CIENCIA, ingeniería y sociedad

Rafael Quintero-Torres y Rosa María Bermúdez-Cruz

En los países en vías de desarrollo, y cada vez con mayor frecuencia en los países desarrollados, se identifican organizaciones sociales poco efectivas para lograr los objetivos que les han sido asignados por la sociedad. Entre los países en vías de desarrollo y los desarrollados se puede identificar una marcada diferencia en la manera en que valoran el costo de la ciencia y la ingeniería, y las responsabilidades que les asignan. Se busca entender la correspondencia entre el grado de desarrollo de una comunidad y la relación que tiene la sociedad con la ciencia y la ingeniería; con esta información se pretendería revertir los efectos indeseables en las sociedades en desarrollo y fomentar las relaciones saludables entre sociedad, ciencia e ingeniería.

El avance de la ciencia y la ingeniería se produce de manera natural en un ambiente social que para existir exige la transformación de la naturaleza y la solución de problemas. Asimismo, el grado de desarrollo de la ciencia y de la ingeniería, y su vinculación con los problemas naturales, pueden servir como indicadores del perfeccionamiento y vitalidad de un sistema social. No interesa aquí la manera de generar el conocimiento, sino la razón para generar el conocimiento y su reciprocidad con el sistema social que lo financia.

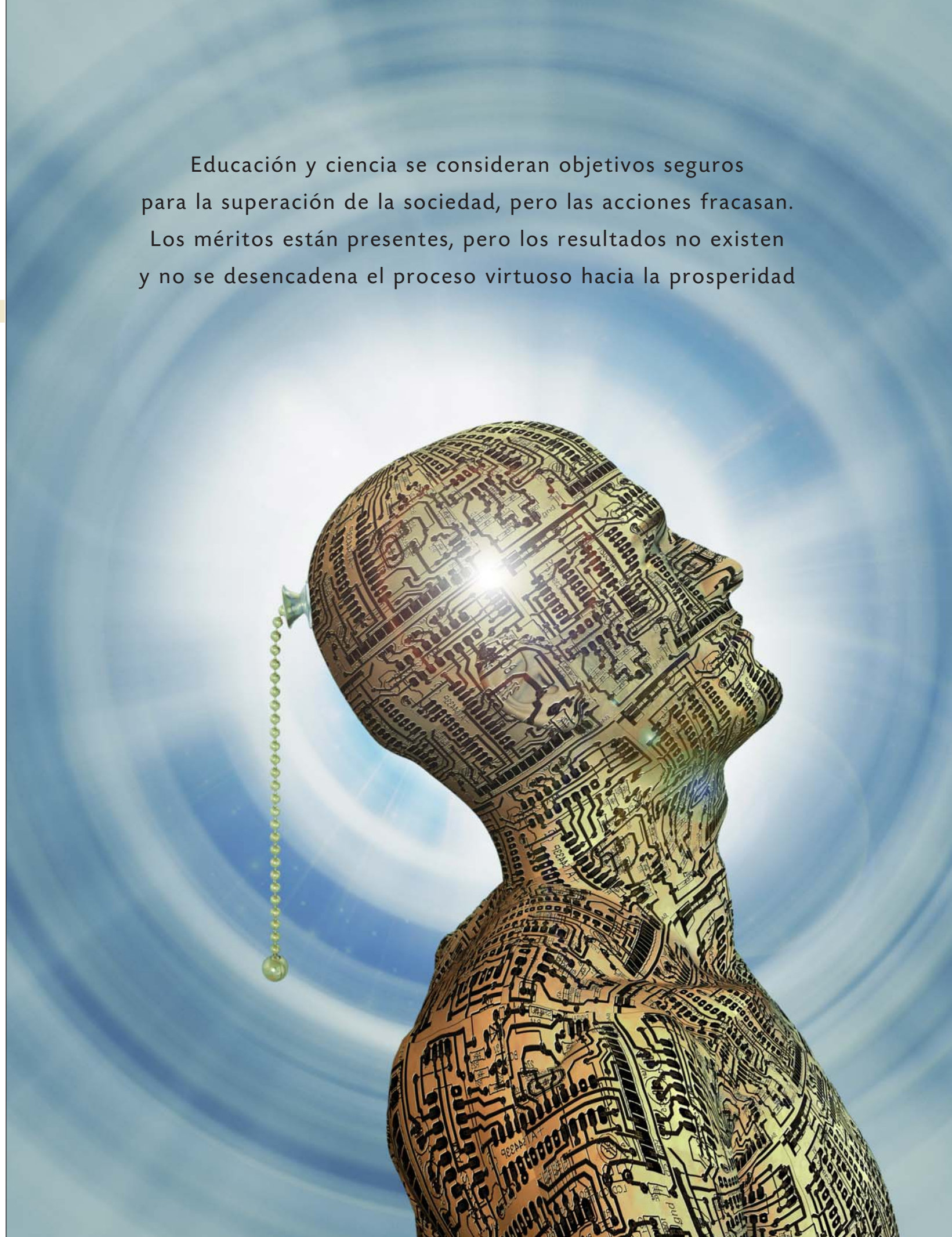
La ciencia y la ingeniería han estado asociadas al desarrollo humano, y sin duda forman parte de la naturaleza humana (Petroski, 1992). En la actualidad, la especialización de funciones ha hecho que estas actividades estén vinculadas y dependan de varias organizaciones sociales. En la Figura 1 se identifican líneas de inter-correlación que pueden indicar estímulo o freno de una sobre otra. De igual manera, podremos hablar de la evolución independiente de los diversos componentes y de cómo esto modifica las correlaciones y las funciones aceptadas inicialmente.

En particular, las universidades pueden ser una muestra representativa del sistema social, que por estar mejor delimitado permite aportar información respecto al sistema social en su conjunto; así, el subsistema "universidad" puede usarse como indicador del sistema social.

Es necesario advertir que las universidades no definen el desarrollo de la ciencia ni de la ingeniería, como tampoco son creadoras de científicos o ingenieros, porque ambas actividades son funciones del sistema social. Así, por ejemplo, predecir el impacto que los estudiantes recién graduados en las universidades tendrán sobre el sistema social es tan difícil como injustificado sería el comentario del cuidador de un tigrillo durante un par de meses que pretendiera elucubrar sobre el impacto del tigre adulto en el entorno.

En general, los sistemas naturales se caracterizan por ser resultado del equilibrio entre sus elementos constitutivos, y en ellos hay condiciones de frontera no arbitrarias determinadas por la existencia de un sistema a su vez más grande. Cuando algún factor domina, se produce la desaparición del sistema o la evolución a un nuevo estado de equilibrio; en tal cambio no existen malas o buenas intenciones, únicamen-

Educación y ciencia se consideran objetivos seguros
para la superación de la sociedad, pero las acciones fracasan.
Los méritos están presentes, pero los resultados no existen
y no se desencadena el proceso virtuoso hacia la prosperidad



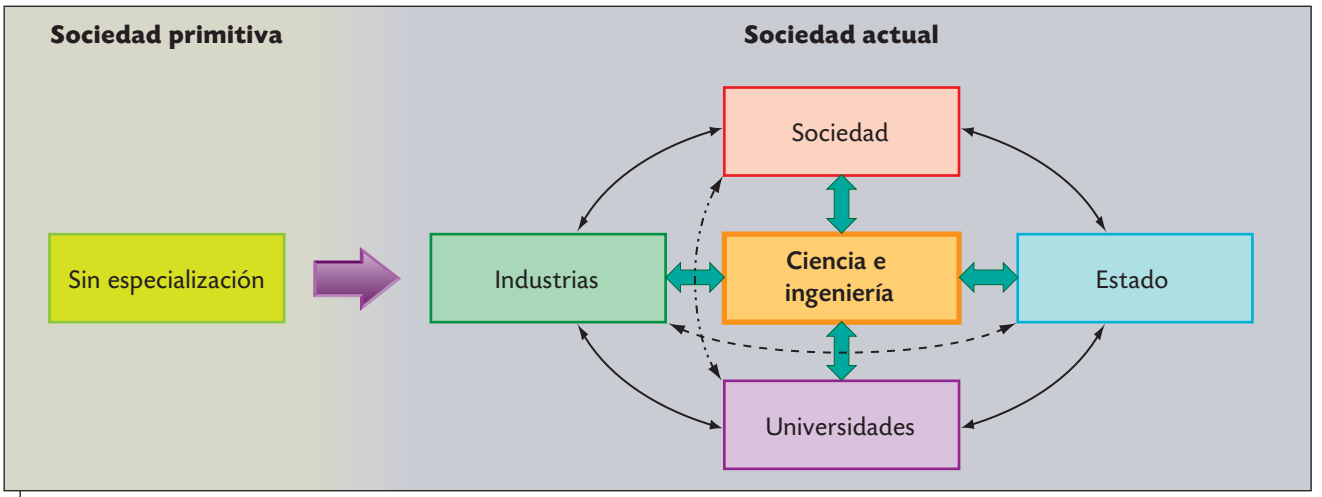


Figura 1. Esquema simplificado donde la sociedad primitiva no requería de especialización de funciones, y el desarrollo de la ingeniería era una práctica común y de subsistencia. En las sociedades actuales, la organización ha especializado las funciones, y el éxito o fracaso del sistema social se debe a la interacción entre ellas. Con el tiempo, un cierto grado de aislamiento entre las funciones ha producido efectos indeseables entre ellas.

te supervivencia de algún sistema. Las funciones que se realizan son especializadas, y con interrelaciones.

Llamaremos *sistema social natural* a los grupos sociales que, por analogía con el sistema natural, poseen en su comportamiento procesos de homeostasis y de retroalimentación (Figura 2). *Homeostasis* significa que se alcanza el equilibrio al responder al medio externo, y *retroalimentación* indica que el sistema compara los resultados con los objetivos. Pertenecer en algún momento a esta categoría no es garantía para permanecer en ella en el futuro; se debe refrendar cada día la capacidad de supervivencia, ya que un nuevo desarrollo o proceso la puede poner en riesgo. Así surge el contexto de la ciencia y de la ingeniería que se desarollan, ya que la supervivencia depende de la solución de problemas, además de ser impulsoras del progreso e indicadores de la buena salud de los sistemas sociales naturales.

Por otro lado, para el propósito que se persigue, definamos los *sistemas sociales artificiales* como sistemas aislados que casi no comparten nada con el entorno y

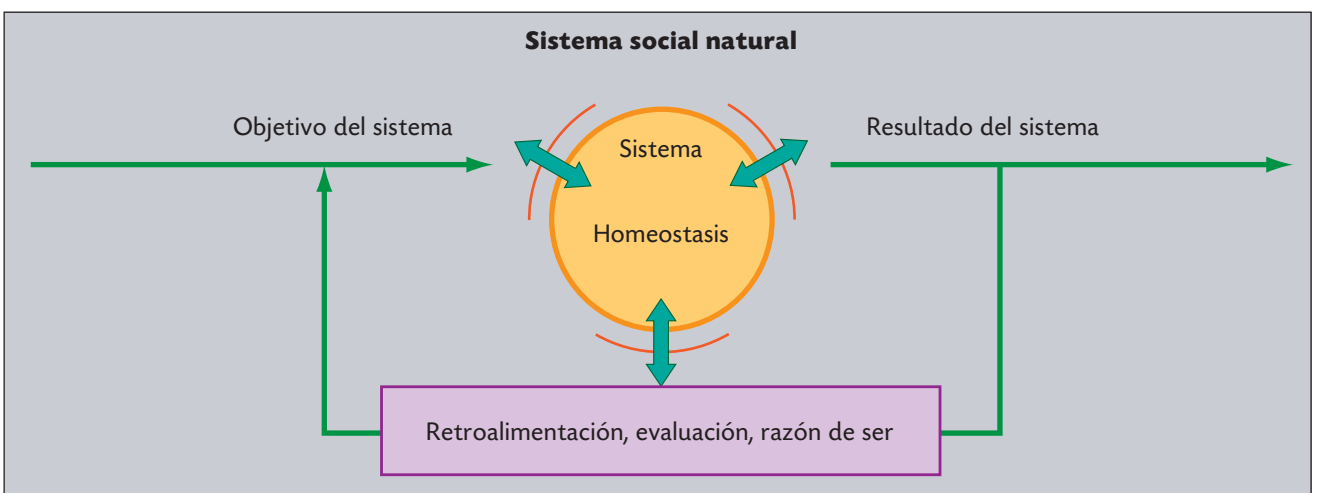


Figura 2. Esquema simplificado de un sistema social natural. La retroalimentación permite comparar el resultado con el objetivo y el sistema está en homeostasis con el resto de sistemas. Su razón de existir es el cumplimiento de su objetivo.

no tienen retroalimentación. En esencia, no tienen necesidad de existir, y su destino más probable es la desaparición. Sorprende ver estos sistemas que se crean por modas, buenas intenciones, pago de favores, o como medidas populistas, proteccionistas o demagógicas; y, por lo general, adquieren vida propia siempre que el subsidio o inyección no sustentada de recursos del exterior les permita subsistir, además de justificar su existencia con toda clase de retórica (Figura 3).

Como ejemplo, si el objetivo fuera "mejorar la comprensión de las matemáticas", existe la posibilidad de cambiar el objetivo a lo largo del tiempo: primero a algo fácil, "mejorar el resultado en el examen de matemáticas", lo que es permitido por la ausencia de retroalimentación; después a algo práctico, como "publicar mi libro de matemáticas". Otro factor que influye en el resultado puede estar dado por el desorden interno que no comparte los objetivos ni los intereses internos y perturba el sistema, haciendo más impredecibles los resultados ("no hay asesoría extraclase, no hay biblioteca por las tardes, no se abre el salón de clase de 8 am a 12 pm", etcétera).

Los sistemas sociales artificiales se caracterizan por su interés en sobrevivir independientemente de su cometido, creando un ambiente donde la ciencia y la ingeniería no se desarrollan. En los sistemas sociales artificiales, la selección de sus actores se puede dar por parentesco, comodidad, compromiso, antigüedad o accidente; es opuesta a la que se da en los sistemas sociales naturales, donde el individuo más capaz para el puesto es el mayormente considerado.

Algunos de estos sistemas sociales artificiales emplean las palabras "ciencia" e "ingeniería" como fundamento o razón de ser, pero debe quedar claro que el sentido es completamente diferente del empleo que se les da en los sistemas sociales naturales.

Al comparar estos dos tipos de sistemas sociales, los naturales y los artificiales, pueden observarse muchas semejanzas. Por ejemplo, si consideramos el subsistema educativo, en ambos sistemas se tiene un ministerio de educación, una fundación para el desarrollo de la ciencia, universidades, programas educativos muy similares, estudiantes y laboratorios. Ahora bien, las diferencias se hacen evidentes cuando se comparan función y resultados. En forma dramática, podría decirse que una caja con llantas pintadas no es lo mismo que un automóvil.

En los sistemas sociales naturales, la ciencia y la ingeniería tienen una función bien definida: generación de conocimiento, solución de problemas y acelerar el desarrollo. Así, las universidades son elementos que realmente participan en el logro del objetivo social. Los científicos e ingenieros miembros de estas sociedades se relacionan con sus problemas; algunos incluso existen gracias a ellos. Es muy importante el hecho de que en estas sociedades se tolera y financia

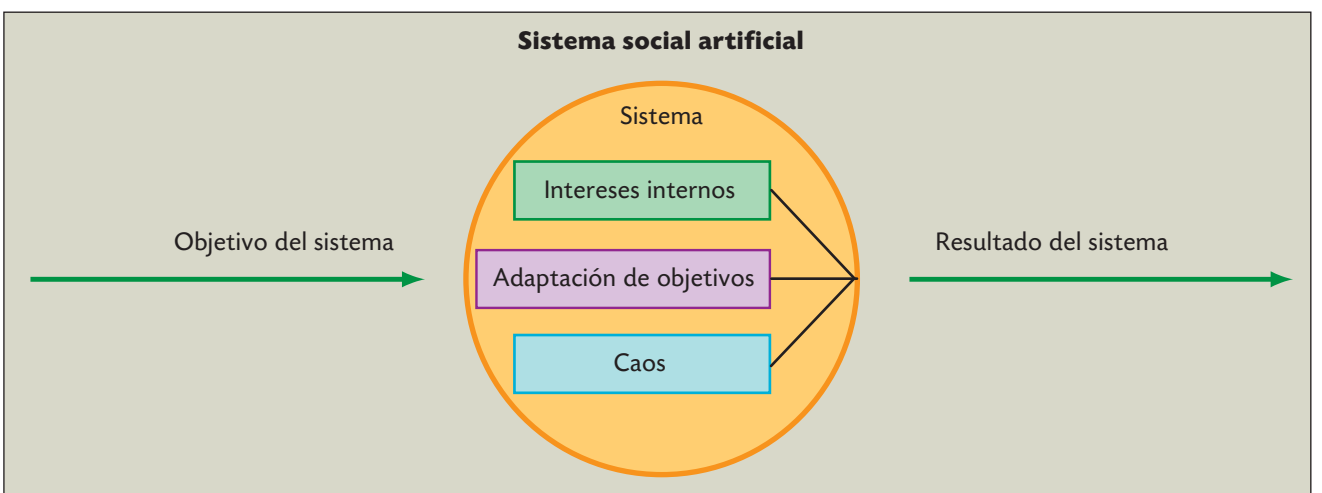
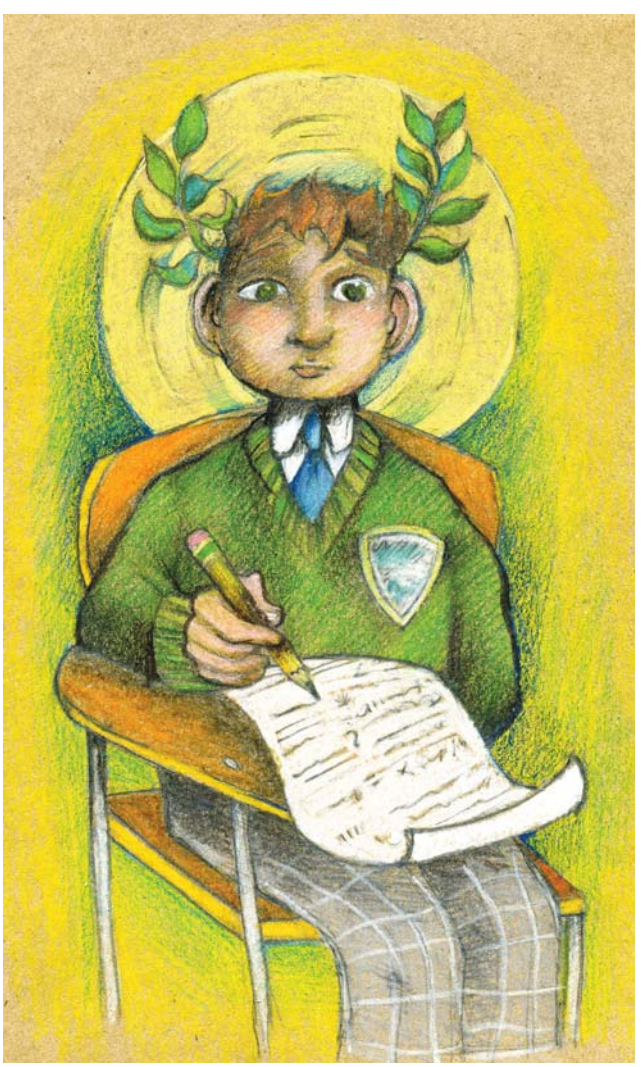


Figura 3. Esquema simplificado del sistema social artificial. No presenta retroalimentación ni homeostasis; está aislado. No existe relación entre resultados y objetivos. Su razón de existir es su supervivencia, sin importar el objetivo.

su costo. El desarrollo de la ciencia y la ingeniería ha sido parte de los sistemas sociales naturales que quieren sostenerse sobre sus bases.

Por el otro lado, en los sistemas sociales artificiales se usan las palabras "ciencia" e "ingeniería" con significado y vida propias: enumeran los programas de ingeniería que tienen, los alumnos matriculados, la eficiencia terminal o los nuevos programas de fomento y desarrollo, y con estas argucias solicitan recursos con argumentos tomados de los sistemas sociales naturales con los que es fácil estar de acuerdo, como desarrollo y bienestar. Pero al ser sistemas artificiales, el destino de esos recursos suele ser arbitrario y en muchos casos absurdo. Proclaman el monopolio del desarrollo de la ciencia y la ingeniería, lo que es conveniente pero infundado. Además, se niegan a tener responsabilidad o a justificar su correlación con el entorno, y son utilizados como fuente de empleo cómodo y caldo de cultivo de politiquería de muy variada escala.



Los miembros de las comunidades científicas y de ingeniería de los sistemas sociales artificiales se identifican más con su contraparte de los sistemas sociales naturales que con los problemas de su entorno (Varsavsky, 1969), lo que dificulta la jerarquización de los problemas a enfrentar en estas comunidades, por la influencia que ejercen hacia las temáticas de su interés. Rara vez se trabaja en primera instancia en los problemas locales como contaminación, irrigación, vialidad y urbanización, entre otros; y más veces en los problemas universales como el proyecto genoma humano o la exploración espacial.

En las condiciones en que se encuentran la humanidad y nuestro planeta, la ciencia y la ingeniería son muy probablemente la única vía para su subsistencia (Borlaug, 1970); aún más, es importante reconocer el contexto silvestre y local que define los objetivos que permiten que la sociedad exista de manera consistente. Es de esperar que lo que en un contexto sea ciencia e ingeniería, en otro sea material esotérico; y usando el mismo argumento, lo que en otro es ciencia e ingeniería, para el primero es prehistoria. El reto de la ciencia y la ingeniería no debe ser mental, sino de supervivencia, con una connotación que incluya algo más que sólo vivir.

Muestra de sociedad desarrollada

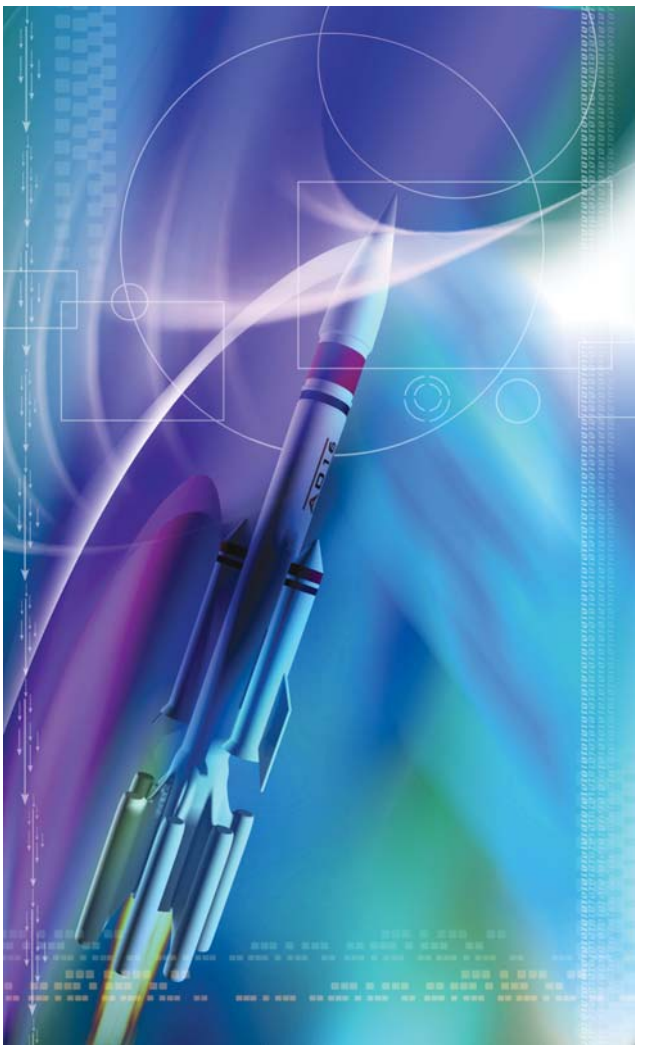
La generación y el desarrollo de la ingeniería y la ciencia no son monopolio de las universidades: es una responsabilidad de varios sectores de la sociedad. La universidad es uno de ellos, que aporta una buena parte de la información y de la formación técnica. Igualmente importantes son la vida universitaria no académica en las universidades norteamericanas, la práctica profesional, la convivencia con otros profesionales, las empresas, y el sistema educativo preuniversitario. También hay quien valora el servicio militar para la formación de los individuos y de sus actitudes en un país. La existencia de las universidades por sí solas no garantiza la existencia y el desarrollo de la ciencia y la ingeniería.

La distribución del gasto en los países desarrollados se da en buena parte en seguros de retiro, programas sociales y en seguridad, por un lado; y en recreación, por el otro. Asimismo, estos países le dan mayor prioridad al financiamiento de la ciencia y la ingeniería que los países pobres (Brenner, 1998). En tanto los países en vías de desarrollo se caracterizan por guerras sin sentido, hambre, personas desnutridas, sin techo y padeciendo enfermedades, debido a la falta de producción de riqueza, los países desarrollados también tienen guerras, pero éstas, a diferencia de las otras poseen varios objetivos debatiblemente "prácticos": apoderarse de recursos naturales y mercados, vaciar sus bodegas para reactivar su maquinaria industrial, formar recursos humanos, etc.; mientras que las guerras del tercer mundo son, en términos generales, por honor o religión.

En términos económicos, las compañías estadounidenses con uso intenso de tecnología, fundadas en los últimos 35 años, han creado un capital agregado cercano a los diez billones de billones de dólares, convirtiendo la tecnología en el motor que impulsa la economía norteamericana, cuyo fundamento se encuentra, con mucho, en la investigación científica, el ingenio para resolver problemas y el espíritu emprendedor (Myhrvold, 1998).

Es interesante saber que en los últimos 25 años la relación entre la ciencia, la ingeniería y la sociedad en los países desarrollados se ha caracterizado por la sociedad que financia, directa o indirectamente, la tecnología y, por consiguiente, el progreso de la sociedad, llamada aquí natural. De la misma manera, cada vez se esperan resultados más rápidos y la inversión se hace en lo inmediato. Es la voluntad política la que da dirección a los cambios; lamentablemente, la percepción y la ignorancia de una parte de la sociedad, reflejada en los políticos, son las que definen algunos derroteros. Las fuerzas económicas participan en la definición de la dirección del desarrollo, y la ética no es necesariamente impuesta, sino una consecuencia de que existan la ciencia y la ingeniería como actividades sociales.

La conformación de la sociedad está cambiando en los países desarrollados (Estados Unidos y Japón, por ejemplo). Del total de la población, son muy pocos los ilustrados científicamente. En Japón, el currículum de



la preparatoria tiene un contenido muy interesante: 50 por ciento de los conceptos de física, 70 por ciento de los conceptos de química y 30 por ciento de los conceptos de biología corresponden a ciencia del siglo XIX (Tachibana, 1998), cuando la evolución científica más vertiginosa se ha dado en el siglo XX, y en algunos casos los últimos 25 años han sido fundamentales.

De los estudiantes que egresan de preparatoria en Japón, 50 por ciento no va a la universidad; y de los que sí van, 50 por ciento no toma cursos de ciencias. El resultado es que se tiene un 75 por ciento de personas no ilustradas en ciencia que está produciendo cambios. Se está creando una sociedad de muy pocos ilustrados que sí participan activamente en el proceso científico, técnico y de ingeniería, y que además están interesados en pagar y asumir sus costos. Por otro lado,

se tiene a muchos ciudadanos no enterados que pagan la ciencia y la tecnología en su país, con propensión a adoptar posturas mágicas, limitadas y prejuiciosas respecto a la ciencia y la tecnología.

Ciencia e ingeniería son afectadas por varios factores. Por un lado, el factor económico tiene una vitalidad propia que demanda, cultiva, tolera y cuida la ingeniería. El factor político es dado a adoptar posturas populistas, satánicas, extremistas y defendidas por los no ilustrados, que son un grupo mayoritario, y que puede tener un efecto importante en el futuro de la ciencia y la ingeniería.

En resumen: desafortunadamente en estas sociedades desarrolladas la conformación de la sociedad se está encaminando a no ver la importancia de la ciencia y la ingeniería, y a no estar dispuesta a pagar su costo. Cabe señalar que esta tendencia tiende a aumentar en el ejemplo de organizaciones sociales artificiales y a hacer que prolifere la errónea percepción de *marketing* como equivalente de ciencia e ingeniería. Se puede concluir, hasta ahora, que el desarrollo de éstas se debe fincar en un aumento del conocimiento científico y de la ingeniería de toda la sociedad, para seguir gozando de una ciencia y una ingeniería saludables.

Muestra de sociedad no desarrollada

Los países no desarrollados presentan rezagos medibles muy variados, pero comparten varias adversidades comunes en mayor o menor grado, además de formar la mayoría en el mundo (Zingu , 2004).

La sociedad no se sostiene por sí misma, sino que vive de prestado; no se ha decidido a pagar el precio del desarrollo. Las ventajas otorgadas como dádivas son efímeras, y no tiene responsabilidad en sus acciones. Esta sociedad crea a su imagen las universidades públicas, que heredan y multiplican sus defectos. Las instituciones son un reflejo de su sociedad, sea por convicción o por tolerancia.

La equivalencia de organización en las sociedades desarrolladas y en desarrollo es muy grande; la diferencia radica en que en las sociedades en desarrollo dominan las organizaciones sociales artificiales. Las organizaciones que en las sociedades desarrolladas ayudan al progreso, en las sociedades en desarrollo lo dificultan. La ciencia y la ingeniería pueden mostrar éxitos modestos de tiempo en tiempo y en diferentes regiones del mundo en desarrollo, habitualmente relacionados con necesidades ineludibles como infraes-

tructura, salud o energía. Pero aun estas necesidades se encuentran inundadas de sistemas artificiales.

Un país dependiente no puede tomar como suyos los objetivos, programas y modelos de los países desarrollados. Por el contrario, tiene que desarrollar las soluciones a sus problemas, que son particulares en cada región. Lo que puede observarse que tienen en común son las carencias y la politiquería. Las personas capacitadas en sus comunidades o en el extranjero se deterioran rápidamente por la indiferencia hacia ellos y su función, así como por la falta de recursos para resolver los problemas reales. En su lugar encuentran un sistema artificial que nadie parece reconocer.

Célis Colín (1998) ha mostrado las irregularidades del sistema social artificial centrado en la relación con la formación de investigadores y el desarrollo por medio de la investigación. Su crítica es muy atinada, pues presenta las deficiencias de los programas y la ausencia de relación con la realidad local. En el contexto aquí presentado, el sistema de investigación, el sistema educativo y finalmente estos países son ejemplos de sistemas sociales artificiales. La introducción del concepto de sistema artificial ayuda a crear el marco que identifica prioridades y presenta el contexto que limita los cambios, donde inercias e intereses creados ejercen una fuerte influencia para mantener las cosas como están.

Es muy difícil de caracterizar a la sociedad en relación con la actitud que presenta ante la ciencia y la ingeniería. Varía desde indiferencia por desconocimiento o por no ver el impacto real, hasta grupos con temor a que puedan cambiar los puntos de referencia conocidos y aceptados (costumbres). Otro grupo lo forman los que esperan que cambie la conformación social como si fuera un objeto que se puede tener, y como tal no ven la importancia de su relación con los problemas locales, sugiriendo que se importe la ciencia e ingeniería exitosa de otros países como si fuera una mercancía. Finalmente, están los muchos que dicen formar parte del sistema de la ciencia y la ingeniería local, pero que no cuestionan el poco alcance del sistema artificial, y su impacto no es mejor que el de las actitudes anteriores para mejorar la influencia de la sociedad sobre la ciencia y la ingeniería.

Resumiendo, en estas sociedades en desarrollo el cambio sustantivo no se dará por medio de modificaciones en los sistemas aislados: universidades, industrias, sociedad y Estado. Esto es debido a que los logros en cualquiera de ellas se verían pulverizados por los rezagos de los otros, como ha sucedido hasta ahora.

El sistema educativo en una sociedad en vías de desarrollo

Las universidades públicas han tenido un proceso evolutivo, donde se mezclan sus funciones reales (las que han adquirido con el tiempo) y las asignadas (que son las que se invocan cuando se habla de las universidades o se justifica su presupuesto). Respecto a las funciones reales, la situación es muy desafortunada: entre sindicatos, autoridades, profesores y alumnos se ha llegado a una situación donde lo peor de la sociedad está presente.

Ayudar al proceso de formación de personas educadas de su tiempo es otra función; esto es, mas allá de aportar información técnica, dar una formación que equilibre al embate de los medios y la influencia propagandística, política o económica. En este caso la dirección está definida, con resultados insuficientes, por modas, hábito, organismos gubernamentales, organizaciones políticas, asociaciones de universidades y rectores. Más parece que quisieran "entrenar" reclutas o simpatizantes que formar ciudadanos saludables, lo que sería tolerable si en el contexto global de la educación ese comportamiento fuera minoritario.

Una función más de las universidades es asistir la generación de ciencia e ingeniería. Las fundaciones para el desarrollo de la ciencia, el gobierno y –más lamentablemente– la élite científica, guían el rumbo por tradición, lo que parece capricho, y dictan direcciones que son en muchos casos irrelevantes, o en el mejor de los casos están fuera de contexto y asociadas más con instituciones extranjeras. De la élite científica se esperarían mejores decisiones ya que ha conseguido cierta independencia de acción, pero lo cierto es que se comporta como un mini-sistema artificial.

Un subproducto indeseable de los sistemas artificiales es el "entrenamiento" y las "capacidades" que sus integrantes desarrollan: corrupción, cinismo, des-

confianza y politiquería, lo que dificulta la transformación en sistema natural, y a su vez genera círculos viciosos que mantienen el inmovilismo. Es difícil imaginar una solución simple a la situación actual, ya que el problema no está contenido dentro de los muros universitarios. ¡Y vaya que internamente hay mucho por resolver! Las universidades públicas como sistemas artificiales desarrollan sus propias estrategias de sobrevivencia, que incluyen la autonomía o el defensor de la autonomía, portador del ideal de "igualador social", motor del desarrollo, que fomenta la irresponsabilidad al mantener a distancia cualquier indicio de crítica por los actores externos al subsistema. Otro subproducto es crear figuras a manera de "sacerdotes" y "gurúes", con los que las cosas adquieren personalidad propia.

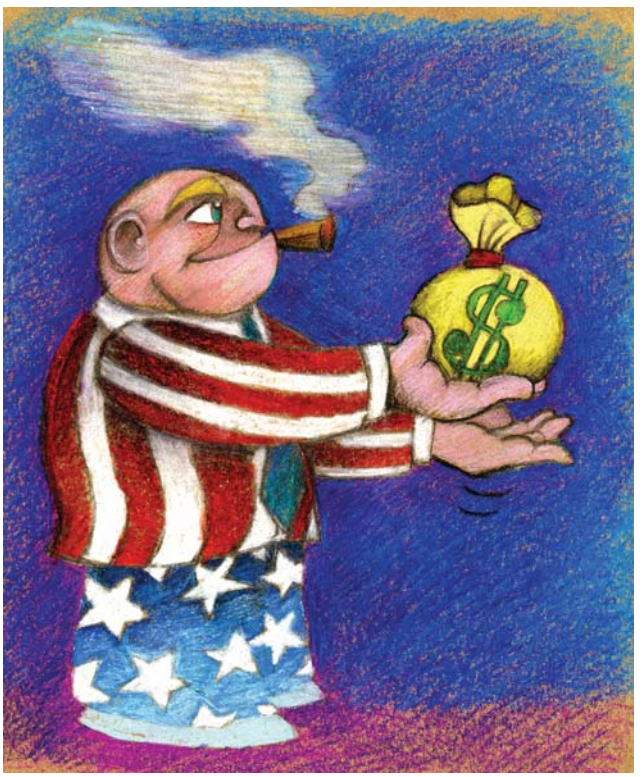
Sumado a lo anterior, la universidad pública en la actualidad causa un grado de daño social: la eficiencia terminal es reducida. Si alcanza el 40 por ciento, produce un 60 por ciento de jóvenes frustrados, resentidos y apaleados.

Pero no hay claridad en relación con la urgencia de esta situación. Como lo muestran los comentarios incluidos en informes de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES, 2000), poco más de la mitad de los que inician una licenciatura terminan los cursos; de ellos, uno de cada cinco se titula, y la gran mayoría lo hace después de los 27 años de edad. La realidad muestra la elasticidad, la adaptabilidad y la espontaneidad de los sistemas artificiales.

Conclusión

El sentido clásico de las organizaciones competentes, donde la capacidad decanta la estructura, no coincide con la estructura de las organizaciones artificiales, donde conviven de manera irresoluble la presencia injustificada y absurda con la retórica más cuidada y autoevidente que le permite existir y hasta reproducirse, ante los ojos incrédulos de la razón.

Ciencia e ingeniería están asociadas al dinero, a la riqueza y en general son muy caras: además de requerir un alto grado de riqueza por parte de la sociedad, requieren de una base social amplia como apoyo, y por supuesto, la ingeniería es un medio que necesita pro-



blemas. Querer subsistir requiere responsabilidad y sostenerse sobre sus propias bases.

En los países desarrollados, la ciencia y la ingeniería enfrentan el problema de la falta de educación técnico-científica por una parte de la sociedad, y la tendencia a las soluciones inmediatas, además de ignorancia y fanatismo por parte de los representantes de la sociedad. En ésta, la ciencia y la ingeniería, más que profesiones, son una responsabilidad general, enfocada a la subsistencia, y se encuentran alimentadas por recursos económicos y personas de intereses muy variados. Algunos de ellos adquirieron una formación universitaria en ciencia e ingeniería; otros actúan como ingenieros, guiados por procedimientos corporativos, por experiencia, por tradición o por convencimiento y deseo de mejorar sus vidas y sus comunidades.

En los países en vías de desarrollo se deben dar cambios estructurales importantes para primero revertir los efectos de la dependencia, y después encauzar la responsabilidad. No se debe vivir en la inconsecuencia, donde no importe la acción que se cometa ("no pasa nada"). No se puede vivir de prestado. Las políticas de subsidio y de dependencia social destruyen las

iniciativas emprendedoras y de desarrollo de la ingeniería local. Estas sociedades condenan su desarrollo si optan por transitar por el cómodo camino de los subsidios. Las universidades como las conocemos, muy poco pueden hacer para remediar las cosas; el compromiso que adquieren es de receptores de dádivas. El papel real de las universidades lo realizan de manera muy eficiente como organización artificial, pero en nada o poco contribuyen a la formación de científicos e ingenieros o a la solución de problemas. Deben desaparecer las instituciones artificiales que viven de dádivas y surgir verdaderos depositarios de responsabilidad en sus funciones.

Cuanto más difícil es criticar un sistema social o identificar las influencias que lo descomponen, no importa si provienen de los medios de "comunicación" o de propaganda política, más claro resulta que el trabajo de educar a las nuevas generaciones no está bien realizado.

Desde la perspectiva individual, donde poco o nada se puede hacer para modificar a las organizaciones artificiales, sólo nos queda realizar lo mejor posible nuestra labor de educación para que, cuando el tiempo llegue, nuestros tigrillos afecten, al fin, el entorno.

Rafael Quintero-Torres es doctor en ciencias e investigador titular del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Sus intereses incluyen procesos ópticos y electrónicos en materiales, instrumentación con láseres ultrarrápidos, métodos de ingeniería y el proceso de formación del individuo.
rquintero@fata.unam.mx

Rosa Ma. Bermúdez-Cruz es doctora en ciencias e investigadora titular en el Departamento de Genética y Biología Molecular (DGBM) del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Su interés central en investigación es la caracterización de la maquinaria de reparación del daño al DNA en parásitos. Actualmente es coordinadora académica del DGBM.
roberm@cinvestav.mx

Bibliografía

Petroski, H. (1992), *To engineer is human: the role of failure in successful design*, Vintage Books.

Varsavsky, O. (1969), *Ciencia, política y cientificismo*, Centro Editor de América Latina.

Borlaug, N. (1970), "The green revolution, peace, and humanity", conferencia Nobel, diciembre de 1970 (http://nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/1970/borlaug-lecture.html).

Brenner, S. (1998), "The impact of society on science", *Science*, 282, 5393, 1411-1412.

Myhrvold, N. (1998), "Supporting science", *Science*, 282, 5389, 621-622.

Tachibana, T. (1998), "Closing the knowledge gap between scientist and nonscientist", *Science*, 281, 5378, 778-779.

Zingu, E. (2004), "Promoting physics and development in Africa", *Physics today*, 57, 1, 37-42.

Célis-Colín, G. (1998), "La formación de investigadores en México", *Ciencia y desarrollo*, XXIV, 140, 32-41.

ANUIES (2000), *La educación superior en el siglo XXI*, México.