambios tecnológicos, de mercado, socioeconómicos, legales, etc); ello determina que para poder operar de forma exitosa en su ciclo de vida, deben dotarse de la variedad requerida (límite de complejidad) y de los mecanismos necesarios para su gestión, de forma que puedan adaptarse a los nuevos requisitos del entorno, modulando su variedad en sintonía con las demandas del entorno.

Existe un potencial para la innovación de productos y procesos derivada de la gestión de la complejidad. Muchas son las herramientas que nos pueden ayudar a la minimización de la complejidad para dar solución en todos los niveles de la organización. Entre las distintas herramientas y metodologías encontramos la plataforma de productos y el paradigma de la SIMPLEJIDAD.

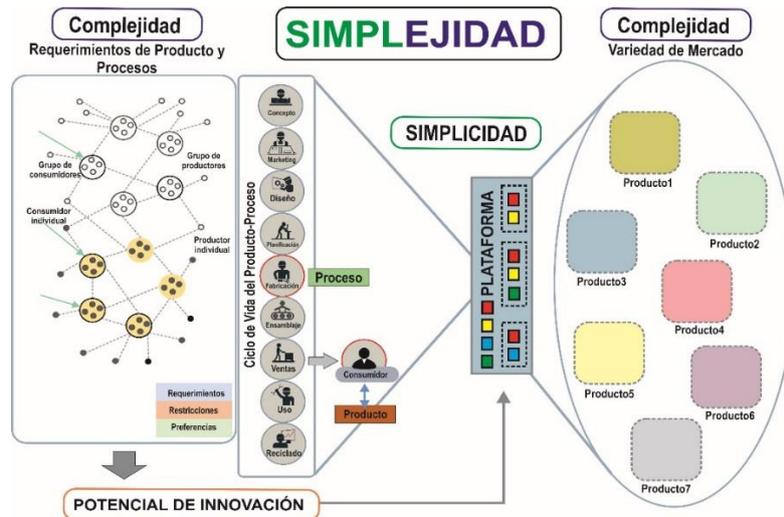


Figura 3: Simplejidad mediante diseño modular.

La simplejidad es una teoría acuñada por Alain Berthoz [5] y popularizada por Jeffrey Kluger [6], periodista científico en el Time Magazine. Dicho concepto reúne: la Simplicidad y la Complejidad, y se utiliza en la sistémica, matemáticas y diseño entre otros.

Una vez hemos comprendido que es la complejidad y como pretendemos reducirla mediante la teoría de la simplejidad, deberemos buscar controladores que nos permitan evaluar y medir la misma. Para ello habrán de ser seleccionados los ámbitos más relevantes para las organizaciones. Según [7] los tres más mencionados por la literatura al respecto fueron: producto, cliente y proceso. Dentro de estos ámbitos podremos encontrar los controladores de la complejidad. Estos controladores estarán interrelacionados entre sí de forma interna y con el entorno, externa.

En términos de la dinámica de la planificación del ciclo de vida, es fundamental encontrar estas interdependencias y sus grupos (clusters) para poder determinar cuál el orden adecuado a actuar en función del ciclo de vida del sistema//producto.

Estudiaremos estos clusters, pudiendo ser de plataforma o de derivación, y habremos de establecer un plan de acción, acciones para minimizar la complejidad, que nos permitan modelos organizativos basados en el triple bottom line. [8]



Figura 4: Ciclo de vida en la industria 4.0.

3. Modelo del triple bottom line

Cualquier acción que realicen las organizaciones empresariales para mejorar, debe considerar los requisitos que impone el entorno a su organización. El objetivo que tienen las Arquitecturas de Referencia Integradas es la integración interna (como un todo) y externa (como parte del entorno). De las distintas

formas de conceptualizar y representar la sostenibilidad, la que ha adquirido el mayor nivel de consenso y operatividad es la triple E (triple bottom line).



Figura 5: Triple bottom line.

La perspectiva precedente de sostenibilidad de la empresa y de los sistemas de fabricación en su concepción, comporta una evaluación multidimensional de sus resultados, tomando como base no solo la vertiente económica sino contemplando la evaluación del rendimiento de la misma a través de la “triple bottom line”, o triple cuenta de resultados como se conoce en español, integrando personas (people), planeta (planet) y beneficios (profit).

METODOLOGÍA

Para el estudio de la complejidad a través de la aplicación de la teoría de la simplicidad utilizaremos el paradigma holónico. Los sistemas de fabricación holónicos simbolizan un sistema de producción con una arquitectura holárquica dirigida a obtener sistemas de fabricación flexibles y reconfigurables. La primera vez que se propuso el concepto de arquitectura holónica lo hizo Christensen en 1994 [9].

Los estudios holónicos constituyen un avance en la intención de contar con visiones de mayor alcance, holísticas e integradoras que expliquen e integren la realidad humana con la realidad organizacional y de esta con el medio ambiente en un paradigma más acorde y sostenible con los tiempos que vivimos. [10].

El término “holón” fue acuñado por el escritor y filósofo Arthur Koestler para referirse a una unidad organizacional básica en sistemas físicos, psicológicos, biológicos y sociales tras un análisis sincrónico y diacrónico de la arquitectura de la complejidad en entidades bio-psicosociales y culturales.[11].

El consorcio de sistemas de fabricación holónicos define las siguientes terminologías para describir estos sistemas [12]:

- Holón: unidad autónoma y cooperativa de un sistema de fabricación enfocado a la transformación, transporte, almacenaje y/o validación de objetos o información.
- Autonomía: capacidad de la unidad de controlar la ejecución de un proceso propio.
- Cooperación: posibilidad de tomar decisiones de coordinadas.
- Holarquía: mezcla de heterarquía y jerarquía. Un holón puede componerse de otros holones y, por lo tanto, construir una jerarquía interna.

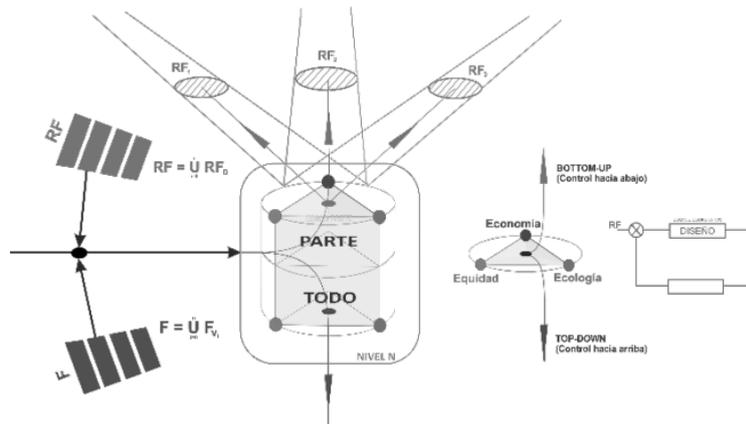


Figura 6: El holón como entidad regulada por los dominios de colaboración y como regulador de los dominios de las holarquías de los dominios de cooperación. Fuente [10].

El concepto de holón ha sido ampliamente utilizado como recurso de modelado en sistemas inteligentes de fabricación y particularmente, en sistemas de fabricación multiagentes inteligentes [13]. En el contexto industrial, la palabra “holónica” se refiere a las relaciones y propiedades que se dan entre los holones que forman un sistema, la forma en que se manifiestan reciben el nombre de holonomía. Dos de estas propiedades son la autonomía y la cooperación. Cada holón es autónomo en sus decisiones y coopera con otros para alcanzar los objetivos de la totalidad de la cual forma parte [10].

CONCLUSIONES

En la actualidad el manejo de la complejidad a lo largo del ciclo de vida de los productos y procesos es absolutamente indispensable para poder operar en un marco triple bottom line. Los aspectos económicos son considerados, pero también y en el mismo grado de importancia, los aspectos medioambientales y sociales.

La introducción de la teoría de la simplejidad nos acerca a este objetivo y para su aplicación este artículo plantea el estudio de la complejidad a través del paradigma holónico. Ya que cada holón es una unidad organizacional autónoma que ejecuta aquellos procesos para los cuales es más competente, tienen la capacidad de crear, ejecutar sus propios planes y definir estrategias y actividades para realizar los procesos que le corresponden. Los holones cooperan entre sí a fin de que se ejecuten todos los procesos que son necesarios para producir los productos y/o prestar los servicios que le han sido encomendados. [10]

Necesitamos con la complejidad creada por los procesos productivos, los productos y las necesidades del mercado crear un sistema “simplejo” basado en las plataformas de productos y facilitado por las herramientas de la Industria 4.0. Esto nos permitirá generar variedad en el portfolio y por tanto satisfacer la demanda del mercado actual.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] VAN EIJNATTEN, F. M., G. D. PUTNIK a A. SLUGA. Chaordic Systems Thinking for Novelty in Contemporary Manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* [online]. 2007, **56**(1), 447–450. ISSN 00078506. Dostupné z: doi:10.1016/j.cirp.2007.05.107
- [2] ELMARAGHY, Waguih, Hoda ELMARAGHY, Tetsuo TOMIYAMA a Laszlo MONOSTORI. Complexity in engineering design and manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* [online]. 2012, **61**(2), 793–814. ISSN 00078506. Dostupné z: doi:10.1016/j.cirp.2012.05.001
- [3] ELKINGTON, John. Enter the Triple Bottom Line. *The Triple Bottom Line: Does it all Add Up?* [online]. 2001, **1**(1986), 1–16. ISSN 15306984. Dostupné z: doi:10.1021/nl034968f
- [4] SUH, Nam P. Complexity in Engineering. *CIRP Annals Manufacturing Technology* [online]. 2005, **54**(2), 46–63. ISSN 00078506. Dostupné z: doi:10.1016/S0007-8506(07)60019-5
- [5] BERTHOZ, Alain. *La Simplexité*. B.m.: ODILE JACOB PUBLIE, 2009.
- [6] KLUGER, Jeffrey. *Simplexity: why simple things become complex (and how complex things can be made simple)*. B.m.: Hyperion Books, 2008. ISBN 1401303013.
- [7] VELTE, Christoph J, Anja WILFAHRT, Robert MÜLLER a Rolf STEINHILPER. Complexity in a Life Cycle Perspective. In: *The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering*. 2017.
- [8] SLAPER, Timothy a Tanya HALL. The Triple Bottom Line : What Is It and How Does It Work? *Indiana Business Review* [online]. 2011, 4–8. ISSN 00196541. Dostupné z: <http://www.ibrc.indiana.edu/ibr/2011/spring/article2.html>
- [9] CHRISTENSEN, James. Holonic Manufacturing Systems: Initial Architecture and Standards Directions. *Holonic Manufacturing Systems*. 1994, (March), 1–20.
- [10] ÁVILA-GUTIÉRREZ, María Jesús, Francisco AGUAYO-GONZÁLEZ, Mariano MARCOS-BÁRCENA, Juan Ramón LAMA-RUIZ, & MARÍA a Estela PERALTA-ÁLVAREZ. Reference holonic architecture for sustainable manufacturing enterprises distributed. *DYNA* [online]. 2017, **84**, 160–168. ISSN 00127353 (ISSN). Dostupné z: doi:10.15446/dyna.v84n200.53095
- [11] KOESTLER, Arthur. *The Act of Creation* [online]. 1989. ISBN 0140191917. Dostupné z: doi:10.1097/00005053-196505000-00009
- [12] VAN BRUSSEL, Hendrik, Jo WYNS, Paul VALCKENAERS, Luc BONGAERTS a Patrick PEETERS. Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA. *Computers in Industry* [online]. 1998, **37**(3), 255–274. ISSN 01663615. Dostupné z: doi:10.1016/S0166-3615(98)00102-X
- [13] ULIERU, M, D STEFANOIU, D NORRIE, J WANG a A KUSSIAK. Holonic self-organization of multi-agent systems by fuzzy modeling with application to intelligent manufacturing. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* [online]. 2000, s. 1661–1666. ISSN 08843627. Dostupné z: doi:10.1109/ICSMC.2000.886346