

Herrera Jiménez, Rodolfo
LA NATURALEZA DE LA INGENIERÍA
Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica, vol. 16, núm. 2, 2006, pp. 33-43
Universidad de Costa Rica
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44170518003>

LA NATURALEZA DE LA INGENIERÍA

Rodolfo Herrera Jiménez

Resumen

En este ensayo se exponen, en forma resumida, lo que el autor considera son las características de la práctica social que se denomina Ingeniería, con el objetivo de que sirva de fundamento conceptual para el diseño de los currículos necesarios para la enseñanza-aprendizaje de la misma. Se describen los ejes fundamentales que constituyen a toda Ingeniería, mostrándose también la diferencia con la Ciencia o las prácticas científicas. Se señalan algunos aspectos que diferencian e interrelacionan a las ciencias aplicadas, específicamente las ciencias de la ingeniería, y las ciencias fundamentales o básicas. El enfoque se fundamenta en una concepción general de Tecnología y de la Práctica Tecnológica, marco conceptual en el que las Ingenierías “clásicas” son un componente del conjunto de tecnologías existentes o posibles.

Palabras clave: ingeniería, diseño, currículo, tecnología, ciencias.

Abstract

In this essay is exposed, in summarized form, the characteristics of the social praxis that denote Engineering, with the goal of giving conceptual support for the design of the curriculums required for its learning-teaching. Are developments the fundamental axis that constitutes all engineering, to show also your difference with the science. Is described some aspects that differentiate the applied sciences, specifically the engineering sciences, of the basics sciences. The approach is found in a general conception of the Technology and the technological praxis, conceptual frame for which the “classical” engineering are a component of the set of the existents or possible technologies.

Keywords: engineering, design, curriculum, technology, sciences.

Recibido: 15 de julio del 2005 • **Aceptado:** 16 de junio del 2006

1. SISTEMA SOCIAL Y PRÁCTICA SOCIAL

Sea \mathcal{S} un *sistema social* que podemos representar en símbolos con la quíntupla: $\mathcal{S} = \{\mathcal{C}, \mathcal{A}, \mathcal{E}, \mathcal{M}, \hat{\mathcal{E}}\}$, donde: (i) \mathcal{C} denota a la *composición*, o un conjunto de individuos o un conjunto de subsistemas del sistema; (ii) \mathcal{A} denota al *ambiente* o el conjunto de elementos materiales que no son la *composición*, directamente vinculados con ella, es decir, que actúan sobre o son actuados por ella, en general, es un *entorno apropiado* o *artefactual*; (iii) \mathcal{E} denota la *estructura* o el conjunto de *relaciones* entre los miembros de la composición y entre estos y el *ambiente*, en particular, vínculos, conexiones, etc. sean de adherencia

o no (es decir, que su existencia afecta o no el comportamiento, respectivamente), representa el aspecto *sistémico-estructural* de la *sistematicidad* y de la *integridad*; (iv) \mathcal{M} denota al *mecanismo* o el conjunto de procesos o *actividades sociales internas* que ocurren en un determinado sistema y solo él es capaz de hacer, es decir, sus *funciones específicas*, las *prácticas sociales* esenciales (pe. la enseñanza-aprendizaje); (v) $\hat{\mathcal{E}}$ denota a la *superestructura*, o el conjunto de sistemas conceptuales político-administrativos y cultural-ideológicos (pe., invariantes legales, leyes jurídicas, sociales y reglas, ideologías), que condicionan y/o determinan el *mecanismo social*. La *estructura* partitiona la *composición* en “clases de equivalencia”, produciendo una *organización social*, a veces denominada *estructura social*.

Sea \mathcal{P} una práctica social de \mathcal{S} , o una relación social con una “estructura genérica de producción”, que se puede representar por medio de una cuaterna con los relata de la relación de producción o de interacción, como sigue: $\mathcal{P}=\{\bar{C},(\mathbb{E}),m,o,p\} \mathcal{P} \in \mathcal{S}$, donde: (i) $\bar{C} \in \mathcal{C}$ es el conjunto de miembros en la composición de la sociedad que realizan los sistemas de acciones humanas (fuerza humana de trabajo) de una práctica específica; (ii) la terna $(m,o,p) \subset \langle \mathcal{C}, \mathcal{A} \rangle$ es tal que: m designa a los medios de producción; (ii) o a los objetos materiales de transformación o de referencia; p al producto o resultado de la transformación. Más explícitamente, los elementos de la terna (m,o,p) se pueden analizar como sigue: (i) $m=(m^m, \bar{m}^K) \subset \{\mathcal{C}, \mathcal{A}\}$, tal que: m^m denota a un conjunto de cosas materiales en la composición y en el ambiente (hombres, artefactos, materia prima, naturaleza) y m^K a un conjunto de objetos conceptuales o constructos pensables por algunos miembros de $\bar{C} \in \mathcal{C}$ y materialmente fijados sea \bar{m}^K : (sistemas conceptuales documentados, pe. una teoría o una regla); (ii) $o=(o^m, \bar{o}^K) \subset \{\mathcal{C}, \mathcal{A}\}$, con el mismo significado de los términos anteriores; (iii) $p=(a^m, \bar{a}^K, \pi^l, \pi^r) \subset \{\mathcal{C}, \mathcal{A}\}$ donde a es un artefacto material (pe., computador), $\pi^l \in \mathcal{A}$ un cambio de estado de un sistema natural, $\pi^r \in \mathcal{C}$ un cambio de estado de un ser humano, es decir, de sus propiedades (paciente, estudiante, etc.), a^K es un artefacto conceptual o constructo (pe. una teoría, una regla, un teorema de las matemáticas) y \bar{a}^K designa el mismo fijado materialmente. Aquí los sistemas conceptuales, constructos (artefactos ideales), son formas del conocimiento científico o no, que se fijan como signos en algunos objetos que pueden denominarse objetos informáticos: libros, revistas, patentes, software, certificados de autor, filmes, etc., su significado existe conceptualmente, es decir, en tanto haya alguien que los piense (pueden entonces ser una propiedad intelectual de la composición o de un ser humano).

\mathbb{E} denota al enfoque de un subsistema social (o un individuo) a la manera como se trata una problemática específica, consistiendo en general en un conjunto de elementos representados por la quíntupla siguiente: $\mathbb{E}=\langle P, \mathbb{O}, K, M, \mathcal{F} \rangle$, donde los símbolos denotan: P una problemática, \mathbb{O} la meta u objetivo (pe., el cambio de estado de

alguna cosa o sistema material, la creación de un objeto conceptual nuevo o de un código moral); K un cuerpo de conocimiento, el cual se supone que el sistema posee relacionado con el tipo de acciones y la meta; M una metódica (conjunto de métodos); \mathcal{F} un marco filosófico: cosmovisión, presuposiciones filosóficas (ontológicas y epistemológicas), principios praxiológicos y metodológicos. El marco filosófico contiene conceptos teóricos de valor, principios éticos, así como principios de filosofía política, que son fundamento para la escogencia de alternativas que orienten la toma de decisiones en la solución de los problemas y por tanto de valores, pues el objeto por producir o la acción por realizar puede ser valiosa o no para el sistema.

2. PRÁCTICA TECNOLÓGICA

Si la práctica social \mathcal{P} consta de acciones empíricas-concretas e ideológico-conceptuales basadas en un enfoque científico o en el conocimiento científico coetáneo necesario para alcanzar con éxito los objetivos propuestos, la llamaremos práctica tecnológica, sea: $\mathcal{PT}(\mathcal{C}, \mathbb{E}) \in \mathcal{P} \subset \mathcal{S}$, cuando las características de $\mathbb{E}=\langle P, \mathbb{O}, K, M, \mathcal{F} \rangle$ los componentes de son los siguientes: (i) P : un conjunto de problemas de interés práctico (materiales o conceptuales) engendrados por una previsión fundada sobre la realidad, que permite formular políticas y tomar decisiones; (ii) \mathbb{O} : transformar la realidad concreta y conceptual con fines “prácticos”, no cognitivos, y su ethos es producir cambios y artefactos con fiabilidad, seguridad y con el menor efecto colateral (pe., el cambio de estado de alguna cosa o sistema material, la creación de un objeto conceptual nuevo o de un código moral); (iii) K es el conocimiento base: datos actuales, hipótesis y teorías, comprobables, seguras y fiables, métodos escudriñables, modelos, conocimiento ya existente y compatible con el cuerpo de conocimiento relevante para el problema; (iv) M : conjunto de procedimientos dirigidos a que el proceso de transformación sea factible y se realice con eficiencia y éxito social; y (v) Filosofía \mathcal{F} : una ontología de cosas materiales y cambiantes, (no entidades inmateriales), una epistemología realista que

afirma la existencia de objetos objetivamente reales (no idealista o convencionalista), y que el mundo está sujeto a leyes a las que hay que obedecer y solo con su conocimiento se puede transformar, la *tesis pragmática* de que el sistema social puede transformar la realidad: sociedad y la naturaleza no humana y producir un ambiente apropiado, un nivel ontológico nuevo o la *artificis*, a su servicio e interés. Simbólicamente: $\mathcal{PT}\{\langle\bar{C},(\mathbb{E}),(m)\rangle \rightarrow o \Rightarrow p\}$, o en forma extensional la 10-tupla siguiente contiene todas las características principales, sea: $\mathcal{PT}\langle S,C,\{P,\mathbb{O},K,M,F\}o,m,p\rangle$. Con base en las consideraciones anteriores, es evidente que la \mathcal{PT} no se reduce a las *ingenierías clásicas* (o “duras” o “suaves”), así pe., algunos de sus componentes son la *medicina* o la *educación*.

Por otra parte, la *práctica tecnológica* \mathcal{PT} consiste de la unión sistémica de: (i) la *práctica tecnológico-científica* (o *eje del diseño*) \mathcal{PTC} y (ii) la *práctica administración-dirección* \mathcal{PTM} (o *eje administrativo-ejecutivo*), o sea: $\mathcal{PT}=\mathcal{PTC} \cup \mathcal{PTM}$, las características de los elementos (i) y (ii) los definiremos como sigue.

La *práctica tecnológico-científica* \mathcal{PTC} es la componente de \mathcal{PT} cuyas acciones consisten principalmente en: (i) la *previsión tecnológico-científica* (planeamiento, planificación) y (ii) los procesos del *diseño* o “la creación conceptual de sistemas conceptuales: *proyectos* o *planes*, representando o no a posibles artefactos o procesos materiales (naturales, sociales: cambios de estado en las cosas, prácticas)” (Herrera, 1989, 1991). Es una *práctica ideológico-conceptual* la cual se fundamenta en el conocimiento. En símbolos: $\mathcal{PTC}(\bar{C},\mathbb{E})=\{\langle\bar{C},(m^m,m^K)\rangle \rightarrow o^K \Rightarrow p=a^K\}$.

Esta *práctica* produce un conjunto de *artefactos conceptuales* o *sistemas tecnológico-científicos*: $a^K=STC$ (Herrera, 1991), tales que: $STC=STS \cup STO$, donde *STS* denota a un *sistema tecnológico sustantivo* (pe., un esquema de un motor) y *STO* a un *sistema tecnológico operativo* (pe. un esquema de actividades humanas o un *sistema de reglas* guía de las mismas). Su elaboración se fundamenta en el *conocimiento científico-tecnológico* requerido

para cada problema particular de alguna \mathcal{PT} , o sea, según la transformación por diseñar, planear, dirigir y hacer.

Más explícitamente: (i) los *STS* son *proyectos* definidos por sistemas conceptuales o *modelos* que representan a un referente concreto del *ambiente*, es decir, en el *nivel natural*: un *artefacto* u *objeto tecnológico material* (pe., planos de un *hardware* de un ordenador), o un sistema natural (pe., planos topográficos de una región geográfica), así pe.: $a^K \subseteq a^m \subset A$; (ii) los *STO* son sistemas conceptuales que representan o *modelan*: (a) en el *nivel natural* la estructura y organización de un *artefacto material* (pe., *software* para un ordenador); (b) en el *nivel social* a los *sistemas de prácticas* o actividades humanas actuales o futuras, a la estructura u organización de un *tecosistema* (Herrera, 1992), o un *sistema social* y su *superestructura* (sistemas de reglas administrativas o jurídico-políticas), que es la base para las acciones *político-administrativas*; (d) a un *plan* específico (resultado de la *previsión tecnológica*) y a los conjuntos o *sistemas de reglas técnicas* que fundamentan la *acción eficiente* actual o futura.

En el caso (i) se *modelan* o *representan* artefactos materiales o procesos sean pasados, actuales o futuros (posibles de producir o suceder). Estos *proyectos* o *diseños* *STS* son la solución propuesta dirigida a la solución de un problema sea “conceptual” o “práctico-empírico”, indicado por la *previsión tecnológica* o por el *objetivo* o *meta*.

Tienen además la función de servir de *guía de las acciones* de transformación directa que dirige la \mathcal{PTM} . Por *diseño* se entiende aquí un concepto muy general, pues incluye no solo la invención conceptual de posibles artefactos materiales (ingeniería), sino que pueden ser artefactos conceptuales (la ciencia teórica), sean ambos con fines “prácticos” o no.

La *práctica tecnológico-científica* es una *práctica cultural*: $\mathcal{PTC} \subset \mathcal{PK}$ de tipo *ideológico-conceptual*, donde los *constructos* (m^K, o^K, a^K) pueden representar o no de manera directa a referentes materiales o procesos (apuntan a ellos).

La *práctica tecnológica-administrativa*, sea: \mathcal{PTM} (*tecnología administrativa*) es aquella que realiza la “gestión, dirección y el control directo” de los procesos de producción en general o de la *administración-dirección* de los subsistemas de la *sociedad*. Es decir, de todas las prácticas sociales (diferentes o no a ella misma y en especial las prácticas empíricas directas) mediante la transmisión de *información* directa o no. Es una *práctica empírico-concreta* la cual se fundamenta en el conocimiento (pe., en *STO*). En símbolos:

$$\mathcal{PTM}(\bar{\mathcal{C}}, \mathbb{E}) = \{\langle \bar{\mathcal{C}}(m^m, m^K) \rangle \rightarrow o^m \in \bar{\mathcal{C}} \Rightarrow p = \pi^n \in \bar{\mathcal{C}}\}$$

Esta práctica produce o controla los cambios de la *superestructura* del sistema social, que implican cambios de estado de $C \in \mathcal{C}$, y entonces cambios en sus propiedades, por tanto, en la estructura y la organización del sistema social.

3. PRÁCTICA CIENTÍFICA BÁSICA

La *práctica científica* \mathcal{PC} es una *práctica cultural*, que consiste de toda aquella actividad o *investigación* dirigida a obtener conocimiento sobre la naturaleza del *mundo*, especialmente a “la explicación objetiva y racional de los procesos existentes”, sean en la *naturaleza*, *sociedad* o *pensamiento*. Tiene la estructura siguiente:

$$\mathcal{PC}(\bar{\mathcal{C}}, \mathbb{E}) = \{\langle \bar{\mathcal{C}}(m^m, m^K) \rangle \rightarrow o^K \Rightarrow p = a^K\}$$

Aquí los *objetos de transformación* O (o su *dominio* D), son *cosas materiales* (entidades reales pasadas, presentes o futuras) o *constructos*, los *medios de producción* son principalmente la *base conceptual de conocimiento formal y factual* relevante para \mathcal{PC} . Las características de los componentes del *enfoque* $\mathbb{E} = \langle P, \mathbb{O}, K, M, \mathcal{F} \rangle$ son diferentes a los de \mathcal{PT} , sean: P (i) : conjunto de problemas cognitivos sobre naturaleza de las D (en particular leyes) y de otros componentes; (ii) \mathbb{O} : descubrir o usar teorías y leyes, sistematizar hipótesis y refinrar métodos, su *ethos* es la búsqueda de la verdad, profunda y sistemática (no por beneficio, poder o salvación); (iii) K es el *conocimiento de base*:

datos actuales fiables y comprobables, teorías, hipótesis, compatibles con \mathcal{B} y ya existentes, además modelos de artefactos existentes o propuestos por la \mathcal{PTC} ; (iv) M : procedimientos escudriñables y justificables; (v) *Filosofía F*: una *ontología de cosas materiales* y cambiantes (no entidades inmateriales), una *epistemología realista* (crítica, no idealista o convencionalista) que afirma la existencia de objetos objetivamente reales y la legalidad de los procesos existentes. Sintéticamente:

$$\mathcal{PC} = \langle \mathcal{S}, \mathcal{C} \{P, \mathbb{O}, D, K, M, \mathcal{F}\}, o, m, p \rangle.$$

La \mathcal{PC} se partitiona en varias campos especiales determinados por sus objetivos y por los referentes de explicación. Para la \mathcal{PT} o la ingeniería, son básicas las ciencias factuales (pe., la física) y formales (pe., las matemáticas).

Llamaremos *práctica científica factual básica* \mathcal{PCB} a la \mathcal{PC} cuyos referentes de explicación (leyes, predicción) o estudio son las *cosas materiales* o sus procesos en cada nivel ontológico particular o regional, o procesos entre niveles, sea el fisio-, químico-, bio-, sico-, socio-, tecnosistema, lo que determina una partición (división de trabajo o especialidad) en las distintas prácticas científicas (o *ciencias naturales* o *sociales*). En símbolos:

$$\begin{aligned} \mathcal{PCB}(\bar{\mathcal{C}}, \mathbb{E}) &= \{\langle \bar{\mathcal{C}}(m^m, m^K) \rangle \rightarrow o^K \Rightarrow p = (a^m, a^K), a^K \\ &\quad \triangleq \langle a^m, \pi^l, \pi^n \rangle\} \end{aligned}$$

La \mathcal{PCB} consiste de la interrelación de dos tipos de práctica: (i) la *teórico-conceptual* y (ii) la *experimental*, la cual es una *práctica empírico-concreta*, cuando esta última tiene por objeto principal contrastar las teorías e hipótesis realizadas por la primera.

Debemos comentar que el *experimento* no es simple *observación*, sino que consiste en una intervención dirigida y controlada de la realidad, y por tanto al igual que los datos, requiere de teorías e hipótesis de base. En la \mathcal{PCB} hay dos tipos de productos, el conceptual a^K y el material a^m , este último obtenido por la vía experimental o tecnológica.

Llamaremos *práctica científica formal básica* \mathcal{PCFB} a la \mathcal{PC} cuyos referentes inmediatos de explicación y su producto son los *constructos* (ideas, conceptos) lógicos y matemáticos. Es el campo de la lógica, las matemáticas, la semántica. Es una *práctica teórico-formal*, en símbolos:

$$\mathcal{PCFB}(\bar{C}, \bar{E}) = \{\langle \bar{C}, (m^m, m^K) \rangle \rightarrow o^K \Rightarrow p = a^K\}.$$

El producto de estas prácticas es el siguiente: (i) el de la \mathcal{PCB} consiste en determinado sistema del saber fijado en *sistemas conceptuales básicos* \mathcal{SCB} (proposiciones, razonamientos, teorías, hipótesis) correctamente contrastados, por lo que *representan* o *modelan* adecuadamente los procesos y las leyes de la realidad objetiva. La *verdad fáctica* es un concepto *semántico* consistente en la adecuación del modelo a la realidad a la que apunta, es históricamente relativa pero concreta; (ii) el de las prácticas formales \mathcal{PCFB} son *sistemas conceptuales formales* \mathcal{SCF} , válidos por su consistencia semántica, sean o no interpretados formal o factualmente.

4. PRÁCTICA CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA

La *práctica tecnológico-científica* requiere como fundamento al *conocimiento científico* relacionado con la problemática y el objetivo de la *práctica tecnológica* correspondiente, conocimiento que se da por las acciones de una *práctica científica específica*, puente entre \mathcal{PCB} y \mathcal{PTC} (diseño), que caracterizaremos en los párrafos siguientes.

Llamaremos *práctica científico-tecnológica* (*investigación tecnológica*) (Herrera, 1989, 1990): \mathcal{PTC} , a un subconjunto de las *prácticas científicas factuales y conceptuales* (formales o no) que tiene por *objetivo*: (i) la *explicación* de los procesos reales en *condiciones específicas* (naturales, humanos, sociales) y de los artificiales existentes o futuros, sean *leyes, predicciones o retroediciones*, (ii) la elaboración de sistemas de *reglas fundadas y predicciones tecnológico-científicas*; y (iii) *datos, leyes empíricas* en procesos en condiciones particulares, de interés para la \mathcal{PT} . Así, la *medicina* (práctica tecnológico-médica) se apoya en las “ciencias

de la medicina” como la biología humana (pe., la fisiología humana, la terapia o el diseño de tratamientos) o la patología.

Esta es una *práctica ideológico-conceptual*, que al igual que \mathcal{PCB} está sustentada o es simultánea con una *práctica experimental*, con procesos empíricos de observación, experimentación y de contrastación de sus teorías e hipótesis tecnológicas y con la elaboración de “prototipos” experimentales (pe., artefactos materiales o seres humanos) dirigidos especialmente a determinar la *fiabilidad y seguridad* de las teorías, datos y objetos modelos propuestos o usados por la *práctica tecnológico-científica* (diseño) (Herrera, 1990b).

La diferencia con la *práctica científica básica* consiste principalmente: (i) en su *problemática* que depende de las necesidades de conocimiento específico de la \mathcal{PTC} ; (ii) en su *objetivo*, cuyo *ethos* es la búsqueda de una verdad orientada a “fines prácticos”, una verdad útil a alguien. Aquí el conocimiento es una finalidad intermedia para lograr una meta de transformación “práctica”. Es un medio de conocer para hacer, para transformar y controlar la realidad. Es investigación estrechamente vinculada a los procesos del *diseño*.

El producto de la \mathcal{PTC} consiste de un *cuerpo de conocimiento* necesario para las *prácticas tecnológicas* (Herrera, 1991), constituido por *sistemas científico-tecnológicos y/o conjuntos*: $a^K = STC$, unión de los siguientes conjuntos: (i) *teorías tecnológicas: sustantivas TTS y operativas TTO* cuyos referentes son procesos en condiciones específicas (TTS) o sobre artefactos inventados (*teorías tecnológicas sistémicas*), en cada nivel sistémico o plurisistémico de la práctica correspondiente; (ii) *datos D*, (iii) *sistemas de reglas fundadas R* y el *pronóstico tecnológico*; (iv) *conjuntos técnicos CT* contenido conocimiento técnico o empírico (pe., reglas empíricas y leyes empíricas, etc.); en símbolos:

$$SCT = TTS \cup TTO \cup D \cup R \cup CT.$$

Un análisis más detallado de las características de los componentes de este *cuerpo de conocimiento*

se encuentra en (Herrera, 1991), sin embargo, conviene repasar brevemente el concepto de *regla* (Bunge, 1972) debido a la importancia que tiene para la *tecnología* en general.

En efecto, una *regla* es un enunciado que prescribe una *metódica*, un curso de acción para una práctica, sea manual, intelectual o social, indicando cómo se debe proceder para alcanzar una *meta*, de ahí su importancia para \mathcal{PT} . Las *reglas* son de carácter lógico, empírico, tecnológico y moral, y son convencionales. Hay dos tipos: *empíricas* y *fundadas*, la primera es la adoptada por creerse que funciona correctamente y la segunda debe ser consistente con la ciencia. Una *regla* es *fundada* si y solo si se basa en un conjunto de *fórmulas legaliformes* capaces de dar cuenta de su *efectividad*. Una *regla efectiva* es aquella que ha tenido *éxito*, que funciona en su aplicación, dando como resultado la *acción eficiente*. Una *regla efectiva* es una *regla fundada*, pues para que la regla funcione debe basarse en leyes que puedan dar razón correcta de los hechos. En otros términos, a partir de una *verdad factual* se podría tener *éxito práctico* y no al contrario. La afirmación inversa o *pragmática*: “lo que tiene éxito es verdad”, es falsa. Las *reglas* solo pueden ser *efectivas*, mientras los enunciados legales pueden ser verdaderos o falsos. La posición *pragmática* en el *enfoque* que asume la \mathcal{PT} conduce a problemas éticos y morales en las acciones, las cuales se realizan muchas veces sin importar los *medios* para alcanzar los *fines*.

Para \mathcal{PT} la *metódica M* y por tanto las *reglas* son centrales para su acción con éxito, por lo que la \mathcal{PCT} intenta fundar las *reglas* y transformar algunas *fórmulas legales* en *reglas tecnológicas efectivas*. Así, todos los componentes \mathcal{SCT} descritos son el fundamento o *medio de producción* de la \mathcal{PTC} (Herrera, 1991) y permiten la *explicación científica* de lo *artificial*, obteniéndose a partir de su cuerpo de conocimiento, *leyes tecnológicas* y *predicciones científico-tecnológicas*, fundamento de los *sistemas tecnológico-científicos*. En efecto, la *previsión tecnológica* se basa en general en las *reglas fundadas* y *predicción científico-tecnológica* (leyes y datos).

El conjunto \mathcal{SCT} que contiene el *conocimiento científico-tecnológico*, se puede llamar *ciencia aplicada* o *ciencia tecnológica*. En *ingeniería* es usual denominarlo *ciencia de la ingeniería*, es un medio de producción conceptual de la \mathcal{PTC} . No es un producto automático de la investigación básica, es la investigación de conocimiento nuevo de posible utilización práctica, un puente entre ciencia básica y el diseño (pe., el ingeniero estructural trata de la mecánica aplicada a sistemas materiales inventados, el farmacólogo a diferencia del bioquímico, trata sobre “sustancias químicas” relacionadas con la salud humana, el sociólogo puede estudiar el comportamiento de un grupo determinado, etc.).

Podemos afirmar que la *práctica científica PC* se partitiona (especialidad, división de trabajo) según sus objetivos y referentes. En efecto, en general la *práctica científica* se puede partitionar en cuatro campos: (i) la *práctica científica-factual o básica: PCB*; (ii) la *práctica científico-formal: PCF*; (iii) la *práctica científico-tecnológica: PCT* (o *ciencia aplicada*); y (iv) la *práctica filosófica: PF*, sea:

$$\mathcal{PF} = \mathcal{PCB} \cup \mathcal{PCF} \cup \mathcal{PCT} \cup \mathcal{PF}.$$

Las (i) y (iii) incluyen *prácticas ideológico-conceptuales y experimentales* (empíricas), y las (ii) y (iv) son *prácticas teórico-científicas*.

5. PRÁCTICA FILOSÓFICA Y TECNOLOGÍA FILOSÓFICA

Llamaremos *práctica filosófica PF* (*ciencia filosófica*) a la *práctica teórico-científica* que estudia: (i) a todos los existentes (o procesos) para obtener las categorías y propiedades más permanentes de la realidad (pe., existencia real, cambio, tiempo, causación, azar, vida, mente, sociedad) y (ii) a las *prácticas científicas y tecnológicas*, así como su producto cognitivo o conocimiento; es decir, *ontología* y *epistemología* respectivamente; además la *metodología* o la *epistemología normativa*, la *axiología* o *teoría de los valores*, la *ética* o *filosofía moral*, la *praxiología* o *teoría de la acción*, la *filosofía política*.

A diferencia de la *ciencias particulares* o *regionales*, cuyas teorías o resultados están sujetos al escrutinio empírico, la *ciencia filosófica* es una *ciencia general*, es una *práctica teórica* que solo se puede chequear por la coherencia de su producto conceptual con la ciencia o producto científico de las prácticas científicas particulares. Por otra parte debido a que toda *práctica tecnológica* se apoya en algún *marco filosófico*, surge la necesidad de intensificar el estudio de un campo de la *práctica filosófica* relacionado con los enfoques filosóficos requeridos por los fines prácticos de \mathcal{PT} , ampliándose el espacio para un área que se podría llamar *ciencia filosófica aplicada*, conteniendo un conjunto de aplicaciones de las ideas filosóficas a algunos problemas de estrategias, políticas y decisión producidos por la ciencia, la tecnología y la práctica social en general (Bunge, 1999). Por tanto, explícitamente:

Llamaremos *práctica científico-tecnológico-filosófica* \mathcal{PCTF} a un componente de \mathcal{PF} que trata o estudia los conceptos generales (o categorías) relacionados con los problemas prácticos (pe., valor, método, previsión, estrategia, política, decisión, normas, etc.) de la \mathcal{PT} . Entonces:

La *práctica filosófica* \mathcal{PF} se puede particionar en: (i) *práctica científico-filosófica* \mathcal{PCF} y (ii) *práctica científico-tecnológico-filosófica* \mathcal{PCTF} , sea: $\mathcal{PF} = \mathcal{PCF} \cup \mathcal{PCTF}$.

La división aquí planteada es solo formal en lo concerniente a las prácticas componentes de \mathcal{PF} , lo que sí se puede separar formalmente en forma más nítida, es el producto conceptual de estas prácticas, como lo describimos a continuación:

(i) Llamamos *sistemas científico-filosóficos* \mathcal{SCF} al producto de la \mathcal{PCF} (*ontología general, epistemología filosófica*), que consisten de sistemas conceptuales teóricos generales, contenido *categorías* científicas, teorías y leyes generales sobre la realidad como un todo (no de la totalidad de la realidad); y (ii) llamamos *sistemas científico-tecnológico-filosóficos* \mathcal{SCTF} al producto conceptual de la \mathcal{PCTF} , consistente en *normas de método, metódica*,

teorías, sistemas de reglas o normativos relacionados con los problemas derivados de las acciones propias de las \mathcal{PT} (pe., ética ambiental y comercial, filosofía política y legal, bioética, la filosofía de la educación, etc.).

El profesor Bunge (1999) llama *tecnología filosófica*, a los \mathcal{SCTF} sistemas de conocimiento a servicio de los intereses prácticos, es decir, de las \mathcal{PT} , tales como: la axiología, la praxiología, la metodología, la ética y la filosofía política.

6. SISTEMAS CONCEPTUALES DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Es posible ahora considerar el campo de una *práctica tecnológica cultural* \mathcal{PTK} , representada por la unión de: (i) la *práctica tecnológico-científica*: \mathcal{PTC} ; (ii) la *práctica científico-tecnológica* \mathcal{PCT} y (iii) la *práctica científico-tecnológico-filosófica* \mathcal{PCTF} . En símbolos:

$$\mathcal{PTK} = \mathcal{PCT} \cup \mathcal{PTC} \cup \mathcal{PCTF}.$$

También definiremos el *sistema conceptual de la ciencia* \mathcal{SKC} , como el producto resultante de \mathcal{PC} , conjunto que representa el conocimiento científico históricamente logrado, sea:

$$\mathcal{SKC} = \{\mathcal{SCB} \cup \mathcal{SCF}\} \cup \{\mathcal{SCT} \cup \mathcal{SCTF}\}.$$

Pertenece al *sistema conceptual de la cultura*.

Por ejemplo en Bunge (1980, p. 206) llama *tecnología al cuerpo de conocimiento* contenido en el segundo término de la unión de conjuntos del *sistema conceptual de la ciencia*, \mathcal{SKC} , sea: $\{\mathcal{SCT} \cup \mathcal{SCTF}\}$, es decir, a los *sistemas científicos tecnológicos y tecnológico-filosóficos* (Bunge, 1999), o al conocimiento contenido en tales sistemas conceptuales. Esta concepción es evidentemente distinta a la desarrollada en éste ensayo (Herrera, 1996). Así se tiene:

Análogamente llamaremos *sistema conceptual de la tecnología* \mathcal{SKT} , al producto resultante de la \mathcal{PTK} , sea:

$$\mathcal{SKT} = \{\mathcal{SCT} \cup \mathcal{SCTF}\} \cup \mathcal{STC},$$

conjunto que representa el *patrimonio cultural tecnológico* y que pertenece al *sistema conceptual de la cultura*. En este concepto se incluye a los posibles modelos de los artefactos realizados por las *prácticas tecnológicas-científicas*, aunque éstos sean muy diversos y válidos sólo en determinada época histórica. Algunos llaman a este *cuerpo de conocimiento, ciencia tecnológica*.

7. SISTEMAS TECNOLÓGICOS CONCRETOS

Los \mathcal{PT} no se realizan en general separados de los principales subsistemas sociales de una *sociedad* (Herrera, 1992): *sistemas económicos-productivos E* (producción material), *sistemas políticos P*, *sistemas culturales K*. Es decir, es una práctica que se realiza como componente de sistemas sociales concretos.

La *ingeniería* como \mathcal{PT} se da usualmente en los *subsistemas económico-productivos*, sea:

$$\mathcal{I} = \mathcal{PT} = (\mathcal{PTC} \cup \mathcal{PTM}) \in E$$

y como *práctica cultural* en los *subsistemas culturales*:

$$\mathcal{PTC} \subset \mathcal{PK} \in \mathcal{K}.$$

En la sociedad moderna hay cierto tipo de subsistemas concretos que se denominan *tecnosistemas*, los cuales tienen en su composición seres humanos especializados y cierta clase de artefactos (por ej. ordenadores) y una organización muy tecnificada y racionalizada (por ej. una fábrica muy tecnificada y automatizada). Algunos de estos *tecnosistemas* diseñan y construyen *tecnosistemas* u objetos tecnológicos que construyen a su vez *tecnosistemas*, los cuales se pueden llamar *sistemas tecnológicos concretos* (STC) o simplemente *sistemas tecnológicos* (ST), es decir, ST de producción (o de ejecución) y de diseño. Por ejemplo, un subsistema concreto de diseño y construcción de obras de producción hidroeléctrica (independientemente de la administración y mantenimiento del sistema).

Explícitamente, se llaman *sistemas tecnológicos* ST a una clase de *tecnosistemas* tal que, su estructura contiene un *sistema de objetivos* que fundamenta a sus funciones principales de transformación, invención, construcción y control de sistemas naturales, sociales y artificiales y su composición contiene artefactos especiales y componentes sociales con educación especializada en la \mathcal{PT} .

Los ST contienen dos tipos de sistemas sociales concretos: (i) *sistemas tecnológicos de diseño* STD y (ii) *sistemas tecnológicos de ejecución o administración* STM, es decir, $ST = STD \cup STM$, donde ST es un *sistema tecnológico*.

El STD es un *subsistema concreto cultural* cuyo objetivo es el *diseño* o la \mathcal{PTC} , el cual puede ser independiente o puede pertenecer a algún subsistema productivo, respectivamente:

$STD \in K$ o $STD \in E$ y es tal que su práctica principal es la \mathcal{PTC} .

El STM es un *subsistema económico-productivo*, cuya meta principal es la producción y el control de sistemas productivos, específicamente sistemas industriales o medios de producción material.

Los *sistemas científico-tecnológicos* SCT son medios de producción para las \mathcal{PTC} (sirven de fundamento científico) y por tanto para las actividades de los ST. Por otra parte, los STC son los medios de producción de la STM, pues sirven de guía para sus acciones.

Así, la *ingeniería* es una \mathcal{PT} que se produce dentro de los STD y STM, los que usualmente pertenecen a algún único *tecnosistema* de mayor dimensión. La *ingeniería* o \mathcal{PT} de los *tecnosistemas*, tiene por función general la producción de *sistemas artificiales* en la siguiente cadena productiva de las prácticas, donde la flecha indica interrelación sistémica:

$$\mathcal{PC} \Leftrightarrow \mathcal{PCT} \Leftrightarrow \mathcal{PTC} \Leftrightarrow \mathcal{PTM}.$$

Usualmente las \mathcal{PC} o las \mathcal{PCT} se dan en centros de investigación universitarios (por ej. laboratorios) o en sistemas industriales o subsistemas de ellos. Estas las realizan *ingenieros*

o *científicos* orientados hacia la investigación aplicada, profesores de las universidades o escuelas de ingeniería.

La \mathcal{PTC} es realizada principalmente por *ingenieros*, cuya meta, en unión con la \mathcal{PTM} , es la de obtener productos y procesos listos para la producción. Producen ST y sus artefactos componentes, en el interior de los tecnosistemas de *diseño* y de ejecución, como se ha descrito en párrafos anteriores.

La característica social de las prácticas tecnológicas es importante, porque muestra que la *tecnología* y específicamente la *ingeniería*, son prácticas sociales realizadas por medio de subsistemas sociales concretos de una sociedad. Los componentes humanos que las realizan con la ayuda de máquinas y los productos que obtienen, conceptuales o concretos, son componentes de las fuerzas productivas del modo de producción existente, son medios de producción y no son independientes de la estructura social existente.

La dirección del desarrollo tecnológico es dependiente de la dominancia económica y de la ideología dominante, por tanto sus decisiones no son neutrales o independientes. El *robotoido* o la *bomba* son artefactos útiles o malditos, pero su producción o su utilización son dependientes de los sistemas sociales que los poseen.

Las leyes que explican y las reglas que determinan el uso de ambos, son objetivas e independientes en cierta medida, pero no su función en la sociedad. El desarrollo de la *tecnología* cambia las fuerzas productivas y las relaciones de producción de una sociedad, pero no todas. Algunos cambios pueden incrementar las contradicciones, pero no resolver el problema de la apropiación, de la acumulación del producto social.

8. CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Con base en lo hasta aquí expuesto, los conceptos generales de *ciencia* y de *tecnología* (Herrera, 1995, 1996) se pueden presentar de una manera sintética e integral mediante la forma extensional

siguiente, donde el significado de los símbolos ya ha sido descrito:

El *concepto general de Ciencia* \mathbb{C} , se puede definir extensionalmente mediante la terna siguiente,:

$$\mathbb{C} = \langle \{\mathcal{PC}\}, \{\mathcal{SKC}\}, \text{STM} \rangle = \langle \{\mathcal{PC}\}, a^K, a \rangle,$$

donde $\mathcal{PC}(\mathcal{C}, \mathbb{E}) \subset K \subset S$ con $\mathbb{E} = \langle P, \mathbb{O}, K, M, \mathcal{F} \rangle$,

donde: $\bar{a}^K = \langle \{\mathcal{SKC}\} \in \{\mathcal{C}, \mathcal{A}\} \subset S$ y

$$a = \{a^m, \pi^l, \pi^n\} = \text{STM} \in \{\mathcal{C}, \mathcal{A}\}.$$

Que se sintetiza con la 10-tupla:

$$\mathbb{C} = \langle \mathcal{S}, \bar{C}, \langle P, \mathbb{O}, K, M, \mathcal{F} \rangle_o, m, p \rangle, m = m^m \cup \bar{m}^K, m^K \in \mathcal{SKC}.$$

El *concepto general de Tecnología* \mathcal{T} , se puede definir extensionalmente mediante la terna siguiente:

$$\mathcal{T} = \langle \{\mathcal{PT}\}, \{\text{STC}\}, \text{STM} \rangle = \langle \{\mathcal{PT}\}, a^K, a \rangle,$$

donde: $\mathcal{PT}(\mathcal{C}, \mathbb{E}) \in \mathcal{P} \subset \text{ST} \in S$

con $\mathbb{E} = \langle P, \mathbb{O}, K, M, \mathcal{F} \rangle$, donde:

$$\bar{a}^K = \langle \{\text{STC}\} \in \{\mathcal{C}, \mathcal{A}\} \subset S$$

y $a = \{a^m, \pi^l, \pi^n\} = \text{STM} \in \{\mathcal{C}, \mathcal{A}\}$. Que se sintetiza con la 10-tupla:

$$\mathcal{T} = \langle \mathcal{S}, \bar{C}, \langle P, \mathbb{O}, K, M, \mathcal{F} \rangle_o, m, p \rangle, m = m^m \cup \bar{m}^K, m^K \in \mathcal{SKT}.$$

En relación con el llamado *fenómeno científico* y *tecnológico*, las ternas \mathbb{C} y \mathcal{T} contienen los términos que usual y parcialmente se toman como el concepto de *ciencia* o de *tecnología*. En especial de éste último. La *intensión* de los componentes de las ternas, es decir, las propiedades generales que caracterizan a los conceptos involucrados ya han sido analizados en este y otros trabajos por el autor, sin embargo, es importante resaltar algunas de esas propiedades. Ambas *ciencia* o *tecnología* respectivamente, se las define como: (i) o una actividad específica (pe., la *física*, o la *ingeniería aeronáutica*, *ingeniería genética*); (ii) o un *sistema conceptual*

(mecánica relativista o el modelo de un avión); (iii) o un *objeto tecnológico material* (en especial un artefacto material, pe. una máquina, o un nuevo virus; o un sistema de actividades, un cambio de estado natural o humano), en el marco de un *sistema social* determinado. Obsérvese que el *producto conceptual* en la *tecnología STC*, es un *modelo* de un posible objeto concreto o de un sistema de actividades humanas, con un “*fin práctico*”, mientras el *producto conceptual* de la *ciencia SKC*, en el caso de la ciencia factual, tiene un correlato (directo o no, inmediato o mediato) de supuestos procesos existentes, con un “*fin cognitivo*” fundamental (pe., *SCB*) o un “*fin práctico*” o tecnológico (pe., *SCT*). El componente material o *STM* de la *terna tecnología* es un *artefacto* o un *proceso material*, con fines “prácticos” como medio de producción de la transformación empírica, pero en la *ciencia* puede ser un ente material o conceptual: descubierto (pe., una especie o un nuevo virus), inventado (pe. matemático), modelo (pe., en ingeniería, el de un artefacto), o un cambio artificial (pe., biológico, un cambio genético) con fines cognitivos. Las definiciones anteriores hacen evidente, por medio del análisis de sus componentes, las diferencias y los ejes comunes de la *ciencia y tecnología*.

Los artefactos *STC* y *STM*, componentes de la estructura genérica de la práctica *PT*, son pertenecientes al *ambiente apropiado de la sociedad* y ambos son los referentes o *relata* de la actividad orientada, en el sentido en que ambos son su *medio de producción* o su *producto tecnológico* y viceversa. El artefacto material *STM* no se da sin su *modelo* (o *sistema tecnológico-científico*), sea *SCT* ≡ *STM* (es decir, algún *STC*), el cual contiene la representación conceptual de su estructura, de sus funciones o actividades, o sea de la práctica para su operacionalidad y mantenimiento (explicación del artefacto). Su *funcionalidad* sirve los *intereses* del subsistema social, o en su relación con el que lo usa. Por otra parte, *STC* se fundamenta en el *sistema cultural de la tecnología*, en especial en *SCT*, su principal *medio de producción*, expresándose por su medio la interrelación sistemática y recíproca entre las *prácticas científicas y tecnológicas*.

Todas las *ingenierías* (como *prácticas tecnológicas*) tienen la misma estructura de todas las prácticas. La diferencia mutua entre las distintas clases de prácticas se hace evidente cuando se analiza su estructura como *práctica tecnológica*, especialmente por su *referente* u *objeto de transformación*. El análisis aquí expuesto permite hacer una *clasificación* de las *tecnologías* y específicamente de las llamadas ingenierías ortodoxas y abre espacio para la consideración de ingenierías nuevas y que tienen como ciencias de apoyo a otra espectro distinto al usual y como objeto de transformación y producto diferentes.

El autor piensa que la síntesis hecha, puede ser de utilidad, como elemento de apoyo o como guía para la acción, a aquellos que realizan la *práctica tecnológica educativa* para la *enseñanza de la ingeniería*, en especial para el diseño de los sistemas curriculares correspondientes (Herrera, 1990a, 1990b).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Althusser, L. (1974). *Para una crítica de la práctica teórica*. México: Editorial Siglo XX.
- Bunge, M. (1972). *La investigación científica*. Barcelona: Editorial Ariel.
- Bunge, M. (1980). *Tecnología y filosofía en epistemología*. España: edit. Ariel.
- Bunge M. (1988). The Nature of Applied Science and Technology. En M. Mahner, *Selected Essays of Mario Bunge: Scientific Realism*, (pp. 365-374). New York: Prometheus Books.
- Bunge, M. (1998). *Social science under debate: a philosophical perspective*. Toronto: University of Toronto.
- Bunge M. (1999). The Technologies in Philosophy. En M. Mahner, *Selected Essays of Mario Bunge: Scientific Realism*, (pp. 365-374). New York: Prometheus Books.

- Bunge M. (1999). The Technology-Science-Philosophy Triangle in its Social Context. En M. Mahner (Ed.), *Selected Essays of Mario Bunge: Scientific Realism*, (pp. 365-374). New York: Prometheus Books.
- Herrera, R. (1989). La práctica tecnológica. *Revista Filosofía, Universidad de Costa Rica*, 27 (66), 349-359.
- Herrera, R. (1990a). Tecnología y Sociedad. *Revista Filosofía, Universidad de Costa Rica*, 27 (67,68), 77-84.
- Herrera, R. (1990b). Consideraciones sobre el método. En *V Seminario de Ingeniería Estructural* (pp. 353-362). Costa Rica: Editorial Colegio Federado Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA).
- Herrera, R. (1991). Sistemas conceptuales de la tecnología. *Revista Filosofía, Universidad de Costa Rica*, 1(1), 67-68.
- Herrera, R. (1992). Los sistemas tecnológicos concretos. *Revista Filosofía, Universidad de Costa Rica*, 2 (2), 43-58.
- Herrera, R. (1995). Ingeniería: un marco conceptual. *Revista Filosofía, Universidad de Costa Rica*, 1(1), 39-51.
- Herrera, R. (1996). Algunas tesis sobre la tecnología. *Revista Filosofía, Universidad de Costa Rica*, 34 (83, 84), 365-384.
- Herrera, R. (2004). *Ciencia, tecnología y sociedad: consideraciones filosóficas*. Trabajo presentado en Memorias del V ESOCITE, V Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología: *La Construcción de la Tecnociencia en la Sociedad Contemporánea*. Universidad Autónoma del Estado de México. Extraído de www.octyt.org/@/esocite.
- Herrera, R. (2005). *Tecnología: una concepción general*. En Revista de Fislosofía de la Universidad de Costa Rica, Volumen XLII, Número doble 109/110 mayo - diciembre 2005.
- Mahner M. (Ed.) (2001). *Selected Essays of Mario Bunge: Scientific Realism*. New York: Prometheus Books.

SOBRE EL AUTOR

Rodolfo Herrera Jiménez

Doctor en Ingeniería Civil
 Profesor Emérito de la Universidad de Costa Rica.
 Miembro del Consejo del Postgrado en “Ciencia Cognoscitiva” de la Universidad de Costa Rica
 Miembro del Consejo del Sistema Acreditación de la Educación Superior (SINAES), Costa Rica.
 Teléfono: (506) 253-4549, 224-7090
 Apartado Postal: 106-2050
 Correo electrónico: rodolfoh@racsa.co.cr