

El Pensamiento Complejo para la Ingeniería de Requisitos

Complex Thought for Requirements Engineering

Edgar Serna M.

*El conocimiento del conocimiento*¹

Resumen

Los adelantos tecnológicos y la explosión digital de las últimas décadas afianzaron al software como un desarrollo tecnológico de uso obligatorio, por lo que hoy no es posible concebir una actividad humana en la que no esté involucrado, definiendo esta sociedad como Software-Dependiente. A pesar de todo, este producto todavía presenta falencias y no es totalmente satisfactorio para clientes y usuarios. Por eso es necesario y buscar formas de mejorar su calidad, involucrando conceptos y teorías diversas que, como herramientas, aporten desde la Ingeniería de Requisitos para el alcanzar este objetivo. En este artículo se presenta un análisis a la Transdisciplina y la Multidimensionalidad como principios que, si se involucran adecuadamente en el desarrollo de software, podrían colaborar para alcanzar la meta que esta comunidad se trazó desde los años 60: *entregar software confiable, seguro y de alta calidad*.

Palabras clave

Ingeniería de Requisitos; Transdisciplina; Multidimensionalidad.

Abstract

Technological advances and the digital explosion in recent decades make the software as a product of mandatory use, and today it is not possible to conceive a human activity in which it is not involved, defining this society is defined as Software-Dependent. Despite this, the product still presents shortcomings and are not entirely satisfactory for customers and users. Therefore, it is necessary to look for ways to improve the quality of this technological development, involving new concepts, as tools, provide from Requirements Engineering for achieving this goal. This article analyzes Transdisciplinary and Multidimensionality principles that, if are appropriately involved in software development, could collaborate to achieve the goal that the community was drawn from the 60: *deliver reliable software, safe and high quality*.

Keywords

Requirements Engineering; Transdisciplinary; Multidimensionality.

¹ Ph.D. en Pensamiento Complejo. Intereses de investigación: Pensamiento Complejo, Gestión del Conocimiento y Ciencias Computacionales. Afiliación: Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Corporación Universitaria Remington. Contacto: edgar.serna@uniremington.edu.co. Medellín, Antioquia.

1. Introducción

Se podría decir que somos una sociedad Software-Dependiente porque la mayoría de nuestras actividades y relaciones están condicionadas por, o dependen de, este desarrollo tecnológico. Pero, de acuerdo con los organismos encargados de su control, tales como IEEE, ACM y los mismos usuarios, los procedimientos con los que se produce todavía no han superado la llamada *crisis del software* de los años 60 y se entrega con deficiencias en calidad, seguridad y fiabilidad. Esto genera problemas en las organizaciones y en la misma sociedad, porque las decisiones comerciales, de inversión y los procedimientos en salud, por ejemplo, no siempre ofrecen los resultados esperados y, en muchas ocasiones, resultan en pérdidas económicas o de vidas humanas. Por otro lado, los problemas de esta sociedad que se pueden solucionar con productos software, han incrementado su complejidad, debido a que presentan una alta interacción entre diferentes disciplinas y áreas del conocimiento y a que las fuentes de los requisitos son multidimensionales.

Para colaborar en la búsqueda de una solución a este problema, en este trabajo se presenta un análisis a la Transdisciplina y la Multidimensionalidad de forma que, si se involucran adecuadamente en la Ingeniería de Requisitos, podrían colaborar a alcanzar la meta propuesta. La hipótesis es que si se integran en esta fase del ciclo de vida sería posible mejorar la fiabilidad del software, porque se incrementaría la comprensión del problema y se estructurarían soluciones más cercanas a las necesidades de clientes y usuarios.

De acuerdo con los investigadores consultados en la literatura, los métodos y las metodologías actuales no responden a esta necesidad. En parte, porque siguen aplicando una visión dimensional, si acaso multidisciplinar, para gestionar la Ingeniería de Requisitos, un proceso que no responde a las exigencias de los problemas de este siglo. Esta primera fase del ciclo de vida del producto constituye la base sobre la que se realiza el diseño, el desarrollo, la arquitectura y la implementación del software, lo que la convierte en la más importante del proceso. Al innovar la forma en que se gestiona, los ingenieros podrían construir escenarios y modelar propuestas que representen con fiabilidad el funcionamiento del futuro sistema, a la vez que modelar soluciones que se acerquen a un contexto de salida seguro.

Desde hace varias décadas, los investigadores iniciaron procesos para aportar a este propósito y en estos momentos sus resultados se pueden aprovechar de mejor forma. La conclusión general es que gran parte de la información que se necesita en la Ingeniería de Requisitos está incrustada en los mundos sociales de las partes interesadas, y se debe extraer mediante interacción entre personas, por ejemplo, a través de la observación, entrevistas y cuestionarios en lenguaje natural. Por su origen, esta información tiende a ser informal y dependiente del

contexto social para su interpretación. Por otro lado, muchas representaciones, que aparecen en la construcción y el uso de los sistemas informáticos, son formales y definen las reglas sintácticas y semánticas para el funcionamiento de los sistemas, por lo que su interpretación es relativamente independiente del contexto social. Por eso es que las representaciones formales e informales de la Ingeniería de Requisitos son cruciales para el éxito de los proyectos (Goguen, 1992), pero se requiere una manera diferente de abordarlas.

2. Pensamiento Complejo e Ingeniería de Requisitos

Desde hace mucho tiempo, el papel crítico principal de la ciencia ha sido desafiar las concepciones arraigadas de la razón humana e introducir nuevos métodos de investigación para comprender la naturaleza de las cosas (Serna y Serna, 2013). Una vez más, y con mayor necesidad que nunca antes, los científicos, pensadores críticos e ingenieros que estructuran e introducen nuevos conceptos en el ámbito científico de este siglo, tienen a su alcance el material y los principios para iniciar procesos revolucionarios. La *Transdisciplina* y la *Multidimensionalidad* producirán una nueva generación de análisis intelectual, físico y de herramientas y técnicas de síntesis que llevarán a la ciencia hacia nuevos horizontes (Serna, 2015). Estas herramientas y técnicas serán la forma en que la ciencia, la ingeniería y la gestión del conocimiento se fundan en una entidad transdisciplinar unificada al servicio de la humanidad. El desarrollo de las Ciencias Computacionales y la nueva Era Digital están ayudando a marcar ese comienzo. El Pensamiento Complejo y sus herramientas están facilitando la introducción de las gotas que le faltan a la copa de conocimientos para que se derrame pronto y que, una vez más, cambie permanentemente nuestra forma de pensar sobre la naturaleza, el hombre y la ciencia. Desde un punto de vista pragmático, se necesitan estudios sistemáticos de los procesos científicos para mantener un control intelectual sobre la expansión de la información y la gestión del conocimiento. Además, el estudio sistemático de los procesos ingenieriles permitirá superar las deficiencias de las bases y de los métodos de la ingeniería tradicional clásica cartesiano-mecanicista, facilitando la integración entre disciplinas.

2.1 Transdisciplina

En este siglo, los ingenieros integran sistemas para desarrollar artefactos y servicios funcionales, teniendo en cuenta aspectos económicos, ambientales y éticos de la conciencia humana, por lo que requieren un carácter transdisciplinar de diseño y utilización de procesos que, para el caso del software, resultaría valioso para mejorar su calidad general, productividad, fiabilidad y seguridad (Tanik y Ertas, 1997).

Un área de estudio particular se puede llamar disciplina, siempre que haya unificado sus herramientas, técnicas y métodos y que posea una terminología bien desarrollada. Las disciplinas se desarrollaron tradicionalmente en conchas independientes, donde tienden a minimizar la interacción con entidades externas u otras disciplinas. Cuanto más tiempo evolucionan más duro será este caparazón, sus practicantes desarrollan un nivel efectivo de comunicación intradisciplinar debido a su jerga, tienden a minimizar la comunicación interdisciplinar y desarrollan territorios que se defienden con fiereza (Jones, Ertas y Parten, 1995). Obviamente, estos territorios y conchas disciplinares no están en sincronía con el trabajo que realizan los ingenieros para especificar los requisitos del software y lograr una adecuada integración de sistemas. Porque los problemas que deben resolver no están restringidos a esos límites artificiales. En la era de la mentalidad cartesiana-mecanicista este enfoque sirvió bien para solucionar los principales problemas, sin embargo, los tiempos han cambiado. En este siglo los problemas que se pueden resolver con software son complicados y complejos, por lo que las soluciones requieren infraestructuras de comunicación y de computación masivas, donde se requieren equipos de trabajo cada vez más grandes. Pero una inadecuada comunicación interdisciplinar y las preocupaciones territoriales de sus integrantes, limitan la eficacia de su trabajo y, por tanto, de la calidad de sus soluciones (Radcliffe, 2006). En la Ingeniería de Requisitos se puede aplicar un *modelo transdisciplinar* para elicitar los requisitos e integrar y gestionar el conocimiento que los ingenieros necesitan para especificarlos. Esto no significa que las disciplinas tradicionales involucradas en esta fase del desarrollo se deban desmontar completamente. Significa que las áreas de conocimiento, generalmente incluidas en cada una de esas disciplinas, se deben presentar dentro de una estructura transdisciplinar de gestión de diseño y procesos, y que los límites entre ellas serán mucho más suaves. Además, que los conceptos y los conocimientos de las áreas involucradas, tradicionalmente no-ingenieriles, serán incluidas en la estructura de forma mucho más natural (Nelson, 2001; Tharp y Zalewski, 2001). Así, los ingenieros responsables estarán mejor rodeados y en mejor posición de hacerle frente a la complejidad del problema.

Una característica inherente del modelo transdisciplinar es que todos los conocimientos, habilidades y destrezas de los ingenieros, tales como el análisis, la experimentación, la síntesis, el ingenio, la abstracción, la simulación y el modelado, se consideran herramientas para elicitar y especificar requisitos. Además, ofrece lo necesario para comprender y solucionar el problema. En los sistemas las buenas soluciones deben engranar con las estructuras y organizaciones existentes y no como *parches* integrados (Bickhard, 2011). La Transdisciplina permite una comprensión de cómo integrar sistemas a partir de componentes

y subsistemas, de esta forma se ve al problema y su entorno desde una perspectiva más global. La expansión del conocimiento y la complejidad de los problemas obligan a evaluarlos desde esa perspectiva transdisciplinar (Mahaux y Canon, 2012). Además, y como alternativa a la búsqueda de un individuo renacentista con todos los conocimientos necesarios, se requiere personas con experiencia en la temática y con capacidad para trabajar con eficacia dentro de un equipo transdisciplinar (Lawrence y Després, 2004). Por lo tanto, los líderes de proyectos deben asegurarse de atraer al mayor número de personas para trabajar con enfoques conceptuales orientados a la resolución, con pensamiento crítico y con creatividad. Estas personas deben ser entusiastas, creativas, inteligentes y aportar sus visiones para abordar el estudio del problema con una perspectiva general, no-disciplinar (Wicklein y Rojewski, 1995).

Un enfoque transdisciplinar involucra mayor cooperación e integración entre disciplinas, donde comparten mutuamente métodos y temas para gestionar el conocimiento generado en cada fase del desarrollo de software (Tate et al., 2006). Una Ingeniería de Requisitos con visión transdisciplinar presenta ventajas sobre los modelos tradicionales: la experiencia y el conocimiento del problema se comparten desde múltiples disciplinas; se tiene una visión del problema desde diferentes perspectivas; se diluye la ambigüedad del lenguaje natural; se logra más fácilmente la formalidad; el diálogo con las partes interesadas se realiza en su propia jerga; la documentación es más explícita; y los requisitos se discuten y analizan desde fuentes diversas (Thompson, 2004). Además, la utilización de recursos es más eficiente porque se dirigen directamente al foco de necesidad (Kossiakoff et al., 2011).

Por otra parte, el desarrollo de requisitos es un proceso sistemático de descomposición y seguimiento a través de múltiples *niveles de abstracción*. Las estructuras resultantes son grafos dirigidos en los que las trayectorias de descomposición divergen y convergen, a medida que los requisitos son re-factorizados a través de las capas de diseño. En general, se espera esa divergencia porque cada etapa de la Ingeniería de Requisitos le añade detalles al diseño. Sin embargo, la convergencia se produce, por ejemplo, cada vez que una característica del diseño única satisface múltiples requisitos. Por eso es que en el desarrollo de sistemas complejos convergen diferentes equipos para abordar cada capa del diseño, a la vez que analizar la descomposición de los requisitos asociados. Si el equipo no es transdisciplinar, la complejidad de toda la cadena de descomposición, que genera un sólo requisito, puede no ser evidente para un ingeniero individual. Por lo tanto, persiste la necesidad de trabajar transdisciplinariamente para mejorar la calidad del producto final (Jackson y Dick, 2002).

De acuerdo con Cronin (2008), actualmente existe una necesidad latente por equipos de trabajo transdisciplinarios en todos los campos, porque el conocimiento sobre los problemas socialmente relevantes es incierto, su naturaleza concreta se mantiene en abierta disputa y cada vez la humanidad tienen más en juego para lograr la supervivencia. Los modelos transdisciplinarios son eficientes para: 1) comprender la complejidad de los problemas, 2) tener en cuenta la diversidad de mundo de la vida y las percepciones científicas de los problemas, 3) resumir el enlace y el caso del conocimiento específico, y 3) constituyen conocimientos y prácticas que promueven lo que está concebido para el bien común. Además, promueven la reorientación teórica, conceptual y metodológica con respecto a los conceptos básicos de las disciplinas participantes (McMichael, 2000). El resultado esperado es un potencial creativo de disciplinas colaborativas y maneras de resolver problemas desafiantes. Este enfoque les enseña a los participantes a buscar la colaboración por fuera de los límites de su experiencia profesional, para descubrir información, explorar diferentes perspectivas, expresar e intercambiar ideas y obtener nuevos conocimientos.

2.2 Multidimensionalidad

Otra característica de los requisitos es su *origen multidimensional*. Para Edgar Morin (1994) y otros pensadores, la Multidimensionalidad permite una comprensión total del mundo, es decir, ayuda a desenmarañar la telaraña en que se confunde el conocimiento a medida que avanza el siglo XXI. Esto es posible porque hace una relación de todo lo que implica ese tejido, para lograr que los individuos, a través de procesos interpretativos, desarrollen una definición unívoca del mundo y para que asimilen al conocimiento como global (Richardson, 2010). Esto es importante porque en la actualidad se asume que la dificultad de pensar y vivir es una cuestión que no tiene retroceso, especialmente porque los desarrollos tecnológicos no facilitan esa conjunción, y el software es uno de ellos.

Para la Ingeniería de Requisitos, la Multidimensionalidad se basa en la dicotomía realidad-dimensión, en la que se considera que una dimensión está conformada por una jerarquía de niveles que representan diferentes detalles para estudiar los requisitos y que, un nivel, contiene los descriptores. Por otro lado, la realidad contiene la información que describe al requisito desde los niveles de comprensión de las partes interesadas. Al igual que Moody y Kortink (2000), hay que considerar que una realidad puede contener no sólo uno, sino varios y diferentes niveles de granularidad de la cadena datos-información-conocimiento. Por lo tanto, esa cadena representa las interpretaciones individuales de la granularidad de los datos sobre el mismo requisito. Específicamente, la realidad de un requisito está relacionada con un nivel de las dimensiones de análisis asociadas. Por último, una realidad y varias dimensiones dan lugar

a la comprensión unificada del requisito, que se aplicará en su especificación (Kimball et al., 1998).

Este análisis e interpretación multidimensional de los requisitos contribuye a satisfacerlos y, por lo general, se puede estimar y medir en términos de las múltiples dimensiones desde las cuales provienen (Gilb, 2005). Las implicaciones son: 1) a fin de comprender el verdadero valor y los impactos de una abstracción, se puede cuantificar todas las dimensiones de rendimiento críticas del requisito; 2) el error de no estimar correctamente el impacto de cualquier requisito de rendimiento crítico puede hacer que toda la especificación de requisitos se invalide, o que la elicitación no sea la prevista (Abelló, Samos y Saltor, 2002); 3) al evaluar una especificación de requisitos sobre la base de una o dos dimensiones, es casi seguro que hará falta información para comprender las consecuencias de una abstracción (Luján, Trujillo y Song, 2002); y 4) dada la baja probabilidad de que desde una dimensión se pueda obtener información confiable sobre los impactos de los requisitos en el sistema, el equipo está obligado a hacer estimaciones de rendimiento, costos, implicaciones, cobertura, pruebas y seguridad, y tomar algunos riesgos al momento de la abstracción y el modelado de la solución. En la práctica, esto solamente se puede lograr una vez que la elicitación se atiende desde la Multidimensionalidad de los requisitos (Pedersen y Jensen, 1999).

En la literatura no se encontraron investigaciones dirigidas expresamente a gestionar las fuentes multidimensionales de los requisitos, aunque Winter y Strauch (2003) presentan resultados y conclusiones orientadas al diseño de bases de datos, mientras que Giorgini et al. (2005) se centran en determinar requisitos de usuario multidimensionales para las bases de datos y para asignar más tarde las fuentes de datos. Por otro lado, los enfoques basados en la oferta (Hüsemann, Lechtenböcker y Vossen, 2000) realizan un amplio análisis de las fuentes de datos para determinar los conceptos multidimensionales en un proceso de reingeniería. La noción del origen multidimensional de requisitos la han desarrollado autores como Cardoso (1998) y Hyvärinen y Hoyer (2000), apoyándose en la hipótesis de que no todas las fuentes pueden ser modeladas razonablemente como procesos de una sola dimensión, a la vez que con independencia mutua (Ziehe y Müller, 1998). Por el contrario, algunas pueden generar señales que llenan un sub-espacio multidimensional que se resiste a la descomposición en fuentes independientes unidimensionales. Esto puede ocurrir en situaciones donde se desconoce la fuente y los ingenieros deben buscar un modelo plausible de los datos observados donde, mediante fuentes y situaciones subyacentes, puedan encontrar su carácter multidimensional.

El trabajo de Cowling (1998), aunque orientado al currículo en ingeniería, aporta conceptos y principios que podrían ser útiles para comprender la Multidimensionalidad de los requisitos.

En el modelo que propone las dimensiones son: 1) los diferentes niveles de abstracción que definen los componentes hardware-software; 2) el equilibrio en el conocimiento computacional y otras ramas de la ingeniería; 3) el equilibrio entre la teoría, la modelización y las aplicaciones prácticas de las mismas; y 4) el equilibrio entre el personal técnico y no-técnico. Cada una se compone de un número de puntos discretos, en lugar de un rango continuo, y las relaciones entre los puntos no son necesariamente lineales. Así, en los términos que se utilizan en la teoría de las mediciones, estas dimensiones forman escalas ordinales en lugar de intervalos (Fenton, 1991), y cada una se puede utilizar como un eje de ordenadas para trazar la proporción de conocimiento que se asignará a cada punto discreto (requisitos). Otra propiedad importante es que son independientes entre sí, es decir, los vínculos entre los puntos se derivan principalmente de las relaciones a lo largo y entre las diferentes dimensiones, y determinan principalmente la estructura y el orden la información para especificar los requisitos.

En la investigación en bases de datos, los reportes indican que los modelos tradicionales no proporcionan buen soporte para las nuevas aplicaciones. Como resultado, surgen nuevos modelos con una visión multidimensional de los datos, que suelen clasificarlos como realidades medibles o dimensiones del negocio y que son descripciones textuales de esas realidades. Además, deben tener ciertas características para apoyar los datos complejos presentes en muchos sistemas del mundo real. Pedersen y Jensen (1999) presentan nueve requisitos avanzados que un modelo de datos multidimensional debe satisfacer y los ilustran utilizando un estudio de caso real. La cuestión con este tipo de modelos es que solamente observan la fuente dimensional del requisito o dato, pero no realizan abstracciones ni interpretaciones transdisciplinarias para verificar la información colectada. Esto presupone una falta de comprensión de la necesidad e importancia del requisito para la solución buscada (Annoni et al., 2005).

3. Conclusiones

La Ingeniería de Requisitos es una fase en la que los ingenieros de software se comunican con las partes interesadas con el objetivo de re-conocer sus visiones, intenciones, mitos, realidades y actividades con relación a las necesidades de soporte computacional, y para comprender y documentar adecuadamente la especificación de requisitos del Sistema de Información requerido. Este proceso, implícitamente, incluye la comprensión y gestión de aspectos empresariales, organizativos, económicos y sociales, así como problemas y cuestiones técnicas. Además, es una actividad de diseño fuertemente comunicativa, interactiva y creativa. En este trabajo se presentó un análisis a la integración de la Transdisciplina y la

Multidimensionalidad, como herramientas integradas del Pensamiento Complejo en la Ingeniería de Requisitos, con el objetivo de mejorar la calidad del software.

En la literatura se encuentran diversas propuestas para llevar a cabo la Ingeniería de Requisitos, desde orientados a la tecnología y la ingeniería de la información, hasta las centradas en el modelado de empresa, el negocio y sus objetivos y reglas, además se reconoce la importancia de establecer vínculos explícitos entre todos. También se encuentra un amplio número de métodos de desarrollo de sistemas y herramientas que, aunque tratan principalmente las fases medias y/o finales del ciclo de vida del desarrollo de sistemas, prácticamente ninguno aborda los principios y el análisis de objetivos del negocio de forma estructurada, ni tienen en cuenta las necesidades provenientes de las fases previas o las que requieren las posteriores. Esto hace que los ingenieros deban pasar de una comprensión vaga e informal a un modelamiento formal del dominio, que no les permite alcanzar la calidad adecuada del producto. Por eso, estos métodos no son adecuados para capturar explícitamente, y representar estructuradamente, el conocimiento organizacional para las demás fases del ciclo de vida del sistema. Además, no mantienen los vínculos entre los modelos de negocio y las especificaciones del sistema, por lo que, debido a los cambios permanentes, no facilitan el razonamiento acerca de las modificaciones necesarias.

Una solución a estos desafíos consiste en integrar principios y teorías desde otras áreas del conocimiento y de las ciencias, porque los métodos vigentes no son suficientes para comprender la complejidad de los problemas actuales, ni las diversas dimensiones y disciplinas desde las que se originan los requisitos. Algunos investigadores continúan abordando temas interesantes acerca de los problemas de esta fase, aunque, a menudo, sin conocimiento de los temas y los problemas relevantes en la realidad, porque no tienen experiencia en la industria. Se necesita mayor investigación empírica para determinar los problemas y las soluciones que se pueden utilizar en la práctica. Por otro lado, la formación académica en esta área no es totalmente adecuada para el trabajo práctico, porque en el aula se utilizan casos alejados de la realidad industrial. Por todo esto es necesario mirar de otra manera a la Ingeniería de Requisitos y aceptarla como una fase altamente exigente y complicada. Porque, aunque es un trabajo que requiere ciencia, la visión ingenieril es fundamental para moldear soluciones computacionales. Por otro lado, las exigencias de una Sociedad Software-Dependiente por el mejoramiento de la calidad de este producto, han incrementado la necesidad de mejorar su gestión y administración y, para lograrlo, hay que tener en cuenta otros principios, tales como la Transdisciplina y la Multidimensionalidad, que ayuden a lograr mejores resultados.

4. Referencias

- Abelló, A., Samos, J. & Saltor, F. (2002). Yam2 (yet another multidimensional model): An extension of UML. In M. Nascimento, M. Özsu & O. Zäiane (Eds.), *IDEAS* (pp. 172-181). USA: IEEE.
- Annoni, E. et al. (2005). Une approche d'analyse et de conception de SID à base de patrons - Ingénierie des systèmes d'information décisionnels. *Revue des sciences et technologies de l'information* 10(6), 1-28.
- Bickhard, M. (2011). Systems and process metaphysics. In C. Hooker (Ed.), *Philosophy of Complex Systems* (pp. 91-104). USA: Elsevier.
- Cardoso, J. (1998). Multidimensional independent component analysis. In *Proceedings IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing* (pp. 1941-1944). Seattle, USA.
- Cowling, A. (1998). A multi-dimensional model of the software engineering curriculum. In *Proceedings 11th Conference on Software Engineering Education* (pp. 44-55). Atlanta, USA.
- Cronin, K. (2008). *Transdisciplinary Research (TDR) and Sustainability*. New Zealand: Environmental Science and Research.
- Fenton, N. (1991). *Software metrics: A rigorous approach*. USA: Chapman & Hall.
- Gilb, T. (2005). *Competitive Engineering: A Handbook for systems engineering, requirements engineering, and software engineering using planguage*. Boston: Elsevier.
- Giorgini, P., Rizzi, S. & Garzetti, M. (2005). Goal-oriented requirement analysis for data warehouse design. In: *Proceedings 8th ACM international workshop on Data warehousing and OLAP*. Bremen, Germany (2005) 47-56.
- Goguen J. (1992). The dry and the wet. In E. Falkenberg et al. (Eds.), *Information Systems Concepts* (pp. 1-17). Oxford: Elsevier.
- Hüsemann, B., Lechtenböcker, J. & Vossen, G. (2000). Conceptual data warehouse modeling. In *Proceedings 2nd International Workshop on design and management of data warehouses* (pp. 1-12). Stockholm, Sweden.
- Hyvärinen, A. & Hoyer, P. (2000). Emergence of phase- and shift-invariant features by decomposition of natural images into independent feature subspaces. *Neural Computation* 12(7), 1705-1720.
- Jackson, H. & Dick, J. (2002). *Requirements Engineering*. USA: Springer.
- Jones, J., Ertas, A. & Parten, M. (1995). Multidisciplinary engineering design program at Texas Tech University. In *Proceedings First World Conference on Integrated Design and Process Technology* (pp. 117-120). Austin, USA.
- Kimball, R. et al. (1998). *Data warehouse lifecycle toolkit: Expert methods for designing, developing and deploying data warehouses*. USA: Wiley.
- Kossiakoff, A. et al. (2011). *Systems Engineering principles and practice*. USA: Wiley.
- Lawrence, R. & Després, C. (2004). Introduction: Futures of Transdisciplinarity. *Futures* 36(4), 397-405.
- Luján, S., Trujillo, J. & Song, I. (2002). Extending the UML for multidimensional modeling. *LNCS* 2460, 290-304.
- Mahaux, M. & Canon, C. (2012). Integrating the complexity of sustainability in requirements engineering. In *Proceedings First international workshop on Requirements for Sustainable Systems* (pp. 23-35). Toronto, Canada.
- McMichael, A. (2000). What makes transdisciplinarity succeed or fail? First Report. In A. Somerville and D. Rapport (Eds.), *Transdisciplinarity: Recreating integrated knowledge* (pp. 45-76). Oxford: EOLSS.
- Moody, D. & Kortink, M. (2000). From enterprise models to dimensional models: A methodology for data warehouse and data mart design. In *Proceedings 2nd International Workshop on Design and Management of Data Warehouses* (pp. 12-24). Stockholm, Sweden.
- Morin, E. (1994). *Introducción al Pensamiento Complejo*. México: Gedisa.
- Nelson, S. (2001). Transdisciplinary team training. In *Proceedings Workshop on Global Transdisciplinary Education* (pp. 17-20). Pasadena, USA.
- Pedersen, T. & Jensen, C. (1999). Multidimensional data modeling for complex data. In *Proceedings 15th International Conference on Data Engineering* (pp. 336-345). Sydney, Australia.
- Radcliffe, D. (2006). Shaping the discipline of engineering education. *Journal of Engineering Education* 95(4), 5-6.
- Richardson, K. (2010). *Thinking about Complexity - Grasping the continuum through criticism and pluralism*. USA: Emergent.
- Serna, M.E. & Serna A.A. (2013). A review processes for science, technology and innovation. *Revista Entramado* 9(1), 172-187.
- Serna, M.E. (2015). *Ciencia y Pensamiento Complejo - Desarrollo transdisciplinar de un paradigma*. Medellín: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Tanik, M. & Ertas, A. (1997). Interdisciplinary design and process science: A discourse on scientific method for the integration age. *Journal of Integrated Design & Process Science* 1(1), 76-94.

- Tate, D. et al. (2006). Foundations for a Transdisciplinary approach to engineering systems research based on design & process (pp. 45-65). In D. Tate et al. (Eds.), *The ATLAS Module*. Dallas: The ATLAS Publishing.
- Tharp, T. & Zalewski, J. (2001). Economics of software engineering: Transdisciplinary issues in research and education. *Integrated Design & Process Technology Proceedings* 1, 6-11.
- Thompson, J. (2004). Prospects for Transdisciplinarity. *Futures* 36(4), 515-526.
- Wicklein, R. & Rojewski, J. (1995). The relationship between psychological type and professional orientation among technology education teachers. *Technical Education* 7(1), 57-74.
- Winter, R. & Strauch, B. (2003). A method for demand-driven information requirements analysis in Data Warehousing Projects. In *Proceedings 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 231-239). Hawaii, USA.
- Ziehe, A. & Müller, K. (1998). Tdsep – An efficient algorithm for blind separation using time structure. In L. Niklasson, M. Boden & T. Ziemke (Eds.), *ICANN'98* (pp. 675-680). Skövde: Springer.