



Systems Engineering Analysis

Análisis a la Ingeniería de Sistemas

Alexei Serna M.

Instituto Antioqueño de Investigación. [alexei.serna\(AT\)fundacioniai.org](mailto:alexei.serna(AT)fundacioniai.org)

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Tipo de artículo: Reflexión

Historia del artículo

Recibido: 10-04-2013

Correcciones: 01-05-2013

Aceptado: 15-06-2013

Categories and Subject Descriptors

K.3.2 [Computers and Education]:
Computer and Information Science
Education – Computer science
education.

General Terms

Systems Engineering, Computer
Science.

Keywords

Engineering, Training, Systems
engineering, sciences, Computer
Science.

Palabras clave

Ingeniería, Formación, Ingeniería de
Sistemas, ciencias, ciencias
computacionales.

ABSTRACT

The challenges proposed by the development of the new computer systems demand new guidance related to engineer's education, because they will solve these problems. In the XXI century, system engineers must be able to integrate a number of topics and knowledge disciplines that complement that traditionally has been known as Computer Systems Engineering. We have enough software development engineers, today we need professional engineers for software integration, leaders and system architects that make the most of the technological development for the benefit of society, leaders that integrate sciences to the solutions they build and propose. In this article the current situation of Computer Systems Engineering is analyzed and is presented a theory proposing the need for modifying the approach Universities have given to these careers, to achieve the education of leader engineers according to the needs of this century.

RESUMEN

Los retos que plantea el desarrollo de los nuevos sistemas exigen una nueva orientación en la formación de los ingenieros, quienes les plantearán soluciones a esos problemas. En el siglo XXI se requiere ingenieros de sistemas que integren una serie de áreas y disciplinas del conocimiento que complementan lo que hasta ahora se conoce como Ingeniería de Sistemas. Ya no se necesitan ingenieros desarrolladores, hoy se requieren profesionales integradores, líderes y arquitectos de sistemas que aprovechen el desarrollo tecnológico para beneficio de la sociedad, que integren las ciencias a las soluciones que plantean y construyen. En este artículo se analiza la situación actual de la Ingeniería de Sistemas y se desarrolla una teoría que plantea la necesidad de modificar el enfoque que las Universidades les dan a estos programas, para formar ingenieros líderes de acuerdo con las necesidades de este siglo.

© 2013 IAI. All rights reserved.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el nacimiento hasta la muerte el ser humano vive apoyado en un complejo e interconectado conjunto de sistemas: financieros, de asistencia médica, de transporte, de información,... que soportan infraestructuras como las de comunicación, agua, energía, economía,... que esenciales para la supervivencia de una sociedad avanzada [1]. Si bien muchos de estos *sistemas* son importantes para la supervivencia, no son jurisdicción directa de los ingenieros.

Por ejemplo, el ser humano interactúa con uno o más sistemas de educación y a menudo termina interactuando con alguna versión de un sistema de atención en salud, sistemas principalmente sociales que implican cómo una sociedad atiende a sus ciudadanos, que han sido analizados a través del lente de la política y la economía y, en ambos casos, desarrollan conocimientos científicos acerca de cómo funcionan nuestros cuerpos y cómo aprenden nuestras mentes.

De igual manera la sociedad de este siglo interactúa cada vez más con una clase de sistemas que dependen para su existencia de las tecnologías o artefactos tecnológicos, y que son jurisdicción directa de la Ingeniería de Sistemas [2]. Estos *sistemas* proporcionan gran parte de las funciones de la sociedad moderna, como el control de tráfico aéreo mundial, la Internet, la red de comunicaciones global, el sistema de movilidad nacional —automóviles, trenes, aviones, carreteras, estaciones y aeropuertos—, entre otros. Sistemas que poseen importantes componentes tecnológicos pero que también realizan importantes interacciones a nivel corporativo y de interfaces socio-técnicas, que determinan el diseño u operación del mismo. Por supuesto, muchos están interconectados y juntos conforman *sistemas de sistemas*, por ejemplo, el de control de tráfico aéreo, el de comunicaciones y el de movilidad están interconectados entre sí. Dicha interconexión quedó evidenciada con los incidentes del 9/11 en Nueva York, momento en el que se demostró con claridad cómo algunas de las

infraestructuras críticas en los EE.UU. están conectadas entre sí y cómo los fallos en uno pueden tener efectos inmediatos o a largo plazo sobre los otros.

Estos sistemas han sido analizados parcialmente mediante herramientas de investigación de operaciones, de análisis de sistemas y económicas, y fueron diseñados mediante procesos de Ingeniería de Sistemas. Las técnicas de gestión de ingeniería para la creación de muchos de ellos son procesos *ad-hoc*, y a menudo las políticas que rigen su uso surgen después de la fabricación. Calcular los presupuestos para su realización se considera en gran medida como un arte, por lo que muchos de ellos, principalmente los grandes y complejos, sobrepasan estimaciones y calendarios. Además, algunos tienen consecuencias sociales sorprendentes, como utilizar Internet para la divulgación de correo *spam*, la interacción entre este uso emergente y el mismo diseño técnico de la Internet [3].

Para satisfacer las demandas de la Sociedad de la Información y el Conocimiento se necesita desarrollar una visión holística de estos sistemas que tenga en cuenta todas las cuestiones asociadas con ellos. Esta visión integradora para sistemas desarrollados tecnológicamente es el campo que le concierne a la Ingeniería de Sistemas de este siglo, y debe ser el núcleo para el desarrollo profesional de sus ingenieros. En la Universidad moderna, con su amplio y valioso énfasis en la ciencia detrás de la ingeniería, esta visión integradora ha sido descuidada por mucho tiempo, debido a que va más allá de muchas de las demás disciplinas [4]. Por supuesto, esto se debe a que detrás del poder del enfoque de las ciencias ingenieriles se encuentran mentes reduccionistas, combinadas con un poder de manipulación agudo de parte de las matemáticas. Para apreciar completamente esta complejidad los sistemas interconectados requieren una visión que haga el enlace entre los enfoques de la ingeniería tradicional con los puntos de vista de la gestión y las ciencias modernas. Al igual que en todos los modelos, el objetivo final de esta combinación de disciplinas debe ser el de *modelar y predecir el comportamiento de los sistemas complejos en un contexto completo*.

En este trabajo se explora y proyecta un futuro desarrollo para lo que hasta el momento se denomina Ingeniería de Sistemas, contextualizado en las exigencias y problemas de este siglo, que exigen ingenieros líderes que les presenten soluciones.

2. ESTADO ACTUAL DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS

La palabra *sistemas* tiene una connotación bastante amplia. Un sistema es una colección de piezas cuya función colectiva es mayor que la función de las piezas individuales. En la base matemática del mundo riguroso y científico de la ingeniería esta vaguedad ha dado lugar a algunas críticas, debido principalmente a esa amplitud de significado: si *sistemas* se aplica para todo entonces también se aplica para nada. Con el objetivo de ser específicos este artículo se centra en la Ingeniería de

Sistemas y en los sistemas que posean las siguientes características:

- Que sean operables tecnológicamente.
- Que sean de gran escala —gran número de interconexiones y componentes—.
- Que sean complejos.
- Que sean dinámicos —con la participación de múltiples escalas de tiempo e incertidumbre—.
- Que tengan interacciones sociales y naturales con la tecnología.
- Que posean propiedades emergentes.

La expresión *operable tecnológicamente* se aplica a sistemas con uno o más artefactos de tecnología en su base, es decir, los que no existen aparte de los artefactos tecnológicos. Un buen ejemplo es el sistema de control de tráfico aéreo, el cual tiene en su núcleo aviones, radares y aeropuertos. Los sistemas que nos interesa comprender también son importantes en el sentido que tienen gran número de interconexiones. Este mapa puede tener una amplia escala física —está claro que eso es un sistema de control de tráfico aéreo—, pero no necesariamente tiene que serlo —así como no se puede atribuir ninguna magnitud física a Internet—, pero tiene un gran número de interconexiones.

La descripción de Ingeniería de Sistemas como compleja se entiende desde el punto de vista que tiene propiedades no lineales, en las que las salidas del sistema no están relacionadas directamente con sus entradas. En parte este comportamiento no lineal de los flujos desde múltiples escalas de tiempo es subyacente al sistema, junto con la inocultable presencia de la incertidumbre. Además, también se deriva del hecho de que estos sistemas los conforman importantes piezas y decisiones determinadas por su interacción con el mundo social o natural. Finalmente, se observa que suelen poseer propiedades emergentes, generalmente en cómo la sociedad los utiliza o responde a ellos. Por ejemplo, utilizar Internet para enviar *spam* no fue en absoluto previsto o entendido cuando se estableció la arquitectura técnica subyacente a la misma [3]; o que el desarrollo de los centros de actividad en los aeropuertos, donde se evidencia el crecimiento de centros comerciales para servir a las personas que tienen que *matar* el tiempo a la espera de los vuelos de conexión, tampoco fuera considerado al diseñar el sistema de control de tráfico aéreo. Por lo tanto, para comprender la actual Ingeniería de Sistemas se requiere:

1. Una perspectiva tecnológica interdisciplinaria que involucre a las ciencias y otras áreas del conocimiento:
 - Que en el proceso de diseño incorpore propiedades del sistema, como sostenibilidad, seguridad, calidad y flexibilidad, es decir, propiedades del ciclo de vida en lugar de las de primer uso.
 - Con perspectiva de empresa.
 - Que tenga en cuenta las diferentes perspectivas de las partes interesadas.

2. Un conjunto de propiedades llamadas no-funcionales, que hacen hincapié en el hecho de que existen consideraciones intelectuales asociadas al uso de los sistemas que pueden ser muy diferentes de los de primer uso, para los que los fueron diseñados y que pueden llegar a dominar el uso de los mismos.

Luego de definir la Ingeniería de Sistemas es necesario explorar el estado actual de la comprensión de los sistemas, en el camino hacia la definición de los atributos que deben poseer los profesionales que los diseñan y operan. La jerarquía de conocimientos con la que es posible explorar esta comprensión se propone representada en niveles:

1. Observación
2. Clasificación
3. Abstracción
4. Cuantificación y medición
5. Representación simbólica
6. Manipulación simbólica
7. Predicción

Algunas áreas ingenieriles comenzaron en el nivel 1 y progresaron hasta el nivel 7. Un buen ejemplo de esto es la termodinámica, que se inició con las observaciones a las máquinas de vapor fabricadas mediante un proceso de prueba y error, luego se descubrieron y promulgaron nuevas leyes y finalmente se indujeron las de la termodinámica clásica, lo que le permitió la ingeniería avanzar al nivel 7 con los motores termodinámicos. Esto también permitió darse cuenta de que las tres leyes de la termodinámica sustentaban todas las observaciones previas y permitió la construcción de nuevos tipos de máquinas. Este proceso también es válido para la aerodinámica que al principio, para desarrollar una comprensión del aerodinamismo, se basaba únicamente en la observación de cómo volaban las aves, y que luego, una vez que las leyes de conservación se comprendieron y aplicaron a los gases compresibles, se originó el conocimiento moderno de la aerodinámica.

Por supuesto actualmente se encuentra en el nivel de predicción, que se manifiesta por la facilidad con que se diseña las aeronaves de forma que puedan volar adecuadamente. Ahora bien, muchos de los temas acerca de los modernos aviones comerciales generalmente no son aerodinámicos, como el proceso de fabricación y el costo-eficiencia del ciclo de vida.

De acuerdo con la definición descrita previamente, el estado actual de la Ingeniería de Sistemas se encuentra entre los niveles 2 y 4, porque algunos de los sistemas han sido abstraídos, medidos y cuantificados. Como el desarrollo de cualquier campo ingenieril, su objetivo es ascender en la jerarquía del conocimiento hasta el punto en que pueda predecir el comportamiento de los sistemas más complejos. Será entonces cuando estos sistemas se construyan con una perspectiva holística, pero con un buen conocimiento de los probables beneficios, costos y consecuencias del producto terminado. Esto les permitirá

a los ingenieros desarrollarlos dentro del presupuesto, entregarlos a tiempo y con el rendimiento esperado por los usuarios.

3. BASES DISCIPLINARES DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS DE ESTE SIGLO

3.1 Fundamentos intelectuales

El desarrollo de cualquier campo multidisciplinar requiere de los avances en las disciplinas que lo sustentan. Por ejemplo, el progreso en la ingeniería de energía de fusión requirió de los avances de la física del plasma. Sin embargo, aunque comprender la física del plasma es fundamental para diseñar un reactor de fusión, no es suficiente porque no incluye la totalidad de las cuestiones necesarias para hacer funcionar un reactor real. En la práctica el proceso de diseñar y operar un reactor requiere de la unión mancomunada entre la física del plasma, la ingeniería nuclear y la ingeniería de materiales con el análisis de riesgos. De manera similar existe una serie de disciplinas subyacentes para comprender el diseño y la operación de la Ingeniería de Sistemas real, por lo que las Universidades deben formar a sus futuros ingenieros mediante procesos formativos interdisciplinarios. Esto facilitaría una mayor comprensión y progreso de esta ingeniería, a la vez que avanza en los niveles de la jerarquía de conocimientos. Las disciplinas subyacentes necesarias planteadas en este trabajo son: 1) arquitectura de sistemas y desarrollo de productos, 2) investigación de operaciones y análisis de sistemas, 3) el área administrativa y 4) las tecnologías y políticas necesarias [2].

3.2 Arquitectura de sistemas y desarrollo de productos

Estas disciplinas describen un conjunto de procesos ordenados mediante un diseño que linealmente llevan al producto desde la elicitación de requisitos hasta su manifestación específica en un entregable. La arquitectura de sistemas describe procesos completos mediante conceptos que desarrollan mapas de las funciones deseadas y de las posibles formas que toman, y en ellas es donde el producto experimenta el proceso ingenieril. Si bien el desarrollo de la Ingeniería de Sistemas *estructurada en árboles y en capas* ha experimentado un considerable desarrollo, no se puede decir lo mismo de la arquitectura de sistemas, porque todavía se considera un *arte* mediante el cual los *arquitectos* tratan de llegar a consensos acerca de los conceptos que satisfacen las necesidades del cliente. Gran parte del desarrollo intelectual que estos arquitectos necesitan proviene de la cuantificación y manipulación de las arquitecturas de los sistemas, algo que Crawley *et al.* [5] discuten en su trabajo.

3.3 Investigación de operaciones y análisis de sistemas

La investigación de operaciones desarrolla en gran medida la teoría de optimización para diferentes tipos de funciones de costo. En el mismo sentido se desarrollaron diversas técnicas para analizar el comportamiento de los

sistemas una vez que se reducen a redes cuantificables. A través de esta área se desarrolla una comprensión de la naturaleza de optimización, en la que son importantes cuestiones como el ciclo de vida del producto y la cuantificación de la flexibilidad. En esto existe un desarrollo significativo que se puede aplicar mediante técnicas financieras para valorar la flexibilidad, temática que Neufville [6] analiza en su trabajo. Por otro lado, el análisis de sistemas desarrolla técnicas macroscópicas de dinámica de sistemas [7] como método para modelar muchos productos de la Ingeniería de Sistemas, porque a pesar de que abarcan diversos puntos de vista, a menudo se reducen a comprender la relación de los coeficientes con las existencias y los flujos. El modelado basado en agentes es una metodología de análisis reciente en la que los sistemas se modelan a un nivel más elemental, y con una serie de reglas simples se construye un conjunto complejo de interacciones. El desarrollo de técnicas de análisis para la Ingeniería de Sistemas requiere la integración de las técnicas de modelado para formar una paleta operacional para el analista. Estas temáticas se amplían suficientemente en el trabajo de Carloni *et al.* [8].

3.4 Área administrativa

Los sistemas de ingeniería reales se construyen al interior de las empresas y operan al interior de la sociedad, por lo que la interacción entre la empresa de diseño y la Ingeniería de Sistemas es profunda. Si bien los teóricos organizacionales desarrollan teorías acerca de cómo funcionan las organizaciones y la toma de decisiones, este conocimiento necesita integrarse en la fase de diseño de los productos de forma que se pueda cuantificar. Entonces se podría conocer *a priori* el efecto de la organización empresarial en el sistema de ingeniería y no esperar a que sea una sorpresa, como lo plantea el U.S. Department of Commerce [9].

3.5 Tecnologías y políticas

Las interacciones socio-técnicas significativas son una propiedad de los sistemas a gran escala, a la vez que de mucho interés para la Ingeniería de Sistemas. Frecuentemente, estas interacciones se observan después que se diseñan los sistemas y que se han invertido considerables recursos. El análisis concienzudo de estas interacciones hace parte del quehacer de los politólogos y los sociólogos y, como desarrollos de la Ingeniería de Sistemas, se modelan de forma que sean cuantificables y que se puedan incluir en el análisis de los sistemas complejos. Varios modelos de este tipo se pueden encontrar en el trabajo de Cutcher-Gershenfeld *et al.* [10].

4. EL FUTURO DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS

Para que la Ingeniería de Sistemas avance en la jerarquía de conocimiento hasta alcanzar el nivel 7 se tendrá que formalizar la interdisciplinariedad de las cuatro áreas subyacentes que se proponen en este trabajo, o al menos llevarla a una simulación computacional aplicable en diferentes ámbitos de la Ingeniería de Sistemas. Esto ayudará a: 1) descubrir principios generalizables y cuantificables que vayan más allá del nivel heurístico y 2)

desarrollar métodos aplicables en los diferentes ámbitos de esta ingeniería. Los principios serán similares a las leyes de conservación en la mecánica de fluidos y los métodos se podrán cuantificar en simulaciones computacionales para modelar los sistemas complejos.

Una vez que se comprendan estos principios y métodos, se podrá estructurar arquitecturas y diseños en Ingeniería de Sistemas que tengan en cuenta los requisitos y los usos futuros parcialmente desconocidos; además, se diseñarán de manera predictiva en los sistemas los usos incorporados a través de los requisitos no-funcionales. Entonces se diseñarán sistemas de forma que se pueda demostrar la incorporación de propiedades como seguro y seguridad, con cuestiones de sostenibilidad y flexibilidad incorporadas en la formulación original del problema, y con la posibilidad de predecir cuantitativamente el grado en que estas propiedades están presentes en los sistemas. Alcanzar la realización de estas propiedades necesitará reunir conceptos como economía, teoría de juegos, teoría de la complejidad, teoría de grafos y teoría de opciones reales, junto con la arquitectura de sistemas y la optimización multidisciplinar, que se deben combinar con poderosas simulaciones por computador para modelarlos y predecirlos.

Una cuestión de fondo es si la dimensión humana de la Ingeniería de Sistemas se podrá incluir plenamente alguna vez en la predicción cuantitativa de los sistemas. Aunque el análisis de decisiones y la teoría de juegos permiten la inclusión de muchos aspectos humanos, estos métodos tienen limitaciones conocidas. La dinámica de sistemas utiliza bucles de retroalimentación para ver con claridad los sistemas, aunque en principio los modelos basados en agentes permiten simulaciones a gran escala desde un nivel elemental. La cuestión de que estos métodos permitan o no la interacción de actividades humanas en los sistemas técnicos es una cuestión discutible.

Cuando la Ingeniería de Sistemas se desarrolle complementemente como un área científica a través de los niveles de la jerarquía de conocimiento, será posible predecir dos consecuencias importantes: 1) los estudiantes de pregrado se formarán en ciencias ingenieriles, como lo hacen actualmente, pero también se les dará una apreciación del contexto de Ingeniería de Sistemas en el que ejercerán como ingenieros, sobre todo en aspectos sociales y de los desarrollos tecnológicos de punta y 2) a nivel de posgrado se desarrollarán maestrías y doctorados en los diferentes aspectos interdisciplinarios de la ingeniería. El desarrollo de este campo de formación se utilizará para *predecir* el desarrollo de nuevos tipos de sistemas y para predecir cómo diseñarlos y cómo se comportarán.

4.1 Nuevos profesionales en Ingeniería de Sistemas

Luego que en las Universidades y en la educación superior se desarrolle esta comprensión de la Ingeniería de Sistemas podrá surgir un nuevo tipo de ingeniero: un

profesional líder [10]. Serán líderes capacitados para integrar los componentes tecnológicos y sociales como parte de los sistemas grandes y complejos, y utilizarán los nuevos y diferentes enfoques con base en el paradigma de la ciencia de la ingeniería tradicional. Estos profesionales examinarán como una variable de diseño al contexto en el que el sistema operará y no como una restricción. Por lo tanto, tendrán en cuenta el diseño organizacional sobre el que operará el producto; los reglamentos y políticas públicas que regularán su uso y disposición; la comercialización y la relación con proveedores, distribuidores y otros participantes en la cadena de valor. Desde esta perspectiva el proceso de diseño incluirá los atributos físicos del dominio de la ingeniería tradicional; los atributos del proceso del dominio de los ingenieros y de los administradores, y los atributos de contexto que tradicionalmente han sido del dominio de los administradores, los gobiernos y las áreas sociales.

Como tal, serán útiles en la sociedad y en la academia de este siglo para desarrollar un enfoque interdisciplinar en el diseño de las soluciones a los problemas, y considerarán el contexto en que los sistemas se inician, se diseñan, se fabrican, se construyen, se aplican y se mantienen. Este contexto estará sometido a cambios significativos como resultado de la globalización, la revolución de la información y las necesidades sociales emergentes —particularmente la sostenibilidad—. Esta perspectiva se refleja en cuestiones como que los avances de la humanidad dependerán cada vez más de nuevos planteamientos integradores a los sistemas complejos, los problemas y las estructuras, y que la síntesis de diseño y la sinergia entre las fronteras disciplinares tradicionales serán elementos esenciales de la educación superior y la investigación en las universidades de este siglo [11].

Como ingenieros de sistemas serán importantes para el futuro desarrollo de la academia, donde ayudarán a los estudiantes a lograr la perspectiva holística necesaria para convertirse en ingenieros y líderes productivos para la sociedad de este siglo. Una vez estos estudiantes se gradúen, no serán diferentes de aquellos profesionales que se forman en otras áreas, como la medicina y la física, sino que además ayudarán a orientar a la sociedad de manera técnicamente competente y con conciencia social. Ese nuevo tipo de *maestros* en Ingeniería de Sistemas llevará a cabo un proceso riguroso de integración e impulsará la ciencia tradicional, orientando a la Universidad a pensar con mayor amplitud acerca de la naturaleza de la nueva ingeniería, que los desarrollos tecnológicos y sociales reclaman para este siglo.

Las facultades de Ingeniería y los estudiantes les ayudarán a la educación superior a abordar de mejor manera las cuestiones enmarcadas por Kennedy [12], que en el capítulo final se pregunta si las universidades realmente pueden hacer una diferencia con respecto a los grandes problemas que tenemos ante nosotros. Su lista de desafíos va desde la proliferación de armas y el desarme hasta cuestiones éticas en las pruebas genéticas y en el asesoramiento sin incentivos en los sistemas de atención

en salud. Los intelectuales que deseen trabajar en estos desafíos puede que reciban el menosprecio de la academia, porque, como afirma el autor, la Universidad tradicional desprecia estos problemas por considerarlos de poca aplicación y, en parte, por la percepción común de que problemas multidisciplinares como éstos hacen parte de las llamadas ciencias *blandas*. Sin embargo, son reales, complejos y de gran escala, y requieren la atención de los intelectuales reflexivos. Kennedy se pregunta si la academia podrá superar la resistencia de las estructuras tradicionales para *rediseñarse* así misma frente a estos desafíos. Parte de la respuesta a esta pregunta está en la propuesta descrita en este trabajo para formar líderes que puedan operar con la *interfaz* entre tecnología y sociedad, con una visión integradora de los sistemas y con la capacidad de predecir su futuro comportamiento.

Esos profesionales le ayudarán a la educación superior a vencer lo que Snow [13] llamó el *mundo de las dos culturas*, y será la Universidad el lugar en el que estos líderes prosperarán y en el que sus estudiantes podrán ser formados. Pero las administraciones educativas no podrán ser las de siempre, porque una Universidad dividida por estrechas líneas disciplinares y con desdén por el trabajo multidisciplinario no lo logrará. La academia debe cambiar la forma en que piensa sobre los medios, los fines y la finalidad de su propia innovación. Es necesario que prevea las implicaciones de los nuevos sistemas emergentes, y que se enfrente y solucione los problemas que los retos y oportunidades de este siglo le plantea. La Universidad de este siglo necesita posicionarse estratégicamente si desea formar al tipo de líderes que la Sociedad de la Información y el Conocimiento necesita para enfrentar esos retos. Una forma de lograrlo es asumir una perspectiva ampliada de la ingeniería, desde la que se derive el progreso de la Ingeniería de Sistemas y la lleve hasta una perspectiva multidisciplinar, clave para los futuros líderes en los sistemas emergentes y para las cuestiones importantes que tenderán el puente que se requiere para superar la brecha entre las mencionadas dos culturas.

5. CONCLUSIONES

Las cuestiones sociales y la división cultural que se ha creado y perpetuado desde los Sistema Educativos se centran en dos polos: 1) la ciencia y 2) las artes. Pero el ritmo acelerado del desarrollo tecnológico de este siglo demanda también un cambio en la educación superior y exige un nuevo tipo de profesional en ingeniería como producto de esa nueva y ampliada visión. De esta forma la Universidad podrá graduar ingenieros líderes con las características necesarias para este siglo:

1. Calificados intelectualmente para hacer frente a las dimensiones cruciales de esta sociedad tecnológica.
2. Con orientación hacia resultados prácticos.
3. Con el coraje basado en la experiencia propia para asumir los problemas más difíciles.
4. Con capacidad de liderazgo para hacer que otros avancen en la misma línea.

Al hacerlo ayudarán a mejorar la respuesta de la sociedad a los cambios tecnológicos que la conducen y transforman. Si la academia no se transforma el *statu quo* prevalecerá y la Ingeniería de Sistemas no avanzará en los niveles de la jerarquía de conocimiento hasta la predicción, y dejará de ser la base sobre la que funcionará el motor que conducirá la sociedad hacia el nuevo mundo. El desarrollo y actualización académica para formar ingenieros líderes es una de las formas como esta ingeniería responderá a las necesidades sociales y como la educación superior y las Universidades formarán profesionales en ingeniería que sienten las bases para un mejor el futuro socio-tecnológico.

6. REFERENCIAS

- [1] Serna, M.E. (2010). [Sistemas de Información y Sociedad del Conocimiento](#). Textos y Argumentos, No. 17.
- [2] Serna, M.E. (2009). [La ingeniería de sistemas y su evolución hacia la arquitectura de sistemas](#). Lámpsakos, 2, pp. 96-105.
- [3] Serna, M.E. (2008). [Cómo no naufragar en la Internet](#). Cátedra abierta Facultad de Administración. Universidad de Antioquia. Colombia.
- [4] Serna, M.E. (2009). [El modelo pedagógico en la educación superior: Reto para un mundo globalizado](#). Revista Acierto, 4, pp. 23-37.
- [5] Crawley, E. et al. (2004). [The Influence of Architecture in Engineering Systems](#). Engineering systems Monograph. The ESD Architecture Committee, MIT.
- [6] Nuefville, R. (2004). [Uncertainty Management for Engineering Systems Planning and Design](#). Engineering systems Monograph. The ESD Architecture Committee, MIT.
- [7] Sterman, J. D. (2000). [Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World](#). USA: McGraw-Hill/Irwin.
- [8] Carloni, L. et al. (2004). [Modeling Techniques, Programming Languages, Design Toolsets and Interchange Formats for Hybrid Systems](#). Project IST-2001-38314 Columbus School. USA, Columbus.
- [9] U.S. Department of Commerce. (1999). [Strategic planning for economic development: Moving beyond the overall economic development program](#). Corporation for Enterprise Development.
- [10] Cutcher-Gershenfeld, J. et al (2004). [Sustainability as an Organizing Design Principle for Large-Scale Engineering Systems](#). Engineering systems Monograph. The ESD Architecture Committee, MIT.
- [11] Hastings, D. (2004). [The Development of Leaders who are Engineers](#). MIT Engineering Systems Division.
- [12] Kennedy, D. (1997). [Academic Duty](#). Cambridge: Harvard University Press.
- [13] Snow, C.P. (1993). [The Two Cultures](#). USA, Cambridge University Press.