

## EL CONOCIMIENTO DE INGENIERÍA COMO CONOCIMIENTO ESCOLAR

Fernando Cajas

Universidad de San Carlos de Guatemala

fcajas@usac.edu.gt

Campo de investigación: Socioepistemología

Guatemala

Nivel: Superior

**Resumen.** *El artículo considera a la ingeniería como una práctica tecnológica cuyos productos son artefactos y conocimientos tecnológicos. Se introducen dos prácticas de referencia clave para la ingeniería: el diseño y la ejecución. Estas dos prácticas tecnológicas están ausentes en muchos programas de formación de ingenieros, los cuales a pesar de haber evolucionado de una concepción de ingeniería como artefacto hacia ingeniería como conocimiento, particularmente como ciencia aplicada, aún no se enfocan en prácticas sociales de las ingenierías. El artículo propone caminos para introducir prácticas sociales de referencia al currículo de ingeniería.*

**Palabras clave:** ciencia y tecnología, práctica social teórico-conceptual, práctica social empírico-concreta, diseño, ejecución

### Introducción

El conocimiento de ingeniería como conocimiento escolar ha sido poco estudiado debido a que se asume que los conocimientos de los profesionales de la ingeniería se trasladan directamente a los centros de enseñanza de la ingeniería. No se discute la naturaleza de este conocimiento como conocimiento escolar (Cajas, 2001), menos la naturaleza social de las prácticas de ingeniería (Cajas, 2006) y cómo estas se trasladan a los sistemas escolares de la enseñanza de la ingeniería (facultades de ingeniería, institutos politécnicos, etc.). El artículo da evidencia del porque el entendimiento de las prácticas de ingeniería como prácticas sociales es de primordial importancia para el diseño de nuevos programas de educación en ingeniería.

Tradicionalmente los programas de ingeniería están basados en una concepción epistemológica que asume a las ciencias básicas (física, matemática, por ejemplo) como los fundamentos de la ingeniería y que sigue la siguiente cadena curricular (Bolton, 1990):

*Ciencias Básicas → Ciencias de la Ingeniería → Cursos Profesionales*

Esta cadena no reconoce la naturaleza de las prácticas sociales de la ingeniería (Herrera, 1990) y proviene de una relación ciencia-tecnología sobre simplificada. Por ello el artículo inicia clarificando la relación ciencia-tecnología.

## Ciencia y Tecnología

Existe una forma común de hablar sobre ciencia y tecnología en la que a la ciencia se le mira como una actividad académica, casi siempre pura, y a la tecnología como a la aplicación de la ciencia, casi siempre impura. Durante las últimas dos décadas un grupo pequeño de investigadores hemos estudiado la percepción social de la ciencia y la tecnología, tanto en muestras de poblaciones de adultos (ciudadanos) como en comunidades escolares (estudiantes) y en ambos casos las investigaciones convergen en que las personas tienen una percepción positiva de la ciencia, asociándola con la investigación médica, por ejemplo, mientras que tienen una percepción negativa de la tecnología, identificándola con la contaminación o con el armamento (AAAS, 1993; Schauble, Klopfer, y Raghavan, 1991).

Por otro lado, filósofos y antropólogos de la tecnología han avanzado una serie de discusiones al respecto de la relación entre ciencia y tecnología. Sin repetir esta discusión, que ha sido ampliamente reportada en diferentes libros, revista, foros (véase resúmenes en Cajas, 1998, 200; AAAS 1993) se puede establecer una serie de concepciones, encapsuladas en "modelos", que van desde la visión de subordinación de la tecnología a la ciencia hasta una concepción más sistémica y compleja que también defiende la especificidad de la tecnología (Tabla 1). En términos generales se pueden establecer diferentes relaciones entre Ciencia y Tecnología. Ya la primera es el *Modelo de Subordinación* en el cual la Ciencia es la base de la Tecnología. La subordinación es de naturaleza epistemológica, metodológica y práctica. Aquí se establece una diferencia también en el estatus social de la ciencia y de la tecnología, dándole mayor estatus a la ciencia. Este fue el paradigma reinante a mediados del siglo pasado. De hecho los grandes avances de la ingeniería nuclear (bomba atómica por ejemplo) fueron vendidos como los logros de la física de partículas y no de la ingeniería, como en efecto fueron. Luego en los años sesenta y setenta del siglo pasado la carrera espacial se vendió al público como un logro de la ciencia, la física, mientras que los desastres espaciales (piense en el trasbordador espacial Challenger), fueron presentados como desastres tecnológicos o desastres de la ingeniería, nunca fueron los desastres de la ciencia. La ciencia entonces se le vende al público con un estatus mayor que la tecnología.

La ciencia es la causa de la tecnología es el segundo modelo, llamado el *Modelo Causa-Efecto* (ver Tabla 1). El viejo modelo lineal de innovación justifica esta relación lineal de causalidad (Godin,

2006). Este modelo describe que la producción tecnológica es el resultado de un proceso lineal que se describe a continuación:

*Investigación Básica* → *Investigación Aplicada* → *Desarrollo* → *Producción y Difusión*

Este modelo, cuya raíces históricas permanecen en la oscuridad, empezó de una simple relación entre investigación básica e investigación aplicada, entendiéndose esta última como tecnología. Luego diferentes autores han enriquecido la cadena lineal presentando la anterior en sus versiones más actualizadas (Godin, 2006). Una primera revisión que para algunos mejora del modelo de subordinación y el modelo de causalidad, es la relación de causalidad directa, la ciencia © produce la tecnología (T), esto es  $C \rightarrow T$ .

También emergen concepciones más sistémicas de la relación entre ciencia y tecnología. En particular emerge la concepción que la ciencia afecta a la tecnología, por medio de proveer conocimiento y que la tecnología afecta a la ciencia por medio de proveer instrumentación (AAAS, 1997). Esta versión presentada por la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, AAAS por sus siglas en inglés, describe una concepción más compleja de la relación ciencia-tecnología, particularmente las tecnologías modernas. Este *Modelo de Interacción* dio paso a otro modelo relación ciencia-tecnología, uno que no sólo reconoce la interacción sino que también la especificidad de la tecnología. En la Tabla 1 a ese modelo se le llama el de la *Especificidad de la Tecnología*. Varios autores han presentado argumentos a favor de este modelo, tal el caso de Herrera (1989, 1990), Cajas (1998, 2001, 2006). Se trata entonces de clarificar lo específico de la tecnología, en particular de la ingeniería. El mismo documento de la AAAS ya avanza hacia esa especificidad de aspectos particulares de las ingenierías que no son del dominio científico, tal el caso del diseño en ingeniería.

La Tabla 1 resume posibles relaciones entre ciencia y tecnología que van desde el modelo de subordinación hasta el modelo de especificidad.

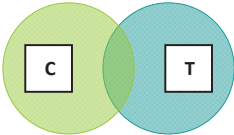
Modelo:	Relación	Descripción:
Subordinación	C   T	La Ciencia es la base de la tecnología
Causa-efecto	C ---> T	La Ciencia es la causa de la Tecnología
Dos vías	C <---> T	La Ciencia interacciona con la Tecnología.
Especificidad de la Tecnología		Hay especificidad de la tecnología. Existe conocimiento tecnológico asociado prácticas tecnológicas que no necesariamente son de naturaleza científica, aunque existe cierta intercesión entre Ciencia y Tecnología.

Tabla 1 Posibles relaciones entre Ciencia y Tecnología

Estudios sobre alfabetización científica y tecnológica también demuestran que la población confunde la ciencia con la tecnología y en todo caso visualizan a la tecnología como ciencia aplicada. Esto también se da en ambientes universitarios, en especial en programas de educación tecnológica, tal el caso de medicina, agronomía, derecho o las mismas ingenierías que son tratados como ciencia aplicada. Así, la medicina es vista como aplicación de las ciencias básicas tales como biología, anatomía, fisiología, etc. Agronomía también es vista como aplicación de ciencias biológicas a la producción agrícola. El derecho es visto como la aplicación de la sociología, entre otras. Y las ingenierías (civil, industrial, química, etc.) son vistas como la aplicación de la física y la matemática.

### Ingeniería

La ingeniería puede verse como artefacto, como conocimiento o como práctica social (Herrera, 1990; Cajas 1998). En general en el mundo, con raras excepciones, los programas de educación en

ingeniería están contruidos desde la concepción de la ingeniería como conocimiento y vistos como ciencia aplicada (Powell y Wim, 2003). Esto ha llevado a generar programas lineales que inician con Ciencias Básicas, particularmente Física y Matemática, seguidos luego de Ciencias de las Ingeniería para concluir con Materias Profesionales.

Históricamente la evolución de la ingeniería ha venido asociada a la misma evolución de la tecnología. En efecto, la ingeniería puede verse como una práctica tecnológica cuya praxis educativa se ve determinada por condiciones locales y por los avances no sólo de la misma ingeniería sino de la meta-ingeniería, esto es, de lo que en el momento se conoce sobre la naturaleza de la ingeniería. Debido a que la ingeniería como actividad profesional atrae principalmente a las personas orientadas a la acción, existe poca documentación sobre procesos de reflexión de la ingeniería y por lo tanto de la misma educación en ingeniería. En otras palabras, luego de que un proyecto de ingeniería se ha conceptualizado y principalmente ejecutado, los ingenieros son renuentes a analizar la forma en la que llegaron a dichos productos. Son pocos los estudios sistemáticos sobre esta reflexión en la práctica de la ingeniería. Ejemplos de dichos estudios son los trabajos pioneros de Donald Shön quien analiza empírica y conceptualmente la forma en que los profesionales, ingenieros y arquitectos, entre otros, reflexionan desde la acción (Shön, 1983).

El trabajo del Profesor Shön fue tan influyente que se generó una línea de investigación de análisis de la práctica desde la acción. Existen también los estudios de Walter Vicenti sobre lo que saben los ingenieros sobre diseño para casos específicos de aeronáutica (Vicenti, 1994). Emergen también los nuevos estudios de antropología de la ingeniería realizados por Louis Buciarelli sobre lo que realmente hacen los y las ingenieras en diferentes espacios de trabajo tal el caso de diseño de celdas fotovoltaicas y estructuras (Buciarelli, 1994). Todos estos trabajos presentan la base para proponer una nueva epistemología de la ingeniería que no se centra en la epistemología de la ciencia sino una epistemología que se centre en las prácticas.

Al considerar a la ingeniería como una práctica tecnológica cuyos productos y bases son artefactos y conocimientos tecnológicos, la reflexión sobre la naturaleza de la práctica es de primera importancia. Aquí introducimos dos prácticas de referencia clave para la ingeniería. La noción de práctica de referencia significa en este artículo el referente de la práctica social y no se identifica con el origen histórico de la misma. En ese sentido identificamos referentes de la ingeniería. Tome

el caso de la ingeniería civil cuyos referentes son las obras civiles tales como carreteras, vías férreas, puentes, estructuras de edificios y proyectos habitacionales. Pero estos referentes son el producto de la práctica mientras que la practica social de referencia seria la planeación, el diseño, la administración, operación, reparación etc.

Estas prácticas han sido identificadas por otros autores, entre ellos Herrera 1989, 1990, 1992, 2006. En principio hay que diferenciar entre la práctica tecnológica empírica de acción sobre la naturaleza y los sistemas tecnológicos y sociales y la práctica tecnológica del diseño, siendo esta última el proceso de diseño que produce sistemas, normas o conceptos fijados en forma de información tales como planos, software y otros que representan posibles sistemas concretos (Herrera, 1992).

La práctica tecnológica empírica de acción sobre la naturaleza y los sistemas tecnológicos y sociales y la práctica tecnológica del diseño son parte de dos prácticas genéricas que se dan en todo trabajo. Hay que aclarar que las prácticas sociales son acciones intencionales de los seres humanos organizados en sociedades, es decir son actividades orientadas a la transformación de objetos, procesos o conocimiento (Herrera, 1989). La intencionalidad de la práctica no es determinista ya que existen efectos colaterales y no planificados de toda práctica social (contingencia). En otras palabras, la intencionalidad no determina la historia sino al final las prácticas sociales son contingentes. El marco conceptual en donde se define a la Práctica Social como acción intencional es el del filósofo Rodolfo Herrera quien toma esta concepción de práctica social de un marco materialista, particularmente neo marxista en el cual Althusser define una práctica social como el proceso de transformación de una materia prima dada determinada en producto terminado, transformación efectuada por un trabajo humano determinado, utilizando medios (de producción). De acuerdo a Althusser, la práctica social, la unidad compleja de las prácticas existentes en una sociedad determinada, contiene en si mismo un número elevado de prácticas distintas. En este trabajo yo agrego la noción de contingencia, de efectos colaterales no pensados y de cierto grado de incertidumbre en las acciones humanas intencionales.

El marco teórico althusseriano introduce la noción de práctica social empírico-concreta y la diferencia de la práctica social teórico-conceptual que yo he identificado con la práctica del diseño. El caso es genérico. Si se estudia, por ejemplo, la práctica económica de una sociedad, esta incluye una componente empírico concreta que consiste en el trabajo directo de las personas

entre sí y con el ambiente social pero al mismo tiempo en la misma práctica se dan procesos de racionalización, conceptualización y diseño inherentes a cualquier transformación. Dicho recientemente por Arrieta “La práctica siempre implica a la persona actuando y conociendo al mismo tiempo, la llamada actividad manual no es irreflexiva y la actividad mental no es incorpórea” (2003).

En el caso de la educación en ingeniería estas dos prácticas tecnológicas de diseño y ejecución están ausentes en muchos programas de formación en ingeniería, los cuales a pesar de haber evolucionado de una concepción simplista de ingeniería como artefacto hacia una concepción de ingeniería como conocimiento, particularmente como ciencia aplicada, aún no se han enfocado en las prácticas de la ingeniería y han olvidado el diseño de ingeniería. Esta situación es el resultado de la imposición de una epistemología científica (teoría de conocimiento basada en la ciencia) sobre una epistemología de las prácticas. Se requiere replantear los currícula de ingeniería y superar el modelo lineal que asume a la ingeniería como la simple aplicación de la ciencia, porque en la práctica real la ingeniería es mucho más que la aplicación de la ciencia y posee su propia lógica y epistemología. Si bien las ingenierías echan mano de las ciencias y si bien cada vez más se ven influidas por la ciencia, las ingenierías son fundamentalmente prácticas sociales del diseño, control y ejecución.

### Referencias bibliográficas

AAAS (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. Nueva York: Oxford University Press.

AAAS (1997). *Ciencia Conocimiento para Todos*. México: Harla S.A.

Arrieta, J. (2003). *Las prácticas de modelación como proceso de matematización en el aula*. Tesis doctoral no publicada, Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav-IPN.

Bolton, W. (1990). *Engineering science*. Nueva York: Industrial Press Inc.

Bucciarelli, L. (1994). *Designing engineers*. Boston: MIT Press.

Cajas, F. (1998). Introducing technology in science education: The case of Guatemala. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 18(3), 198-207.

- Cajas, F. (2001). Alfabetización Científica y Tecnológica: La Transposición Didáctica Del Conocimiento Tecnológico. *Enseñanza de la Ciencia*, 19(2), 243-254
- Cajas, F. (2006). *Construyendo Ingenierías Relevantes. Ponencia presentada en el Congreso Venezolano de Educación de Ingeniería*. Maracaibo: Universidad del Zulia.
- Dym, C. y Little, P. (2000). *El proceso de diseño en ingeniería*. México: Limusa Wiley.
- Godin, B. (2006). The linear model of innovation: The historical construction of an analytical framework. *Science, Technology & Human Values* 31(6), 639-667.
- Herrera, R. (1989). La practica tecnológica. *Revista de Filosofía* 66, 349-359.
- Herrera, R. (1990). Critica al modelo ortodoxo de la enseñanza de la ingeniería e ideas para su modificación. *Tecnología en Marcha* 10(1), 3-16.
- Herrera, R. (1992). Los sistemas tecnológicos concretos. *Ingeniería* 2(2), 41-56.
- Powell, P. & Wim, P. (2003). *Project-led engineering education*. Holanda: Lemma.
- Schauble, L., Klopfer, L.E., & Raghavan, K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching* 28, 859-882.
- Schön, D. (1983). *The reflective practitioner: How professional think in action*. Londres: Arena.
- Vicenti, W. (1990). *What engineers know and how they know it*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.