

Grandes retos de la ingeniería y su papel en la sociedad

Major challenges in engineering and its role in society

José Ismael Peña-Reyes¹

RESUMEN

La ingeniería tiene una larga e histórica tradición. Como disciplina se inició en el siglo XVI, y en el siglo XX llegó a su madurez. Sin embargo, el siglo XXI tiene características que lo diferencian fuertemente de épocas anteriores. Para referirse a esta época se habla de globalización, de sociedad del conocimiento y de sistemas nacionales de innovación. Ésta es una época caracterizada por contradicciones. Se han dado desarrollos tecnológicos, sociales y políticos que han permitido una mejora en la calidad de vida de los seres humanos. Nuevas tecnologías determinan el contexto de la década que comienza: nanotecnología, microelectrónica y nanoelectrónica, fotónica, ciencia de materiales, biotecnología, tecnologías de la información y la comunicación, logística, bioingeniería y energías limpias y renovables; tecnologías que se retroalimentan entre ellas ofreciendo infinitas posibilidades de desarrollo. Una época donde se han abierto las puertas de la democratización política, del arte y de la cultura. Pero también un mundo en crisis política, financiera y ambiental. Y un país con problemas de competitividad, con índices agobiantes de corrupción e impunidad, con problemas en educación, salud e infraestructura. Colombia requiere más ingenieros que puedan apoyar la solución de problemas de alta complejidad; ingenieros con excelente formación técnica y humanística, creativos, capaces de trabajar en equipo, líderes capaces de escuchar y de comunicarse y que ayuden a desarrollar un mundo que garantice que los humanos y las demás especies vivas florezcan en la tierra con un nivel de calidad de vida uniforme y duradero. Por esta razón, se debe trabajar en la formación de ingenieros críticos y se presentan algunas características de cómo debería ser la formación de dichos ingenieros .

Palabras clave: ingeniería y sociedad, ingenieros—formación, ingeniería—retos en el siglo XXI.

ABSTRACT

Engineering has a long historical tradition; it began as a discipline in the sixteenth century and reached maturity during the twentieth century. However, the twenty-first century's features strongly differentiate it from earlier times; when referring to this period, we speak of globalisation, knowledge society and national innovation systems. This is a period marked by contradictions. Technological developments and social and political changes have improved human beings' quality of life. New technologies have provided the context for its opening decade: nanotechnology, microelectronics and nanoelectronics, photonics, materials science, biotechnology, information and communications technology, logistics, medical engineering and renewable and clean energy. Technologies feed each other and off each other, offering endless possibilities for development. This is a time where the doors of political democratisation, art and culture have opened; however, it is also a world facing political, financial and environmental crisis. Colombia, particularly, is a country encountering problems regarding its competitiveness, having crippling levels of corruption and impunity, problems related to education, health and infrastructure. Colombia needs more engineers who can contribute towards resolving complex problems. Such engineers must have had excellent technical and humanistic training; they must be creative, able to work as a team, have become leaders who can listen and communicate and help develop a world to ensure that humans and other living species on earth can flourish with a uniform, durable level regarding their quality of life. Work must thus be done on critical engineering education and the present work presents some characteristics concerning what these engineers training/education should be.

Keywords: engineering and society, engineer—training, engineering—challenges in the 21st century.

¹ Ingeniero de Sistemas, Espec. en Pedagogía y en Filosofía de la Ciencia. M.Sc. en Management de Sistemas de Información y en Ciencias de Gestión, Ph.D. en Ciencias de Gestión—Sistemas de Información. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. jipenar@unal.edu.co

Recibido: marzo 31 de 2011

Aceptado: junio 27 de 2011

Introducción

La ingeniería juega un papel fundamental en el desarrollo económico de los países. Los ingenieros aplican la ciencia y la tecnología para mejorar la infraestructura que permite el aumento de la riqueza y del nivel de vida de la población. La sociedad disfruta de grandes conquistas de la ciencia y la tecnología. La ingeniería ha apoyado el proceso de reificación de teorías en objetos que son omnipresentes y sin los cuales no concebiríamos hoy día nuestra vida: telefonía celular, Internet, tecnología médica, entre muchos otros.

El mundo actual tiene características y contradicciones que lo hacen diferente del de los siglos XIX y XX. Estas contradicciones cuestionan la civilización técnico-científica basada meramente en la innovación tecnológica y que el progreso técnico esté por encima de toda consideración política, social o moral.

Sin embargo, la misma globalización ha producido un gran aumento en la conciencia, principalmente de la juventud, sobre el peligro que corre el planeta, que la lleva a movilizarse como nunca antes en la historia en defensa del ecosistema. El problema está en que este entusiasmo por el planeta no se ve reflejado en un aumento en la inscripción en las facultades de ciencias o de ingeniería, donde los jóvenes podrían tener resultados eficaces en beneficio de la protección global.

Este artículo se inicia con la definición de ingeniería aceptada en nuestro medio. Luego presenta una reflexión sobre el contexto socioeconómico y tecnológico nacional en el cual los ingenieros deben desarrollar su actividad profesional. A continuación muestra algunos datos sobre la formación de los ingenieros en Colombia y plantea una reflexión sobre el futuro de la ingeniería en una Colombia insertada en un mundo globalizado. A manera de conclusión, indica algunas acciones que se deben implementar para garantizar ingenieros capaces de afrontar los retos presentes y futuros.

La ingeniería

La ingeniería tiene una larga e histórica tradición. Se reconoce a Imhotep, el ministro jefe del faraón Zoser (2.750 años a. C.), como el primer "ingeniero civil", y a María la Judía, como la primera "ingeniera química" (300 años a. C.). Muchos otros grandes "ingenieros" son reconocidos en la Antigua China, en la Grecia Clásica y en la Roma Clásica. El término "ingeniero" fue utilizado por primera vez en el siglo XIV para referirse a quien operaba una *engine* (Rae et al., 2001; Lienhard, 2006). Sin embargo, como disciplina académica, la ingeniería no es tan antigua, y en Occidente han tenido origen dos escuelas: la inglesa y la francesa. La tradición inglesa reconoce al inge-

niero en el mismo rango que el maestro de obra o el carpintero. Francia, por su parte, desde Luis XIV, quien en 1675 creó el *Corps des Ingenieurs du Genie Militaire* (Cuerpo de Ingenieros Militares), y el *Corps des Ponts et Chaussées* (Cuerpo de Puentes y Carreteras), fue la primera en reconocerla como una disciplina, creando la primera escuela de ingenieros en 1747 (Lyons, 2000).

Múltiples estudios muestran que, a pesar de esta tradición, lo que es la ingeniería y lo que hacen los ingenieros no es de conocimiento general. Podría uno sorprenderse de que las sociedades industrializadas no sepan qué es exactamente la ingeniería o qué hacen sus ingenieros (The Royal Academy of Engineering et al., 2007). Muchos no se sorprenderán que los estudiantes de bachillerato tengan diversas y contradictorias respuestas a estas preguntas (Jeffers et al., 2004; Cunningham et al., 2005; National Academy of Engineering, 2008; Caro, 2010). Pero puede resultar más difícil aceptar que los profesores de facultades de ingeniería tengan respuestas limitadas o contrarias entre sí acerca de la profesión (Pawley, 2009; Peña Reyes, 2010).

Actualmente, importantes entidades relacionadas con la promoción y gestión de la disciplina afirman que la ingeniería es un proceso creativo; que es una profesión en la que el conocimiento de las ciencias naturales, las matemáticas y la técnica industrial, adquirido mediante el estudio, la experiencia y la práctica, se aplica para transformar la materia y las fuentes de energía en la naturaleza, con el objetivo de diseñar, implementar, mantener u operar sistemas, equipos, productos o procesos que respondan a una necesidad definida. También agregan que el ingeniero es un agente económico que trabaja en beneficio de la humanidad, bajo restricciones dadas por el contexto tecnológico, económico, social y ético (Colombia, 2003; Conseil National des Ingénieurs et Scientifiques de France 2010; ECPD, ABET, citado en *Encyclopedia Britannica*; National Academy of Engineering, 2004; National Society of Professional Engineers, 2011; The Royal Academy of Engineering, 2010).

El siglo XXI tiene características que lo diferencian de los anteriores. En efecto, se ha afirmado que las competencias y conocimientos que se desarrollan en las escuelas de ingeniería no son suficientes para desempeñarse en el mundo actual (Natarajan, 2009; King, 2009; National Academy of Engineering, 2005).

Contradicciones entre lo tecnológico y lo sociopolítico

Contexto socioeconómico

Para referirse al mundo actual se habla de globalización (Levitt, 1983), de sociedad del conocimiento (Drucker,

1993) y de sistemas nacionales de innovación (Nelson, 1993; Freeman, 1995; Lundvall *et al.*, 2002). La globalización es producto de la conjunción entre el desarrollo acelerado del capitalismo debido a políticas neoliberales que se han impuesto en todo el mundo, y la omnipresencia de las redes de comunicación instantánea. Esta conjunción ha facilitado la democratización de muchas naciones, la valorización de los derechos humanos y en particular de los derechos de los niños y de las mujeres, la libertad sexual, el fin del matrimonio impuesto; el reconocimiento de la importancia de las minorías étnicas, culturales o religiosas; el acceso al arte y a la cultura, entre otros muchos procesos positivos que emergen en la globalización.

También se acepta que ésta es una época caracterizada por profundas contradicciones. Debido a la globalización han emergido otros fenómenos: un proceso mundial de homogeneización y estandarización según modelos estadounidenses, un proceso de resistencia a esa homogeneización por parte de culturas autóctonas, así como el surgimiento de grupos fundamentalistas religiosos antioccidentales. La globalización no funciona para los pobres del mundo, a quienes les aseguraron que serían redimidos por el modelo (Stiglitz, 2003). Las empresas pierden legitimidad y confianza. Los escándalos de Enron, Arthur Andersen, WorldCom, Yahoo en China, IBM en Argentina o en Colombia los escándalos de Nestlé cambiando fechas de vencimiento en sus etiquetas, los crímenes auspiciados por Drummond o por Chiquita Brands, o los escándalos de corrupción de diferentes grupos económicos, son sólo algunos ejemplos de que las empresas no están respetando las reglas de juego social y económico. Han retornado las hambrunas a pueblos que mejoraron su producción agrícola. Aumentan los ingresos en la producción agrícola, pero crece el hambre en esos mismos pueblos. Tampoco funciona la estabilidad económica mundial pregonada y se clama por la creación de un sistema de control y regulación económica mundial. Pero tampoco funciona para el ecosistema, Fukushima es sólo una evidencia más de esa crisis, a pesar de los esfuerzos de muchos medios de relativizar la catástrofe nuclear. La globalización genera una desigualdad que rompe el tejido social y atiza las tensiones proteccionistas; es un caldero que acaba con los recursos naturales escasos o en peligro de extinción; impulsa políticas de acaparamiento y acelera el calentamiento global; es una máquina que inunda el mundo de liquidez y anima la irresponsabilidad bancaria; un casino donde se manifiestan todos los excesos del capitalismo financiero; una centrifugadora que puede hacer explotar a Europa (Artus *et al.*, 2008).

El mito del progreso occidental según la "ley" de la historia hegeliana está en duda. Cada vez más se cuestiona el avance en la construcción de organismos genéticamente modificados y las patentes en dichas modificaciones. La crisis de la energía reflejada actualmente en la crisis de la energía nuclear no puede hacernos olvidar que el pico de

producción petrolera se dio en el 2006 (International Energy Agency, 2010) ni que hay otras fuentes de energía más peligrosas que el átomo, por ejemplo, el carbón, que además de contaminar y empeorar el cambio climático, mata miles de mineros cada año, o las minas a cielo abierto que destruyen tierras de cultivo y acaban, no sólo con el paisaje, sino además con los bosques vecinos. Actualmente el petróleo representa el 32% de la energía primaria, el carbón el 41% y la energía nuclear el 4%. Es necesario que se comiencen a introducir en los costos de las obras de ingeniería los gastos producidos por las catástrofes ocurridas en dichas obras. Por ejemplo, la Corte de Cuentas francesa estimó en el 2005 que dismantelar la central nuclear bretona de Brennilis costaba 482 millones de euros, suma que nunca fue incluida en el costo del kilovatio/hora. Otro ejemplo: investigaciones muestran las variaciones en la pluviosidad, en la temperatura y en general en las condiciones climáticas en sitios donde existen grandes hidroeléctricas en Canadá y en otros países (Assani *et al.*, 2002; Hughes *et al.*, 2011). Estas variaciones pueden ser la causa de las tragedias invernales y sequías. Se requiere investigación que permita determinar la verdadera influencia de las obras en esas tragedias. También es necesario cuantificar dicha influencia para que las empresas que han destruido los páramos o han deforestado el bosque andino o destruido humedales respondan, no sólo por el daño ambiental producido, sino por las pérdidas humanas y económicas en las poblaciones afectadas.

Hay otros fenómenos socioeconómicos que caracterizan el mundo actual: el aumento de la población y de la población urbana, el agotamiento del agua potable, la calidad y el acceso a los sistemas de salud y el envejecimiento generalizado de la población.

En 1960 la población mundial llegaba a 3.031 millones de personas; cuarenta años después, se duplicó. En el 2020 la población puede ser de 8.000 millones de personas; en el 2040 se espera que sea de 9.000 millones (www.bancomundial.org [consulta hecha el 18-04-2011]). Si en el año 1900 el 90% de la población mundial era rural, desde el 2007, por primera vez en la historia de la humanidad, el 50% de los seres humanos viven en centros urbanos, principalmente en países con problemas de infraestructura para garantizar los mínimos niveles de calidad de vida. En el 2030 será urbana el 60% de la población (Véron, 2007). El aumento de la población ha sido una preocupación occidental después de que Malthus afirmara que la población crece más rápido que los recursos alimentarios.

Sin embargo, gracias a los desarrollos de la agricultura mecanizada e industrializada, el volumen de víveres producidos crece más rápido que la población, sobre todo después de la "revolución verde" (Le Bras, 2009). En contraprestación, la agricultura y la ganadería industrializadas gastan dos tercios del agua que se consume en el planeta,

contaminan las capas freáticas y desertifican las tierras por sobreexplotación. La siembra de biocarburantes pone en riesgo otra porción importante de tierras cultivables. Con la producción actual de alimentos, si toda la población se nutriera con un régimen danés, se podrían alimentar 4.000 millones de personas, y con un régimen bangladés, 9.000 millones (Morin, 2011).

El asunto de la agricultura y de la ganadería industrializada nos lleva a otro problema emergente: el acceso al agua potable. Antiguo bien común, hoy comienza a escasear y cada vez más es contaminado por las industrias y las ciudades. Esto condujo a que el agua potable se convierta en un producto comercial de empresas multinacionales. Actualmente, 1.500 millones de personas no tienen acceso al agua potable. En Sudáfrica, 600.000 agricultores blancos consumen en agricultura industrializada el 60% de los recursos hídricos del país, mientras que 15 millones de personas negras no tienen acceso al agua potable. El consumo promedio diario de agua en países en vías de desarrollo es de 20 litros. En Colombia una persona de estrato 1 consume 103 litros diarios, y una de estrato 6, 300 litros diarios. En Italia el consumo promedio diario de agua es de 213 litros, en Estados Unidos es de 600 litros, en California es de 4.000 litros por persona. El consumo recomendado por la OMS, por habitante, es de 80 litros diarios. El 40% del agua empleada para cultivos se pierde por evaporación y el promedio de pérdida en los acueductos de todos los países es del 40%. Tres secretarios de las Naciones Unidas han afirmado que el agua será motivo de conflicto internacional, aun cuando expertos afirman que esta posibilidad es sobreestimada (Jarvis, 2010). Colombia posee 2.132 kilómetros cúbicos de reservas hídricas, lo que lo hace la sexta nación en reservas hídricas después de Rusia, Canadá, Estados Unidos, Indonesia y la China. A pesar de esto, solamente el 52% de los municipios cuenta con servicio de agua potable; 12,9 millones de colombianos, es decir, cerca del 25% de la población, no tienen acceso al agua potable, y el 30% de sus habitantes está expuestos a enfermedades ocasionadas por la mala calidad del agua (Colombia, Defensoría del Pueblo, 2009).

En el modelo económico vigente en el mundo occidental el desarrollo está ligado a un crecimiento ininterrumpido de necesidades que lleva a su vez a un incremento de la producción y del consumo. Actualmente la situación ha evolucionado hacia un aumento desmedido del consumo. Lo que en principio buscaba la satisfacción de las necesidades materiales y espirituales, se ha convertido en una presión por el consumo de bienes innecesarios o de bienes que han sido diseñados para que devengan obsoletos en el corto plazo (Carlton *et al.*, 2002; Miao, 2010). Producto positivo del modelo económico es la aparición o aumento de la clase media en los países en vías de desarrollo, sólo que el precio es el aumento de las necesidades de bienes y energía. A manera de ejemplo, en los últimos años, en China se venden 14 millones de autos

nuevos cada año; en el 2010 esta cifra llegó a 18 millones, llegando a 176 millones el número de autos en ese país.

El aumento de la población también nos obliga a pensar en la salud y en los sistemas de atención en salud. Después del siglo XIX la medicina occidental ha tenido avances significativos y ha coadyuvado a mejorar el nivel de educación en higiene y modo de vida de la población, desarrollos que han permitido un aumento en la esperanza de vida (EV). En 1980 el país con mayor EV era Islandia, con 76,6 años, y Afganistán era el país con más baja EV, con 39,3 años. En el 2010 el país con mayor EV era Japón, con 83,2 años, mientras que Afganistán seguía siendo el país con menor EV, con 44,6 años. Colombia pasó de 65,5 años en 1980 a 73,4 años en el 2010. Aquí la mala noticia es que un aumento en la EV, junto con una baja en la tasa de natalidad, acarrea el envejecimiento de la población, es decir, un aumento porcentual de la edad de las personas, envejecimiento que es generalizado a nivel mundial. En 1950 las personas mayores de 60 años eran el 8%; en el 2009, el 11%, y se espera que en el 2050 sean el 22%. Este envejecimiento no se da en todos los países por igual. Mientras que países como Japón, Italia, Alemania, Suecia, Bulgaria, Finlandia y Grecia tienen más del 24% de su población con más de 60 años, en otros como Qatar, Emiratos Árabes, Burkina Faso, este porcentaje es de menos del 3%. Colombia, junto con México, Venezuela, Perú, Paraguay y Bolivia, tienen menos del 9% de su población mayor de 60 años (United Nations, 2009). El aumento en la esperanza de vida trae consigo retos como mejorar la calidad de la vida de las personas ancianas y garantizar el acceso a los sistemas de salud y a los sistemas de pensiones.

Contexto tecnológico

Nuevas tecnologías determinan el contexto de la década que comienza. Las nanotecnologías, la microelectrónica y la nanoelectrónica, la fotónica, la ciencia de materiales, la biotecnología, las tecnologías de la información y la comunicación, la logística, la ingeniería médica y la energía limpia y renovable han sido definidas como estratégicas para la Unión Europea (European Commission, 2008) y para Estados Unidos (National Academy of Engineering, 2004).

La nanotecnología permite crear estructuras y materiales moleculares, y los desarrollos en esta ciencia se reflejan en aplicaciones en bioingeniería, ciencia de materiales y electrónica. Son claves las nanotecnologías para la asistencia sanitaria, la energía, el medio ambiente y la fabricación de mercancías.

La microelectrónica y la nanoelectrónica, por su parte, son esenciales para todos los bienes y servicios que requieren controles inteligentes en transporte e industria aeroespacial.

La fotónica proporciona la base para la conversión económica de luz solar en electricidad y tiene importancia en la producción de energías renovables y de equipos electrónicos.

La ciencia de materiales es fundamental para las ingenierías civil, mecánica y mecatrónica, siendo utilizada en la industria aeroespacial, en transporte, construcción y asistencia sanitaria; además, para aumentar la capacidad de reciclaje, disminuyendo la demanda energética y la demanda de materias primas.

La biotecnología es utilizada en procesos industriales y agroalimentarios. Permitirá la sustitución progresiva de materiales no renovables. Los avances en esta ciencia han permitido una mejora de la calidad de vida. Investigación en ingeniería de tejidos y medicina regenerativa proveerá la tecnología que permita el reemplazo de partes enfermas o curación de heridas sin cirugía invasiva. Actualmente es utilizada en quemaduras de piel. Los avances en biotecnología, junto con los de nanotecnología, microelectrónica y nanoelectrónica, podrán ser utilizados en la construcción de *nanobots* para reparar tejidos o limpiar arterias. Desarrollos en bioinformática utilizando la base de datos del genoma humano, permitirán la creación de medicamentos personalizados de acuerdo con las características biológicas de cada individuo.

Otra tecnología que se impone es la logística, las compañías globalizadas dependen de ella como una herramienta que ayuda a organizar las actividades y mejorar la productividad.

Los accidentes nucleares, el pico de producción petrolera, el cambio climático, nos obligan a trabajar en investigación y desarrollo de energía limpia y eficiente. Los ingenieros comienzan a crear redes eléctricas inteligentes que involucran eficaces sistemas de gestión y comunicaciones. Se requieren desarrollos en computación para el manejo de la interconexión y generación distribuida, almacenamiento de energía y desarrollo de energías renovables: solar, eólica y biomasa. Los sistemas de control industrial inteligentes permiten una gestión más eficiente de la generación, el almacenamiento, el transporte y el consumo de electricidad por medio de redes y dispositivos eléctricos (European Commission, 2008).

Una conclusión que puede sacarse de estas tecnologías es que se caracterizan por depender su desarrollo de las demás y entre ellas se alimentan y soportan mutuamente.

Contexto nacional

Las empresas colombianas tienen problemas de competitividad, en particular con la incorporación de tecnologías de información en sus procesos de producción. Según el índice de competitividad de las empresas con relación a las TIC, Colombia ocupa el puesto 52 entre 66 países (Thomas *et al.*, 2008), con un índice de 25,4 puntos sobre un total posible de 100. El índice está elaborado con seis

variables: 1) la evaluación del ambiente global de negocios (10%); 2) la infraestructura de TIC (20%); 3) el capital humano (20%); 4) el ambiente legal (10%); 5) el ambiente de investigación y desarrollo (25%); y 6) el soporte para el desarrollo de la industria de tecnologías de la información (15%).

En otro estudio el Foro Económico Mundial clasifica a Colombia en el puesto 68 en una lista de 139 países con el índice de disponibilidad de conectividad, y en el 78 entre 139 en el índice de competitividad global (Soumitra *et al.*, 2009; Schwab, 2010). La calificación de Colombia en este estudio es relativamente estable en los últimos años, ubicándose en la posición 68/139, por debajo de países como Chile (posición 30), Puerto Rico (41), Barbados (43), Panamá (53), Costa Rica (56), Brasil (58), Uruguay (64) y México (66). Esta calificación muestra que Colombia tiene una fortaleza competitiva en tamaño del mercado (posición 32), pero los demás factores están en situación intermedia: la calidad del ambiente macroeconómico (posición 50); o en situación crítica: sofisticación de los negocios (61), éxito en la adopción de tecnología (63), infraestructura en telefonía y electricidad (posición 68); o en situación muy crítica: infraestructura de transporte (posición 111), debilidad institucional (posición 103) y seguridad (138).

Hay otras categorías donde el país también debe trabajar fuertemente porque los índices nos castigan, como el de la impunidad, del 95% al 98% (Blanquer *et al.*, 2002), y el de violencia, que nos ubica entre los 15 países más violentos del mundo y con tendencia a empeorar (Institute for Economics and Peace, 2010).

También nos debe preocupar el bajo desempeño de nuestros estudiantes en las pruebas PISA en matemáticas, ciencias y lectura (www.mineducacion.gov.co [consulta hecha el 18-04-2011]). El mal desempeño en matemáticas nos informa que nuestros estudiantes no pueden interpretar situaciones en contextos que sólo requieren una inferencia directa, ni utilizar algoritmos, fórmulas, procedimientos o convenciones elementales. Mal desempeño en ciencias revela que estamos en incapacidad de utilizar el conocimiento científico, de identificar situaciones científicas, de explicar fenómenos científicos y de extraer conclusiones basadas en evidencias con el fin de comprender y tomar decisiones relativas al mundo natural y a los cambios producidos en la actividad humana. Y el mal desempeño en lectura se refleja, entre otras cosas, en la incapacidad de acceder a programas de ciencias y de ingeniería, pero sobre todo de analizar información de manera crítica. Esta situación es peor en los estratos sociales bajos.

Los problemas en el nivel educativo de la población, en conjunción con los de infraestructura, los niveles de pobreza, la falta de oportunidades —con un ascensor social que no funciona— y los altos índices de impunidad, exa-

cerban la violencia y la corrupción en todos los ámbitos y que su aceptación sea generalizada, así como la de la violación del Estado de derecho y el irrespeto a las reglas del juego social y económico.

La formación de ingenieros en Colombia

La población colombiana es de 45,5 millones de habitantes. El promedio de edad es de 27,1 años y la esperanza de vida llegó a 73,4 años. En el 2009, 4.242.308 colombianos vivían en el extranjero, emigrando la mayoría de ellos en procura de mejores condiciones laborales o por causa del conflicto interno. Sus remesas representan el 2% del PIB (<http://www.banrep.gov.co> [consulta hecha el 3-03-2011]). El 92,8% de la población está alfabetizada. La esperanza de vida escolar es de 12 años. Los gastos en educación son del 4,7% del PIB; 4.236.000 universitarios tienen una edad entre los 17 y los 21 años (www.dane.gov.co [consulta hecha el 25-04-2011]).

En Colombia 1.494.000 estudiantes se encuentran registrados en instituciones de educación superior, de los cuales 485.505 están en nivel técnico y tecnológico. Incluyendo instituciones y programas de nivel técnico que no requieren registro calificado, el nivel de cobertura en educación superior es del 35,3%. Tomando sólo los programas con registro calificado, esta tasa es del 25% (Colombia, Ministerio de Educación Nacional, 2006). En el 2009 había 472.188 estudiantes en primer año de educación superior; de éstos, 129.852, es decir, el 27,5%, estaba matriculado en programas de ingeniería o arquitectura; el 20,6% en programas de administración y el 9,3% en los de educación. Entre los estudiantes de primer año en programas de ingeniería, 32.592 (el 25,1% de los matriculados en esta área), estudiaban ingeniería de sistemas, 20% ingeniería electrónica, telecomunicaciones y afines, 19,1% ingeniería industrial y 7,8% ingeniería civil y afines, (<http://snies.mineducacion.gov.co> [consulta hecha el 18-04-2011]). Según estos datos, Colombia es el país de América Latina que tiene la tasa más alta de estudiantes en ingeniería; en el otro extremo está Argentina, cuyos estudiantes de ingeniería representan sólo el 7% de todos los estudiantes universitarios; el promedio en América Latina es del 14% (Gazzola *et al.*, 2008).

La formación de los ingenieros en Colombia se enfrenta a problemas relacionados con el nivel educativo de los docentes, altas tasas de repitencia de cursos en ciencias básicas, abandono escolar y bajo nivel de atracción de bachilleres hacia el estudio de la ingeniería. El número de docentes universitarios con título de doctorado sigue siendo extremadamente bajo. En el 2008, de 111.253 docentes, 4.065, es decir, el 3,7%, poseía título de doctorado (www.universidad.edu.co [consulta hecha el 15-03-2011]). La medición de la repitencia ha estado ligada a la mala calidad de la información. En varios trabajos se establece simplemente por la diferencia entre el tiempo defi-

nido para terminar un programa y el tiempo real que toma a los estudiantes obtener su diploma. En el caso de ingeniería, la tasa de graduados en los tiempos estipulados en América Latina no alcanza al 20%. Si se excluyera Cuba, que tiene una de las mejores tasas de la región, esta tasa baja al 10% (González Fiegehen, 2006). El problema del abandono también es grave: en el período 1998-2004 fue de 48,2%. Las tasas de abandono más fuertes se encuentran en el primero y el segundo semestre (Colombia, Ministerio de Educación Nacional, 2006).

Las escuelas que forman ingenieros en Colombia no son homogéneas. Existen universidades donde se forman ingenieros de alta calidad y con buena reputación a nivel nacional e internacional, pero también las hay de "garaje" (Misas Arango, 2004), generalmente de bajos costos y que por razones de mercado desplazan a las de mejor calidad (Pérez Quevedo *et al.*, 2011). El proceso de maduración del Consejo Nacional de Acreditación garantiza unos mínimos en los porcentajes de las áreas de formación en ciencias básicas, ciencias básicas de ingeniería, ingeniería aplicada y formación complementaria. Este proceso también ha madurado el proceso de acreditación de alta calidad. La Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (Acofi) también hace importantes esfuerzos para mejorar la formación de los ingenieros, principalmente con la elaboración de pruebas intermedias (EXIM) y colaborando al Ministerio de Educación en la construcción de las pruebas de final de carrera (Saber PRO).

El futuro de la ingeniería y el futuro de nuestra sociedad

Las características del contexto socioeconómico y tecnológico actual llevan a pensar en un aumento de la formación científica y tecnológica. Se requieren más ingenieros para solucionar los problemas. Y los problemas son complejos, lo que lleva a pensar en una formación científica más sólida. Sin embargo, la formación concentrada en lo técnico está produciendo individuos altamente formados pero muy ignorantes en aspectos diferentes a su especialidad: individuos acrílicos y con una pobre formación intelectual; "las naciones están comenzando a producir generaciones de máquinas útiles, más que ciudadanos capaces de pensar por sí solos, capaces de criticar la tradición y comprender el significado del sufrimiento o de los logros de otras personas" (Nussbaum, 2010). La formación de científicos e ingenieros debe estar acompañada por a-prendizaje acerca de la ciencia y la tecnología. Si los estudiantes no aprenden a apreciar elementos acerca de la ciencia tales como su historia, sus relaciones con la cultura, con la religión, con diferentes visiones del mundo, con el comercio, sus supuestos filosóficos, epistemológicos, ontológicos y metodológicos, entonces, la oportunidad para la ciencia y la ingeniería de enriquecer la cultura y las vidas humanas es desperdiciada (Matthews, 1994).

Se están abriendo paso ampliaciones en la definición de la ingeniería que buscan hacerle frente a la necesidad de profesionales integralmente formados. Se trata de que las escuelas de ingenieros desarrollen otras competencias, tales como la creatividad, el trabajo en equipo y la buena comunicación (Pawley, 2009); además, que los ingenieros tengan una educación más integral que les permita a los egresados comprender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto social y global. Los ingenieros requieren conocer la naturaleza de la ingeniería, optimizar una gran variedad de requerimientos y restricciones técnicas, prácticas y políticas en el diseño de soluciones (ABET, 2008).

En esta misma vía, se está abriendo paso una ampliación de la definición de ingeniería que incluye un nuevo concepto: la sostenibilidad. Sostenibilidad, entendida como la posibilidad de que los humanos y las demás especies vivas florezcan en la tierra para siempre. Un ingeniero debe comprender que el planeta tiene límites y que una sociedad que ignore esto, no es sostenible. El *Engineering Council*, del Reino Unido, ha identificado seis principios de sostenibilidad: 1) contribuir a construir una sociedad sostenible en el presente y el futuro; 2) aplicar profesional y responsablemente juicios y desempeñar un papel de liderazgo; 3) hacer mucho más que cumplir con los códigos y la legislación vigentes; 4) utilizar los recursos eficiente y efectivamente; 5) buscar múltiples visiones para resolver retos de sostenibilidad; y 6) manejar el riesgo de modo que minimice impactos adversos en la población y en el ambiente (Bogle et al., 2010).

La formación en sostenibilidad no debe aumentar los cursos en el currículo, sino ser transversal al currículo. Algunos recomiendan reforzar este concepto desde el curso introductorio a la ingeniería, mediante la construcción del concepto de sostenibilidad que involucre conceptos de diseño de procesos y productos, química para el futuro (transformación molecular), pensamiento de sistemas, incluyendo sistemas complejos, incertidumbre, análisis del ciclo de vida de productos, identificación de límites de sistemas para balances de energía y materia, termodinámica y su relación con la sostenibilidad, energía renovable, creatividad, trabajo en equipo, comunicación, trabajo en liderazgo moral y ético, y resaltar al ingeniero como agente de cambio social, (Mihelcic et al., 2008; Marín-García et al., 2009; Byrne, 2010; The Royal Academy of Engineering, 2010; Moloney, 2010; Mulder et al., 2010). Varios estudios muestran que el trabajo en sostenibilidad y ética debe estar integrado en el currículo, estudiado en contextos específicos de la disciplina y no en curso adicionales (Newberry, 2004; Drake et al., 2005; Rydhagen et al., 2011).

Las condiciones de posibilidad a los fines de construir las competencias necesarias para el ingeniero del futuro inmediato no están sólo en la formación científica, es necesaria una fuerte formación humanista que le permita al

estudiante construir habilidades de pensamiento crítico (Nussbaum, 2010).

Hay muchas posiciones sobre lo que significa aprender con enfoque crítico. Algunas de ellas son (Mingers, 2000):

-*El pensamiento crítico*, el cual afirma que ser crítico es desarrollar la disciplina de ser escéptico o cuestionar afirmaciones, proposiciones o información disponible.

-*La teoría crítica* de la Escuela de Frankfurt, en particular los trabajos de Habermas, quien sostiene que se es crítico cuando se cuestiona la validez de las estructuras, los valores y racionalidades dominantes de la sociedad (Habermas, 1987).

-Dos corrientes de pensamiento en la literatura de gestión que se basan en Habermas: *Estudios críticos de gestión* (Alvesson et al., 2000; Alvesson et al., 2006) y *el pensamiento crítico de sistemas* (Jackson, 2000; Mingers et al., 1997; Mingers, 2006), ambas corrientes fundamentadas en: conciencia crítica, conciencia social, complementariedad o pluralismo metodológico, compromiso con proyectos emancipadores y una postura antipositivista en investigación.

-Los trabajos de Foucault, especialmente los realizados sobre *el poder y su relación con el conocimiento*, (Foucault, 1980).

Son válidas entonces las preguntas: ¿cómo construir con los estudiantes de ingeniería estos conceptos que tienen un grado de sofisticación de modo tal que tengan sentido o significado y logren convertirse en una competencia?, ¿cómo hacerlo?, cuando en nuestra sociedad, en el discurso se afirma que debemos ser críticos y formar estudiantes críticos, pero en la realidad el ser crítico es visto como algo negativo, como un discurso que busca destruir más que construir y el crítico es visto como alguien molesto, antagonico y quizás conflictivo.

Para responder estas preguntas, podemos acudir a cuatro aspectos sugeridos por Habermas (Habermas, 1987) que nos pueden ayudar a formar el espíritu crítico en los estudiantes:

1. El pensamiento crítico - *la crítica de los discursos*. En este aspecto se busca que el estudiante evalúe si los argumentos y las proposiciones presentadas tienen sentido. Además se pretende que el aprendiente evalúe si las conclusiones pueden ser obtenidas de las premisas, o si éstas son defendibles. Dicho de otra manera, formar el escepticismo frente a afirmaciones, información o normas en un contexto particular. También, agrega Mingers (2000), debería incluir una autocrítica, permitiendo al estudiante proponerse interrogantes tales como: ¿por qué estoy adoptando cierta actitud?, o ser capaz de proponer alternativas a un problema o situación.

2. Escepticismo hacia la sabiduría convencional - *la crítica*

de la tradición. Las organizaciones, las sociedades, los grupos sociales, tienen actitudes y creencias que son producto de la tradición o la costumbre. Dichas actitudes o creencias pueden estar basadas en muy buenas razones, o haberse consolidado por azar; sin embargo, son aceptadas y en general vividas, aun si en algunos casos se hace de manera inconsciente. Sin embargo, puede haber otras formas más adecuadas de hacer las cosas, por ejemplo, porque la situación ha cambiado o evolucionado, o porque en realidad nunca se produjeron las causas para producir el hábito o porque niegan o contradicen valores que ahora son importantes y que en otra época no lo eran, tales como actitudes sexistas, racistas o ambientales. Una actitud crítica deberá revisar contenidos, costumbres o hábitos aun cuando seguramente va a tener una oposición o si se deciden cambiar van a producir molestia.

3. Ser escéptico de una visión dominante - *la crítica de la autoridad*. Éste es uno de los más difíciles de construir. Muchos estudiantes buscan que se les enseñe la respuesta "correcta" con la suposición de que en todas las disciplinas hay tales "respuestas correctas". El docente podría mostrar que aun cuando existen respuestas mayoritariamente aceptadas, hay otras que son alternativas, incluso en las ciencias naturales. El objetivo será buscar el reconocimiento de la existencia de múltiples perspectivas ante una situación o problema, de manera que permita cuestionar el punto de vista dominante, tratando de "ver el mundo con los ojos de otro" (Checkland, 2000), rechazando la hegemonía de un solo punto de vista o interés y promoviendo, por ejemplo, la aceptación de una pluralidad de posiciones.

4. Ser escéptico de la información y el conocimiento - *La crítica de la objetividad*. Cuestionar la validez del conocimiento y la información disponibles y reconocer que no hay información ni conocimiento libre de valor u objetivo. Para los estudiantes podría ser muy útil evaluar datos que parecen objetivos, tales como resultados de investigaciones cuantitativas o encuestas no científicas, y revisar que dichos trabajos son el resultado de procesos que involucran personas, operaciones y decisiones sesgados por intereses y que dejaron de largo otras cuestiones o variables. Incluso, los resultados de observaciones son sujetos de diferentes juicios de valor. Una simple tabla de datos tiene incorporada muchas presunciones y tiene tantas interpretaciones como pueda tener lectores (Mingers, 2000).

Se puede colegir que una sólida formación crítica permite desarrollar otras competencias como la sostenibilidad y la ética. Los ingenieros pueden comprender, por ejemplo, qué hechos y valores no son separables. El conocimiento crítico le permite develar creencias falsas o situaciones problemáticas que perjudican a la sociedad, e identificar las estructuras que mantienen esas creencias o situaciones y las acciones para transformar o eliminar dichas estructuras. El posible paso siguiente es el compromiso del inge-

niero con la solución para remover esas estructuras que perjudican a la sociedad (Mingers, 2009). El compromiso ético del ingeniero se basa entonces en el conocimiento crítico y debe tener como resultado una acción comprometida. Es claro que conocimiento no es garantía de buen comportamiento, pero la ignorancia es una virtual garantía de mal comportamiento (Nussbaum, 2010). De este modo el objetivo presentado en las academias de que la ingeniería busca el bienestar de la sociedad, será prácticamente posible.

De la misma manera que la formación para la sostenibilidad y el desarrollo de una conducta ética en el estudiante, la formación del pensamiento crítico no es un asunto de agregar nuevas asignaturas, sino de trabajar de manera transversal en desarrollo de todo el currículo. Esto nos lleva a la afirmar que la transformación del ingeniero del futuro inmediato requiere la transformación del docente que actúe críticamente.

A manera de conclusión

Pensar en el futuro de la ingeniería no es un mero ejercicio especulativo, es un ejercicio que tiene consecuencias prácticas. Nos debe llevar a transformarnos a nosotros mismos como ciudadanos del mundo, como docentes, como investigadores y como ingenieros; transformación que parte de la comprensión de los grandes retos del mundo actual, del desarrollo de las disciplinas que afectan la profesión de ingeniero y que debe llevar a un conjunto de acciones que garanticen la formación del ingeniero del futuro.

Los grandes retos del mundo actual están ligados a garantizar acceso a agua potable, energía, salud, seguridad y educación a una población que va en aumento, y reducir por otro lado las emisiones de CO₂ y el impacto humano al cambio climático y a la destrucción del planeta. Adicionalmente, en Colombia están ligados a apoyar la lucha contra la desigualdad, la pobreza, la violencia, a eliminar la fuerte disparidad entre las regiones, a facilitar la incorporación del país en un mundo globalizado y a construir la infraestructura necesaria para el desarrollo del país.

Por otro lado, las tradicionales disciplinas que se formaron en el siglo XIX han sido sobrepasadas por nuevas disciplinas que se están desarrollando vertiginosamente: las nanotecnologías, la microelectrónica y la nanoelectrónica, la fotónica, la ciencia de materiales, la biotecnología, las tecnologías de la información y la comunicación, la logística y la ingeniería médica. Dichas disciplinas afectan el desarrollo de las ingenierías y se retroalimentan entre sí, aumentando su desarrollo.

La sociedad requiere de ingenieros capaces de afrontar los grandes retos del mundo actual y aprovechar eficazmente las disciplinas en desarrollo; ingenieros equipados con las habilidades, actitudes y competencias necesarios

para aplicar sus conocimientos en todos los ambientes de servicios, industriales y comerciales dadas las condiciones crecientes de globalización, las tendencias en el desarrollo tecnológico y el contexto social, global y regional. Estas competencias y cualidades se logran trabajando dos áreas principales: conocimientos técnicos: fuertes conocimientos en matemáticas, ciencias, creatividad e innovación, capacidad para aplicar la teoría a situaciones reales, y una sólida formación humanística que permita desarrollar un pensamiento crítico para afrontar los retos de la sostenibilidad y del comportamiento ético y habilite para trabajar en equipo con buenas habilidades de comunicación en la lengua materna y en inglés, con una clara conciencia racional sobre las implicaciones de las decisiones a nivel regional, nacional y global.

Se requieren, entonces, varias acciones:

-Hacer más atractiva la profesión del ingeniero, con la finalidad de atraer más a los mejores bachilleres a inscribirse en programas de ingeniería. En este sentido es urgente que la universidad cree mecanismos de interacción con los colegios para apoyarlos en una mejor comprensión de la profesión y en la construcción de las competencias necesarias para ser los ingenieros que se requieren en el futuro. Asimismo, una mayor interacción con el sector productivo, la creación de empresas, la investigación y la participación en proyectos de extensión solidaria. Un aumento de la conciencia planetaria de los jóvenes y su deseo de comprometerse en la búsqueda de soluciones debe verse reflejada en el aumento de bachilleres que desean ser ingenieros.

-Buscar mecanismos para atraer los mejores estudiantes provenientes de las múltiples minorías y atraer más mujeres en el estudio de la ingeniería. Más diferencia y creatividad son condiciones de posibilidad para mayores y mejores opciones de futuro.

-Atraer estudiantes internacionales en intercambio y lograr que todo estudiante participe en los procesos de movilidad nacional e internacional realizando intercambios. Una situación ideal sería que todo estudiante haga un semestre de intercambio en una universidad nacional o latinoamericana y al menos un semestre en universidades en países con lengua diferente al español. En este sentido, se deben comenzar a dictar algunos cursos de pregrado en inglés.

-Financiar más agresivamente a los estudiantes de ingeniería de estratos económicos más bajos de la población con el propósito de disminuir la repitencia y el abandono. Con estos estudiantes se debe trabajar más que con otros las debilidades que traen, producto de no hacer parte de los "herederos" y de las deficiencias del sistema educativo nacional. Por ejemplo en lectoescritura, en inglés, en ciencias, en comunicación oral, liderazgo y emprendimiento. Con los mejores estudiantes de estos estratos económicos hay que multiplicar los intercambios interna-

cionales, rechazando de tajo el manido tema de la fuga de cerebros. Aun si estos estudiantes permanecen más de lo inicialmente esperado fuera del país, contribuyen más con el PIB, con las remesas internacionales, que los "herederos"; apoyan más la movilidad internacional de sus allegados y a su retorno vienen enriquecidos de experiencias laborales, académicas, sociales e interculturales y con buenas redes que facilitan la movilidad de otros y la atracción de estudiantes de otras latitudes a nuestras universidades.

-Incrementar la formación autónoma y la capacidad investigativa, y disminuir el trabajo presencial con el docente. Esto requiere más espacios de trabajo independiente y más laboratorios con posibilidades de trabajo sin docente, además de mayor acompañamiento de la institución que estimule y apoye a los estudiantes en este proceso de trabajo autónomo y el aumento de la formación en investigación en los cursos de pregrado, así como estimular y facilitar su tránsito a programas de maestría y doctorado.

-Incrementar el desarrollo de pensamiento crítico, lo que permitirá al país encontrar alternativas de desarrollo, crear condiciones de posibilidad para disminuir eficazmente la corrupción y por ende tener ingenieros con los conocimientos suficientes para discernir técnica, social y éticamente. Además, facilitará la formación de ingenieros que piensen en la sostenibilidad y en el futuro, que comprendan que por ahora no es posible predecir tsunamis o terremotos pero que éstos y las inundaciones pueden estar siendo producidas por el ser humano y como ingenieros pueden ayudar a minimizar el impacto ambiental de nuestras obras. Adicionalmente, que hay formas alternativas de mejorar el nivel de vida de la población como incentivar el consumo responsable; el ingeniero del futuro debe reemplazar el paradigma del consumo incremental de todo (materiales y energía) por otro que reconozca los límites de la Tierra y ser responsable de formar al resto de la población en este concepto.

La construcción de las competencias necesarias para la ingeniería del futuro no debe ser sólo por parte de los estudiantes, sino que ha de darse en paralelo con la construcción de estas competencias por parte del ingeniero docente.

Referencias

ABET., Criteria for accrediting engineering programs., Effective for evaluations during the 2009-2010 accreditation cycle., ABET, 2008, Baltimore, MD, p. 28.

Alvesson, M., Deetz, S., Doing Critical Management Research Sage., London, 2000, p. 240.

Alvesson, M., Deetz, S., Critical theory and postmodernism approaches to organizational studies., in: *The sage handbook of organization studeis* S.R. Clegg, C. Hardy, T.B. Lawrence and W.R. Nord (eds.), Sage, Lon-

don, 2006, pp. 255-283.

Artus, P., Virard, M. P., Globalisation, le pire est à venir: inégalités croissantes, gaspillage des ressources, spéculation financière., course absurde aux profits et implosion de l'Europe La Découverte, 2008, p. 168.

Assani, A. A., Buffin-Bélanger, T., Roy, A. G., Analyse d'impacts d'un barrage sur le régime hydrologique de la rivière Matawin (Québec, Canada)., *Revue des Sciences de l'Eau*, 15:2, 2002, pp. 557-574.

Blanquer, J.-M., Gros, C., Los retos de Colombia al despuntar el tercer milenio., in: *Las dos Colombias* J.-M. Blancher and C. Gros (eds.), Norma, Bogotá, 2002, pp. 7-16.

Bogle, D., Seanab, M., The six principles of sustainability., *TCE: The Chemical Engineer* (825:March) 2010, pp. 30-32.

Byrne, E., Educating the chemical engineer of the future., *TCE: The Chemical Engineer*, 833, Nov 2010, pp. 27-29.

Carlton, D.W., Waldman, M., The strategic use of trying to preserve and create market power in evolving industries., *RAND Journal of Economics*, *RAND Journal of Economics*, 33:2, Summer 2002, pp. 194-220.

Caro, G. et. al La imagen de la ingeniería de sistemas," *Sistemas* (114) 2010, p 148.

Colombia, Ley 842 de 2003., Por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones., 2003.

Colombia. Defensoría del Pueblo., Diagnóstico del cumplimiento del Derecho Humano al Agua en Colombia., Defensoría del Pueblo, 2009, Bogotá, p. 249.

Colombia. Ministerio de Educación Nacional., Diagnóstico de la deserción estudiantil en Colombia., in: *Educación Superior*, Boletín Informativo 2006, p. 20.

Conseil National des Ingénieurs et Scientifiques de France Métier de l'ingénieur., CNISF, www.cnisf.org [consulta: 18/04/2011], Paris, 2010.

Cunningham, C.M., Lachapelle, C., Lindgren-Streicher, A., Assessing Elementary School Students' Conceptions of Engineering and Technology., in: *Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, American Society for Engineering Education, Portland, Ore, 2005, p. 10.

Checkland, P., *Soft Systems Methodology: A Thirty Year Retrospective.*, *Systems Research and Behavioral Science*, 17:1, 2000, pp. 11-58.

Drake, M.J., Griffin, P.M., Kirkman, R., Swann, J.L., Engineering ethical curricula: Assessment and comparison of two approaches., *Journal of Engineering Educa-*

tion, 94:2, Apr 2005, pp. 223-231.

Drucker, P., *The rise of the knowledge society.*, *Wilson Quarterly*, 17:2, 1993, p. 9.

European Commission., *A more research-intensive and integrated European Research Area. Science, Technology and Competitiveness, key figures report 2008/2009.*, European Union, 2008, Bruselas, p. 169.

Foucault, M., *Power/Knowledge: Selected Interviews and Other Writings 1972-1977* Pantheon Books., New York, 1980, p. 270.

Freeman, C., *The 'national system of innovation' in historical perspective.*, *Cambridge Journal of Economics*, 19:1, 1995, pp. 5-24.

Gazzola, A.L., ed., Didriksson, A., ed., *Tendencias de la Educación Superior en América Latina y el Caribe.*, UNESCO, IESALC, 2008, Caracas, p. 410.

González Fiegehen, L.E., *Repitencia y deserción universitaria en América Latina.*, in: *Informe sobre la educación superior en América Latina y El Caribe 2000-2005*, La metamorfosis de la educación superior C. Rama (ed.), IESALC, Caracas, 2006, pp. 156-168.

Habermas, J., *Théorie de l'agir communicationnel.*, Tome 1, *Rationalité de l'agir et rationalisation de la société* Fayard, Paris, 1987, p. 448.

Hughes, L., Chaudhry, N., *The challenge of meeting Canada's greenhouse gas reduction targets.*, *Energy Policy*, 39:3, 2011, pp. 1352-1362.

Institute for Economics and Peace., *Global Peace Index. 2010 Methodology, results & findings.*, Institute for Economics and Peace, 2010, Sydney, p. 63.

International Energy Agency., *World Energy Outlook.*, IEA, 2010, Paris, p. 731.

Jackson, M., *Systems Approaches to Management* Kluwer Academic / Plenum Publishers., New York, 2000, p. 444.

Jarvis, W.T., *Water Wars, War of the Well, and Guerilla Well-fare.*, *Ground Water*, 48:3, 2010, pp. 346-350.

Jeffers, A.T., Safferman, A.G., Safferman, S.I., *Understanding K-12 Engineering Outreach Programs.*, *Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, 130:2, 2004, pp. 95-108.

King, J.E., *Educating engineers for the 21st century.*, in: *International Engineering Education*, R. Natarajan (ed.), INAE, Madras, India, 2009, pp. 3-28.

Le Bras, H., *The Nature of Demography* Princeton University Press., Princenton, 2009, p. 384.

Levitt, T., *The globalization of markets.*, *Harvard Business Review*, 61:3, 1983, p 10.

Lienhard, J.H., *How Invention Begins : Echoes of Old*

Voices in the Rise of New Machines Oxford University Press., Cary, NC, USA, 2006.

Lundvall, B.Å., Johnson, B., Andersen, E.S., Dalum, B., National systems of production, innovation and competence building., *Research Policy*, 31:2, 2002, pp. 213-231.

Lyons, W.C., U.S. and international engineering education: a vision of engineering's future., *Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, 126:4, 2000, p. 152.

Marín-García, J.A., García-Sabater, J.P., Perello-Marin, M.R., Canos-Daros, L., Proposal of skills for the bachelor degree of Industrial Engineering in the context of the new curriculum., *Intangible Capital*, 5:4, 2009, p. 20.

Matthews, M.R., *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science* Routledge., New York, 1994, p. 256.

Miao, C.H., Tying, compatibility and planned obsolescence., *Journal of Industrial Economics*, 58:3, Sep 2010, pp. 579-606.

Mihelcic, J.R., Paterson, K.G., Phillips, L.D., Zhang, Q., Watkins, D.W., Barkdoll, B.D., Fuchs, V.J., Fry, L.M., Hokanson, D.R., Educating engineers in the sustainable futures model with a global perspective., *Civil Engineering & Environmental Systems*, 25:4, 2008, pp. 255-263.

Mingers, J., What is it to be Critical?: Teaching a Critical Approach to Management Undergraduates., *Management Learning*, 31:2, 2000, pp. 219-237.

Mingers, J., Realising systems thinking: knowledge and action in management science., Springer, New York, 2006, p. 328.

Mingers, J., Discourse Ethics and Critical Realist Ethics: An Evaluation in the Context of Business., *Journal of Critical Realism*, 8:2, 2009, pp. 172-202.

Mingers, J., Gill, A., Multimethodology. The theory and practice of combining management science methodologies., John Wiley, Chichester, 1997, p. 443

Misas Arango, G., La educación superior en Colombia: análisis y estrategias para su desarrollo., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004, p. 297.

Moloney, C., Understanding understanding across the disciplines: Towards strategies for sustainable engineering education for the 21st century., Dublin, 2010.

Morin, E., *La voie pour l'avenir de l'humanité* Fayard., Paris, 2011, p. 308.

Mulder, K.F., Segalas-Coral, J., Ferrer-Balas, D., Educating engineers for/in sustainable development? What we knew, what we learned, and what we should learn., *Thermal Science*, 14:3, 2010, pp. 625-639.

Natarajan, R.e., *International Engineering Education -*

Proceedings of the INAE-CAETS-IITM Conference World Scientific., London, 2009, p. 155.

National Academy of Engineering *Engineer of 2020., Visions of Engineering in the New Century* National Academies Press., Washington, DC, USA, 2004, p. 101.

National Academy of Engineering *Educating the Engineer of 2020., Adapting Engineering Education to the New Century* National Academies Press., Washington, DC, USA, 2005, p. 192.

National Academy of Engineering *Changing the Conversation., Messages for Improving Public Understanding of Engineering* NAE., Washington, 2008, p. 149.

National Society of Professional Engineers., *What is engineering.*, Alexandria, VA, <http://www.nspe.org> [consulta: 18/04/2011], 2011.

Nelson, R., ed., *National Innovation Systems : A Comparative Analysis* Oxford University Press., Cary, NC, USA, 1993, p. 554.

Newberry, B., *The Dilemma of Ethics in Engineering Education**, *Science & Engineering Ethics*, 10:2, 2004, pp. 343-351.

Nussbaum, M.C., *Not for profit., Why democracy needs the humanities*, (Kindle ed.) Princeton University Press Princeton, NJ., 2010, p. 144.

Pawley, A.L., *Universalized Narratives: Patterns in How Faculty Members Define "Engineering".*, *Journal of Engineering Education*, 98:4, Oct 2009, pp. 309-319.

Peña Reyes, J.I., *Organizar los programas de ingeniería de sistemas y afines. Tarea para el año 2015.*, in: *Primer Encuentro Nacional de Ingeniería de Sistemas*, REDIS, Paipa, Colombia, 2010, pp. 105-106.

Pérez Quevedo, P.A., Peña Reyes, J.I., *A self-evaluation model as a tool for the evaluation of graduate programs at Universidad Nacional de Colombia.*, *Edulearn 2011*, Barcelona, 2011, p. 12.

Rae, J., Volti, R., *Engineer in History (Revised Edition)* Peter Lang Publishing., Incorporated, New York, NY, USA, 2001, p. 262.

Rydhagen, B., Dackman, C., *Integration of sustainable development in sanitary engineering education in Sweden.*, *European Journal of Engineering Education*, 36:1, 2011, pp. 87-95.

Schwab, K., *The global competitiveness report 2010-2011.*, World Economic Forum, 2010, Geneva, p. 515.

Soumitra, D., Mia, I., *Global Information Technology Report 2008-2009.*, The World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 2009.

Stiglitz, J.E., *Globalization and its discontents* W. W., Norton & Company, London, 2003, p. 304.

The Royal Academy of Engineering., *The Engineers of*

the 21st Century., The Royal Academy of Engineering, London, UK, www.raeng.org.uk, [consulta: 18/04/2011], 2010.

The Royal Academy of Engineering, and Engineering and Technology Board., Public Attitudes to and Perceptions of Engineering and Engineers 2007., The Royal Academy of Engineering, 2007, London, p. 64.

Thomas, K., McCauley, D., ed., How technology sectors grow. Benchmarking IT industry competitiveness 2008., Economist Intelligence Unit, 2008, London, p. 30.

United Nations., World Population Ageing 2009., UN, Department of Economic and Social Affairs, 2009, New York, p. 82.