Systems engineering for the XXI century: A proposal from the academy

Ingeniería de sistemas para el siglo XXI: Una propuesta desde la academia

Edgar Serna M.

Facultad de Ingenierías Universidad de San Buenaventura Medellín edgar.serna@usbmed.edu.co

RESUMEN

Los retos que plantea el desarrollo de los nuevos sistemas exigen una nueva orientación en la formación de los ingenieros, quienes posteriormente plantearán soluciones a esos problemas. En el siglo XXI se requieren ingenieros de sistemas que integren una serie de áreas y disciplinas del conocimiento que complementan lo que hasta ahora conocemos como Ingeniería de Sistemas. Ya no se necesitan más ingenieros desarrolladores, hoy se requieren ingenieros profesionales integradores, verdaderos líderes y arquitectos de sistemas que aprovechen el desarrollo tecnológico para beneficio de la sociedad, que integren las ciencias sociales 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 en la que se plantea la necesidad de modificar el enfoque que las facultades le dan a estos programas, para lograr formar ingenieros líderes de acuerdo con las necesidades del presente siglo.

Palabras clave: Ingeniería, formación, Ingeniería de Sistemas, ciencias sociales, 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, real leaders and system architects that make the most of the technological development for the benefit of society, leaders that integrate social 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 faculties have given to these careers, to achieve the education of leader engineers as needed according to present century requirements.

Keywords: Engineering, training, Systems Engineering, social sciences, Computer Science.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el nacimiento hasta la muerte, el ser humano vive apoyado en un complejo e interconectado conjunto de sistemas: sistemas financieros, sistemas de asistencia médica, sistemas de transporte, sistemas de información,... que soportan infraestructuras de comunicación, de agua, de energía, económicas,... esenciales para la supervivencia de una sociedad avanzada (Serna, 2010a). Muchos de estos *sistemas*, si bien son importantes para la supervivencia, no son jurisdicción directa de los ingenieros. Por ejemplo, desde la infancia 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 que en ambos casos desarrollan conocimientos científicos acerca de cómo funcionan nuestros cuerpos y cómo aprenden nuestras mentes.

De igual manera, interactuamos cada vez más con una clase de sistemas que, para su existencia, dependen de las tecnologías o artefactos tecnológicos, y que son jurisdicción directa de la Ingeniería de Sistemas (Serna, 2009a). Estos *sistemas* proporcionan gran parte de las funciones de la sociedad moderna: el control de tráfico aéreo mundial, la Internet, la red de comunicaciones mundial, 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 sociotécnicas, que determinan el diseño u operación del mismo. Por supuesto, muchos están interconectados, y juntos conforman "sistemas de sistemas"; por ejemplo, el sistema de control de tráfico aéreo, el sistema de comunicaciones y el sistema 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 claramente cómo algunas de las infraestructuras críticas en los EE.UU. están conectadas entre sí, y cómo los fallos en una pueden tener efectos inmediatos o a largo plazo sobre las otras.

Estos sistemas han sido analizados parcialmente mediante herramientas de investigación de operaciones, el análisis de sistemas y la economía, y 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 las políticas que rigen su uso a menudo surgen después que se han fabricado. Calcular los presupuestos para su realización se considera en gran medida como un arte, por lo que muchos, principalmente los grandes y complejos, sobrepasan presupuestos y calendarios. Además, algunos tienen consecuencias sociales sorprendentes, como utilizar Internet para la divulgación de correo *spam*, y la interacción entre este uso emergente y el mismo diseño técnico de la Internet (Serna, 2008).

Lo que se necesita es el desarrollo de una visión holística de estos sistemas, que tenga en cuenta todas las cuestiones asociadas con ellos. Esta visión integradora y holística de sistemas desarrollados tecnológicamente es el campo que le concierne a la Ingeniería de Sistemas de este siglo, y es el núcleo del desarrollo profesional para sus ingenieros. En la academia 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 otras disciplinas (Serna, 2009b). Por supuesto, esto se debe a que detrás de gran parte 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 sociales modernas. Al igual que con todos los modelos, el objetivo final de esta combinación de disciplinas debe ser: modelar y predecir el comportamiento de estos sistemas complejos en un contexto completo.

En este trabajo, se explora y proyecta un futuro desarrollo intelectual de lo que denominamos Ingeniería de Sistemas en el contexto de las cualidades que el siglo XXI exige de los líderes que desarrollan esta área.

2. ESTADO ACTUAL DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS

La palabra "sistemas" tiene un uso muy amplio. La definición de 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 a la amplitud de su 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
- Oue tengan interacciones sociales y naturales con la tecnología
- Que posean propiedades emergentes.

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

La descripción de la Ingeniería de Sistemas como compleja se entiende desde el punto de vista de que tiene propiedades no lineales en las que las salidas del sistema no están relacionadas directamente con las entradas. En parte, este comportamiento no lineal de los flujos desde múltiples escalas de tiempo es subyacente al sistema, junto con la aplastante presencia de la incertidumbre. Además, también se deriva del hecho de que estos sistemas están conformados por piezas y decisiones importantes, 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 Internet (Serna, 2008); 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 interdisciplinar, ciencias administrativas y ciencias sociales:
 - La incorporación de propiedades del sistema en el proceso de diseño, tales como sostenibilidad, seguridad, calidad y flexibilidad, o sea propiedades del ciclo de vida en lugar de propiedades de primer uso
 - Una perspectiva de empresa
 - La incorporación de las diferentes perspectivas de las partes interesadas.
- 2. Un conjunto de propiedades, comúnmente llamadas no funcionales, que hacen hincapié en el hecho de que existen importantes consideraciones intelectuales asociadas al uso de los Sistemas de Ingeniería, que pueden ser muy diferentes de las de primer uso, para las que los sistemas fueron diseñados. Estas propiedades pueden llegar a dominar el uso de los sistemas.

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 tener las personas que los diseñarán y operarán. La jerarquía de conocimientos con la que es posible explorar esta comprensión se representa en los siguientes niveles:

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

Muchos campos de la ingeniería empezaron en el nivel 1 y se movieron hasta el nivel 7. Un buen ejemplo es la termodinámica, que comenzó con las observaciones de las máquinas de vapor que se fabricaban mediante un

proceso de prueba y error; luego, al pasar el tiempo, se descubrieron y promulgaron nuevas leyes, y finalmente se indujeron las de la termodinámica clásica, lo que le permitió a los ingenieros avanzar al nivel 7 con los motores termodinámicos. Esto también les ofreció la oportunidad de darse cuenta de que las tres leyes de la termodinámica sustentaban todas las observaciones previas, y les permitió la construcción de nuevos tipos de máquinas. Este proceso también es válido para la aerodinámica, que al principio se basaba únicamente en la observación de cómo volaban las aves para desarrollar una comprensión del aerodinamismo, y que luego, una vez que las leyes de conservación se comprendieron y aplicaron a los gases compresibles, 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, los temas acerca de los modernos aviones comerciales generalmente no son aerodinámicos, como la fabricación y el costo-eficiencia del ciclo de vida.

El estado actual de la Ingeniería de Sistemas, según la definición descrita, se encuentra entre los niveles 2 y 4, ya que algunos de los sistemas actuales 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 los ingenieros construyan sistemas complejos con una perspectiva holística, pero con un buen conocimiento de los probables beneficios, costos y consecuencias de dicha construcción. Esto les permitirá desarrollar sistemas dentro del presupuesto, entregarlos a tiempo y con el rendimiento esperado por los usuarios.

3. BASES DISCIPLINARES DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS DEL SIGLO XXI

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 la energía de fusión requirió de los avances de la física del plasma. Sin embargo, mientras que comprender la física del plasma es esencial para diseñar un reactor de fusión, no es suficiente, ya que 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 la unión mancomunada de 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 es necesario formar a los futuros ingenieros aplicando procesos interdisciplinares. Esto facilitará mayor comprensión y progreso de esta rama de la Ingeniería, a la vez que avanza en la jerarquía de conocimientos. Las disciplinas subyacentes necesarias planteadas desde trabajo son: arquitectura de sistemas y desarrollo de productos, investigación de operaciones y análisis de sistemas, ingeniería administrativa, y tecnologías y políticas (Serna, 2009a).

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 es en estas formas donde el producto experimenta el proceso de la Ingeniería de Sistemas. Si bien el desarrollo de esta Ingeniería, "estructurada en árboles" y "en capas", ha experimentado un considerable desarrollo, no puede decirse lo mismo de la arquitectura de sistemas, ya que todavía se considera un arte mediante el cual los arquitectos tratan de llegar a consensos sobre conceptos para satisfacer 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. (2004) discuten en su trabajo.

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. La investigación de operaciones necesita desarrollar una comprensión de la naturaleza de optimización en la que las

cuestiones del ciclo de vida del producto son importantes, como también la cuantificación de las cuestiones de flexibilidad. En esto existe un desarrollo significativo que puede aplicarse mediante técnicas de ingeniería financiera, en particular las opciones reales, como una forma de valorar la flexibilidad (Neufville, 2004). El análisis de sistemas desarrolla técnicas macroscópicas de dinámica de sistemas (Sterman, 2000), que son un método para modelar muchos productos de la Ingeniería de Sistemas, ya que a pesar de que abarcan muchos puntos de vista, a menudo se reducen a comprender la relación de los coeficientes con las existencias y los flujos. Una metodología de análisis más reciente es el modelado basado en agentes, en el que los sistemas se modelan a un nivel mucho 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 tal.* (2004).

Ingeniería administrativa. Todos 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 sistema 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 sea cuantificable. Entonces se podrá 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 (1999).

Tecnologías y políticas. Las interacciones socio-técnicas significativas es una propiedad de los sistemas a gran escala, y de mucho interés para la Ingeniería de Sistemas. Frecuentemente, estas interacciones se observan después de que los sistemas se han diseñado 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 puedan incluirse en el análisis de los sistemas complejos. Varios modelos de este tipo se pueden encontrar en el trabajo de Cutcher-Gershenfeld *et al.* (2004).

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, la interdisciplinariedad de las cuatro áreas subyacentes que aquí se proponen tendrá que formalizarse o al menos llevarse a una simulación computacional aplicable en diferentes ámbitos de la Ingeniería de Sistemas (Serna, 2010b). Esto le ayudará de dos formas: 1) a descubrir un pequeño número de principios generalizables y cuantificables que vayan más allá del nivel heurístico, y 2) a desarrollar un pequeño número de métodos aplicables en los diferentes ámbitos de la Ingeniería. Estos principios serán similares a las leyes de conservación en la mecánica de fluidos, mientras que los métodos podrán cuantificarse en simulaciones computacionales para modelar sistemas complejos.

Una vez que estos principios y métodos sean comprendidos, se podrán estructurar arquitecturas y diseños en Ingeniería de Sistemas que tengan en cuenta los requisitos y los usos futuros parcialmente desconocidos; además, estos usos, incorporados a través de los requisitos no funcionales, se diseñarán de manera predictiva en los sistemas. De esta forma, los sistemas se diseñarán de forma que pueda demostrarse 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. La plena 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 deben combinarse con poderosas simulaciones por computador para modelarlos y predecirlos.

Una cuestión de fondo es si la dimensión humana de la Ingeniería de Sistemas podrá incluirse plenamente en la predicción cuantitativa de los sistemas de ingeniería. Ciertamente, el análisis de decisiones tradicional y la teoría de juegos permiten la inclusión de muchos aspectos de la elección humana, pero estos métodos tienen limitaciones

bien 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 complemente como un área científica en la jerarquía de conocimiento, se podrán predecir dos consecuencias importantes: 1) los estudiantes de pregrado se formarán en ciencias fundamentales de ingeniería, 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 de las ciencias sociales y de los desarrollos tecnológicos de punta, y 2) a nivel de posgrado, se desarrollarán maestrías y doctorados en los diferentes aspectos interdisciplinares de la Ingeniería de Sistemas. El desarrollo de este campo de formación se utilizará para *predecir* el desarrollo de nuevos tipos de sistemas de ingeniería, y para predecir cómo diseñarlos y cómo se comportarán.

4.1 Los nuevos profesionales en Ingeniería de Sistemas

Luego de aplicar esta amplia comprensión de la Ingeniería de Sistemas deberá surgir un nuevo tipo de ingeniero: el ingeniero de sistemas profesional (Cutcher-Gershenfeld *et al.*, 2004). Serán líderes capacitados para integrar los componentes tecnológicos y sociales como parte de los sistemas de ingeniería más grandes, y utilizarán los nuevos y diferentes enfoques con base en el paradigma de la ciencia de la ingeniería tradicional. Estos profesionales examinarán al contexto en el que el sistema operará como una variable de diseño, y no como una restricción. Por lo tanto, tendrán en cuenta el diseño organizacional sobre el que operará el sistema o 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. El proceso de diseño desde esta perspectiva incluirá: 1) a los atributos físicos, del dominio de la ingeniería tradicional; 2) a los atributos del proceso, del dominio tanto de los ingenieros como de los administradores; y 3) a los atributos de contexto, que tradicionalmente han sido del dominio de los administradores, los gobiernos y las ciencias sociales.

Como líderes, serán útiles en la sociedad y en la academia para desarrollar un enfoque interdisciplinar en el diseño de las soluciones a los problemas concernientes a la Ingeniería de Sistemas, en el que considerarán el contexto en que los sistemas se inician, se diseñan, se fabrican, se desarrollan, se aplican y se mantienen. Este contexto estará sometido a cambios significativos como resultado de la globalización, la revolución de la información – especialmente Internet—, y las preocupaciones sociales emergentes —particularmente la sostenibilidad. Esta perspectiva ya se refleja en comentarios como: "Los avances de la humanidad dependerán cada vez más de los nuevos planteamientos integradores a los sistemas complejos, los problemas y las estructuras. La síntesis de diseño y la sinergia entre las fronteras disciplinarias tradicionales serán elementos esenciales de la educación y la investigación" (Hastings, 2004).

Como profesionales de la Ingeniería de Sistemas serán cruciales 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. Estos estudiantes, una vez se conviertan en ingenieros, no serán tan 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. Este nuevo tipo de *maestro* llevará a cabo un proceso riguroso de integración e impulsará la ciencia de ingeniería tradicional, orientando a la academia a pensar más ampliamente sobre la naturaleza de la nueva ingeniería, que los desarrollos tecnológicos y sociales reclaman para este siglo.

Las facultades de Ingeniería y los estudiantes de sistemas ayudarán a la academia a abordar las cuestiones descritas por Donald Kennedy (1997), quien en el capítulo final se pregunta: "¿Pueden realmente las universidades 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, ya que, como afirma Kennedy, la academia 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, estos problemas 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 la anterior pregunta está en la propuesta descrita en este trabajo de formar líderes que puedan operar con la "interfaz" entre tecnología y sociedad, con una visión integradora de los sistemas de ingeniería, y con la capacidad de predecir su futuro comportamiento. Esos profesionales le ayudarán a la academia a vencer lo que Snow (1993) hizo famoso el siglo pasado como el "mundo de las dos culturas"; y será la academia exactamente el tipo de lugar en el que estos líderes prosperarán y en el que sus estudiantes podrán formarse. Pero la academia no podrá ser la de siempre, ya que una academia dividida por estrechas líneas disciplinares y con desdén por el trabajo multidisciplinario no lo logrará. La academia tiene que 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 de ingeniería emergentes, y que se enfrente y solucione los problemas que los retos y oportunidades de este siglo le puedan presentar. La academia de este siglo necesita posicionarse estratégicamente si desea formar al tipo de líderes que la sociedad actual necesita para enfrentar esos retos. Una forma de lograr que surjan esos líderes es asumir una perspectiva ampliada de la ingeniería, desde la que se derive el progreso en Ingeniería de Sistemas y lo lleve hasta una perspectiva multidisciplinaria clave para los futuros líderes en los sistemas emergentes, así como para las muchas cuestiones importantes que tenderán el puente que se requiere para superar la brecha entre las ya mencionadas dos culturas.

5. CONCLUSIONES

Las grandes cuestiones sociales y la división cultural que se ha creado y perpetuado desde nuestro sistema educativo están polarizadas entre ciencia y artes; pero el ritmo acelerado del desarrollo tecnológico demanda también un cambio en la academia, y exige un nuevo tipo de profesional líder en ingeniería como producto de esta nueva y ampliada visión. De esta forma, la academia graduará líderes de ingeniería con las siguientes características:

- 1. Calificados intelectualmente para hacer frente a las numerosas dimensiones cruciales de nuestra sociedad tecnológica
- 2. Con orientación hacia resultados prácticos, lo que es característico de los profesionales de la ingeniería
- 3. Con el coraje basado en la experiencia propia para asumir los problemas más difíciles de los sistemas
- 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. Sin esa transformación en la academia, el *status 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 a la sociedad hacia el nuevo mundo. El desarrollo y actualización académica para formar ingenieros líderes profesionales es una de las formas como la Ingeniería de Sistemas responderá a esas necesidades sociales, y proporcionará líderes que mejoren el futuro socio-tecnológico.

REFERENCIAS

Carloni, L., Di Benedetto M. D., Pinto A. & Sangiovanni-Vincentelli A. (2004). "Modeling Techniques, Programming Languages, Design Toolsets and Interchange Formats for Hybrid Systems". Project IST-2001-38314 COLUMBUS.

- Crawley, E., Weck O. de, Eppinger S., Magee C., Moses J., Seering W., Schindall J., Wallace D. & Whitney D. (2004). "The Influence of Architecture in Engineering Systems". *MIT Engineering Systems Symposium*. Cambridge, Massachusetts. March 29-31.
- Cutcher-Gershenfeld, J., Field F., Hall R., Kirchain R., Marks D., Oye K. & Sussman J. (2004). "Sustainability as an Organizing Design Principle for Large-Scale Engineering Systems". *MIT Engineering Systems Symposium*. Cambridge, Massachusetts. March 29-31.
- Hastings, D. (2004). "The Development of Leaders who are Engineers". Massachusetts: The MIT Engineering Systems Division.
- Kennedy, D. (1997). "Academic Duty". Cambridge: Harvard University Press.
- Nuefville, R. de (2004). "Uncertainty Management for Engineering Systems Planning and Design". *MIT Engineering Systems Symposium*. Cambridge, Massachusetts. March 29-31.
- Serna, M. E. (2008). "Cómo no naufragar en la Internet". *Cátedra abierta Facultad de Administración*. Universidad de Antioquia. Septiembre 12.
- Serna, M. E. (2009a). "La ingeniería de sistemas y su evolución hacia la arquitectura de sistemas". *Lámpsakos*, No. 2, pp. 96-105. Jul-Dic.
- Serna, M. E. (2009b). "El modelo pedagógico en la educación superior: reto para un mundo globalizado". *Revista Acierto*, No. 4, pp. 21-37. Agosto.
- Serna, M. E. (2010a). "Fundamentación teórica, metodológica y operativa de la línea de investigación en Sistemas de Información y Sociedad del Conocimiento". *Textos y Argumentos No. 17*. Medellín: Publicaciones Funlam.
- Serna, M. E. (2010b). "Métodos Formales e Ingeniería de Software". *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, No. 30. Mayo-Agosto.
- Snow, C. P. (1993). "The Two Cultures". Cambridge: Cambridge University Press.
- Sterman, J. D. (2000). "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World". Boston: McGraw-Hill/Irwin.
- U.S. Department of Commerce. (1999). "Strategic planning for economic development: Moving beyond the overall economic development program". Washington: The Corporation for Enterprise Development, CFED.

AUTORIZACIÓN Y RENUNCIA

Medellín, Colombia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.