

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVI JORNADAS

VOLUMEN 12 (2006)

José Ahumada
Marzio Pantalone
Víctor Rodríguez
Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Praxis de la ingeniería e Investigación en Ingeniería

Raúl A. Dean

1. Introducción

El análisis de las diferencias entre investigación científica e investigación tecnológica es un tema actual, donde la investigación que concreta la praxis de la ingeniería es parte importante de este análisis [1][2]. La investigación tecnológica en las ciencias de la ingeniería presenta una serie de características que la vinculan en forma natural con la innovación tecnológica, lo cual indica que las instancias de promoción inicial de los proyectos de investigación y la evaluación de la investigación tecnológica pueden ser utilizadas como un instrumento para fomentar la innovación [3]. Es relevante distinguir entre modos de investigación puesto que parte del discurso actual y normativas vigentes relacionadas con políticas de producción de conocimiento y su medición *sigue reposando* sobre conceptualizaciones articuladas en la mitad del siglo pasado, tal como el modelo lineal de innovación.

De acuerdo a B. Godin [4] este modelo históricamente se ha desarrollado en tres etapas. La primera, desde comienzo del siglo XX hasta alrededor de 1945, vinculó la investigación aplicada a la investigación básica, la segunda, entre 1934 y alrededor de 1960, incorporó el desarrollo experimental, y la tercera comienza en la década de 1950 y extiende el modelo a las actividades de producción y la difusión. Estas tres etapas correspondieron a tres comunidades, y a tres políticas o prioridades: el apoyo público a la investigación universitaria (investigación básica), la importancia estratégica de la tecnología para la industria (desarrollo), y el impacto de la investigación sobre la economía y la sociedad (innovación-difusión).

Se considera que este modelo enmarca conceptualmente el Manual de Frascati de la *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD), cuya primera versión data de 1963 y trata de la medición, con fines estadísticos, de los recursos humanos y financieros dedicados a la investigación y al desarrollo experimental, recomendando recolectar y tabular datos acorde a las tres componentes de la **Investigación y Desarrollo experimental (I+D)** definida como: "...el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones. El término I+D engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental... La **investigación básica** consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada. La **investigación aplicada** consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos, sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico. El **desarrollo experimental** consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los ya existentes..." [5]. Estas definiciones, con algunas variantes, son tomadas actualmente en

nuestro país como base conceptual en el marco de políticas relacionadas con la investigación desarrollada en universidades [6].

2. Investigación en Ingeniería

Si bien en la actualidad se reconoce a la ciencia aplicada como un cuerpo autónomo de conocimiento, y no meramente como la aplicación de investigación básica, resulta difícil encuadrar conceptualmente en ésta definición de I+D a la ingeniería en su actividad productora de conocimiento.

Y aquí es válida la pregunta que en este contexto efectúa M. T. Larsen *¿Por qué la investigación en ingeniería requiere atención?* a la cual responde haciendo referencia a una característica de la producción contemporánea de conocimiento: *saltar la brecha desde la comprensión científica básica a las ciencias aplicadas requiere el desarrollo de conocimiento genérico, herramientas y plataformas que puedan ser reconfiguradas y adaptadas para utilizar en múltiples aplicaciones potenciales*, y lo deja expresado en su definición de *investigación en ingeniería* que conceptualiza como *investigación científica, que resulta en el desarrollo de conocimiento genérico, herramientas y plataformas que hacen posible el desarrollo adicional de múltiples aplicaciones de un campo dado*.

M.T.Larsen destaca que una distinción clave entre investigación en ingeniería e investigación aplicada, es que “la investigación aplicada resulta en conocimiento específico al contexto sobre una *particular* aplicación, mientras que la investigación en ingeniería resulta en conocimiento genérico que puede posibilitar *diversas* aplicaciones del campo técnico-científico en cuestión.”, y propone una tripología de tres modos constituidos por: *Investigación Básica – Investigación en Ingeniería – Investigación Aplicada*. La tipología de tres modos de investigación que propone Larsen es *no lineal* e implica que el proceso de investigación está caracterizado por interacciones entre ellos, donde cada modo informa los problemas y métodos que conducen a los otros dos.

Considerando la distinción destacada por Larsen, una cuestión pertinente es *¿existen actividades en la praxis de la ingeniería y/o características de sus objetos de estudio que posibiliten obtener conocimiento genérico a partir del cual puedan surgir diversas aplicaciones?*

3. Un modelo de praxis de la Ingeniería

Para responder la cuestión anterior se propone un modelo de praxis de la ingeniería, inferido partir de la esencia de la función ingenieril que de acuerdo a Leopoldo Calvo Sotelo es: *“Mediar entre la idea y la cosa”, “Engendrar la cosa a partir de la idea”, “Ahí está la raíz gen. ... que vertebró nuestro nombre de ingenieros, y que ilumina también a tantos otros términos ilustres Engendrar la cosa a partir de la idea.”* [7].

Esto ubica al ingeniero como diseñador tecnológico de un entorno artificial, y a la ingeniería como una ciencia de lo artificial [8]. Como transformador de una realidad o diseñador de un medio artificial utiliza **marcos referenciales** (sociales, económicos, naturales, culturales, temporales), y siempre “interpreta” la situación problemática a partir de su inserción como sujeto en estos marcos. Toma los fenómenos que están en la naturaleza y los convierte en

algo que logra satisfacer funciones prácticas. Es un traductor intelectual entre el mundo natural y el social. Mediante esta interpretación se forma modelos de la situación a resolver y de soluciones posibles (asignándole significados y atribuyéndoles diferentes valores) que organizan y orientan su acción y que al ejecutarse producen cambios sobre la realidad. El ingeniero, como sujeto tecnológico, posee un *saber-hacer*, limitado, que proyecta en una acción tecnológica [9]. Este proceso implica entonces un conocimiento de carácter tecnológico, que reside primero en el sujeto y luego, se plasma en la realidad. Todo esto configura la praxis de la ingeniería.

Praxis y Práctica serán tomados como sinónimos. Recordemos en primer lugar que "*práctica*" no es toda actividad humana, sino sólo aquella dirigida por fines conscientes, se refiere sólo a la actividad intencional [10]. En segundo lugar, se aplica a las acciones objetivas, esto es, a las que se manifiestan en comportamientos observables por cualquiera. Estas dos notas podrían definir un concepto amplio de práctica que sería equivalente al de práctica intencional objetiva. Pero la ingeniería crea, produce, transforma, y no toda actividad intencional objetiva puede ser asociada a estos resultados. En este sentido, la "*Práctica*" de la ingeniería se puede entender en un *sentido restringido*, como una actividad metódica transformadora o generadora de una nueva realidad. Pitt [11], basándose en el concepto de ingeniería de G.F.C. Rogers y ampliado por W. Vincenti, define: *Ingeniería se refiere a la práctica de organizar el diseño, construcción, operación, de cualquier artefacto el cual transforma el mundo físico y el mundo social a nuestro alrededor para encontrar alguna necesidad reconocida.*

Y esto lo pone claro, Hans Poser al resaltar diferencias estructurales entre ciencia e ingeniería. Se pregunta: si un ingeniero no siente la necesidad de experimentar para poner a prueba la "verdad" de lo que utiliza como teoría, entonces ¿cuál es su interés?, y se responde: *el ingeniero es un buscador de medios para obtener un propósito, donde los medios son procesos o artefactos que transforman una situación A en una situación B, donde A es entendido (o interpretado) como una situación la cual no es satisfactoria con respecto a un dado valor V, mientras que B es una situación, entendida como un propósito de tal medio, que es una concreción del valor V* [12].

En la respuesta de Poser queda explicitado lo que produce el ingeniero: *un medio artificial*. Y esto requiere como *condición necesaria* la realización previa de un diseño tecnológico, relacionado todo esto con la esencia de la función ingenieril. Broncano [2], destaca su importancia cuando plantea su análogo en la práctica científica, "*un diseño es un plan de acción cuyo resultado es un artefacto o sistema artificial... Los diseños cumplen en las tecnologías una función similar a la que las teorías cumplen en la ciencia. En esencia se trata de una secuencia de operaciones con el resultado de un objetivo prefigurado previamente. Consta de órdenes de acción o proposiciones nomoprágmatas con una estructura articulada compleja*". De igual manera, Quintanilla expresa que la formulación de un diseño conlleva la tarea de concebir un plan de acción, y es el correlato técnico de lo que en la investigación científica es el descubrimiento y formulación de una teoría [13][14]. Y esto último se corresponde con el *problema del diseño técnico*, que de acuerdo a Quintanilla consiste en descubrir, en el contexto operacional, sistemas de acciones que nos permitan conectar

situaciones de partida con objetivos deseables, de forma semejante a como en un contexto conceptual el problema es conectar hechos a través de estructuras teóricas. Propone la noción de contexto operacional que define como un contexto conceptual en el que los enunciados legales se han transformado en enunciados nomopragmáticos [14].

Podemos entonces conceptualizar *la praxis de la ingeniería*, como una actividad metódica transformadora del mundo físico y el mundo social, con acciones proyectadas dentro de un contexto operacional que el ingeniero postula en el diseño tecnológico de un medio artificial, como adecuado para concretar con éxito una transformación de un sistema desde un estado inicial *A* no satisfactorio respecto a un valor *V*, a otro estado *B* que se considera satisfactorio respecto a dicho valor *V*.

El rol que cumplen los valores es el de argumentar por una dimensión normativa del propósito establecido, y permiten “medir” el éxito de la obtención de los resultados. Lo que se considere como valor *V* dependerá de la interpretación contextual que se le dé a la situación a resolver. Poser se refiere a esto como perteneciente al dominio de la *hermenéutica tecnológica* [12]. Que el *valor* dependa del contexto, plantea en el diseño una cuestión que se propone aquí como análoga a la “carga teórica de la observación” en ciencias fácticas, y es lo que denomino la “carga valorativa de todo diseño en ingeniería” en las ciencias de lo artificial, o en otras palabras, no existe un diseño “neutral” de un medio artificial. Propongo esquematizar los componentes de la acción ingenieril, de acuerdo al concepto de Poser, según Fig. 1.

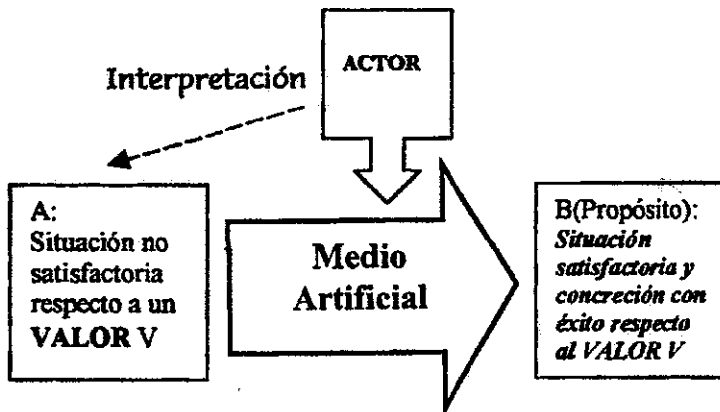


Figura 1. Componentes de la Acción Ingenieril

A los medios se los puede clasificar en temporarios (instrumentos) y permanentes [15]. Los permanentes especifican la actividad en una manera relevante para pasar de la situación *A* a la *B*, y un instrumento para medir o controlar las acciones operativas concertadas por un medio permanente, es un aspecto relevante de las ciencias artificiales, puesto que contribuye a la intersubjetividad de la acción. En forma análoga al descubrimiento en ciencias fácticas, si el medio proyectado es original, constituye una invención, y en este contexto, Michael Polanyi ha enfatizado la importancia del principio operacional de un dispositivo, en sus palabras, “Una

patente formula el principio operacional de una máquina especificando cómo sus partes características –sus órganos- cumplen su especial función en combinación con una operación global que logra el propósito de la máquina.” y expresa que el principio operacional constituye un ideal y da cuenta del trabajo exitoso de la máquina ([16], p.328-9). Walter Vincenti [17], en su análisis del conocimiento en el diseño en la ingeniería, los incluye dentro de la categoría de conceptos fundamentales de diseño para encuadrar los problemas tecnológicos y sus soluciones en el nivel más abstracto. Desde la perspectiva de la esencia de la función ingenieril, el principio operacional, es la idea del ingeniero para “engendrar la cosa”, constituye una abstracción producida para generalizar el funcionamiento exitoso de un medio artificial y es un elemento cognitivo que establece una plataforma funcional sobre la cual se pueden diseñar y construir diferentes dispositivos.

Una actividad esencial para engendrar la cosa es el diseño. Si consideramos la analogía establecida por Broncano que “*Los diseños cumplen en las tecnologías una función similar a la que las teorías cumplen en la ciencia*”, podemos decir que así como una hipótesis en ciencias fácticas se propone como un intento de respuesta al hecho problemático planteado en la investigación, esto es, debe explicar el hecho problemático, en forma análoga una *condición esencial* que tiene que cumplir el diseño tecnológico de un medio propuesto es lograr que el sistema alcance con éxito el estado B, a partir del estado A. No obstante, una diferencia que impone límites a la analogía planteada, es que un diseño tecnológico de un medio artificial siempre se postula para alcanzar un estado que se considera satisfactorio pero que aún no ha ocurrido, y esto básicamente es una característica de la praxis de la ingeniería, sus acciones se proyectan al futuro. También, así como a una hipótesis le exigimos que debe explicar otros hechos relacionados con el original, análogamente exigimos al diseño que permita que el medio artificial alcance correctamente otras transformaciones bajo diferentes condiciones. En tal sentido entonces, así como una hipótesis puede alcanzar un nivel de generalidad, el diseño de un medio artificial puede alcanzar un nivel genérico de aplicación.

También podemos expresar que así como una teoría debe cumplir requisitos metodológicos [18], *también el diseño tecnológico de un medio debe cumplir requisitos o condiciones*. Pero, a diferencia de las ciencias fácticas, el diseño debe cumplir *condiciones* relacionadas con el medio que se proyecta, tales como su *realizabilidad tecnológica*, material y operacional, *la disponibilidad* de los medios, *el “saber-cómo”* que debe poseer el actor en relación a los medios [13]. Condiciones que si no son cumplidas no implica que el propósito no pueda ser logrado, puesto que Kroes fundamenta que un objeto tecnológico, además de ser un objeto físico que se describe con el conocimiento científico, es portador de una función y es por virtud de esta función que es un *objeto tecnológico* [19]. Pensar en términos de funciones permite la sustitución de un medio por otro absolutamente diferente que, cumpliendo las condiciones anteriores, pueda satisfacer la dimensión normativa del valor considerado.

3. Conclusiones

En la praxis de la ingeniería tanto la actividad de invención como la de diseño, brindan la posibilidad de desarrollar conocimiento genérico que habilitan diversas aplicaciones. En la invención mediante los principios operacionales, y en el diseño considerando su función

similar a una teoría científica. También la característica dual de los objetos tecnológicos, al requerir diseñar en términos de funciones, brinda la posibilidad de proponer medios diferentes para lograr tal función.

También se ha puesto de manifiesto que el diseño no puede concretarse utilizando únicamente conocimiento de las ciencias básicas o aplicadas, por ejemplo, el concepto de función es ajeno a las mismas, y se ha observado que la acción ingenieril es un componente esencial en la praxis de la ingeniería, donde las acciones que se prescriben pueden tener tres finalidades conectadas entre sí: 1) evitar o prevenir determinados hechos, 2) modificarlos y/o controlarlos, c) crear artefactos, procesos, productos. Estas acciones intervienen en un contexto operacional y se manifiestan en un “saber cómo” y un “saber hacer”, fundamentando que la actividad de *investigación en ingeniería* está involucrada con cuestiones asociadas a un triple saber contenido en la praxis de la ingeniería, puesto que posee no sólo conocimiento científico, un “saber qué”, sino también conocimiento tecnológico, un “saber cómo” y un “saber hacer”, por lo tanto *es investigación científica* y también *es investigación tecnológica* [3].

De acuerdo a Godin, no obstante que la investigación ha sido medida desde la década de 1920, la cuestión “*Qué es Investigación?*” con frecuencia fue dejada a que lo decidan los encuestados, y una práctica adoptada fue suministrar una lista de actividades para ayudar a decidir qué incluir en sus respuestas. Entre las actividades estuvieron investigación básica e investigación aplicada, pero también ingeniería, experimentación, prototipos y diseño. Es importante destacar que el Manual de Frascati de 1970 definió investigación como “*trabajo creativo emprendido sobre una base sistemática para incrementar el stock del conocimiento científico y técnico y para usar este stock de conocimiento para diseñar nuevas aplicaciones*” (Cit in [4]). Si comparamos con la definición actual de I+D de este manual, se observa que al conocimiento técnico se le *otorgaba* explícitamente el mismo valor que al conocimiento científico.

Como fundamento empírico del aporte epistémico de la praxis de la ingeniería, es importante el trabajo de investigación histórica de Walter Vincenti [19]. Este autor explicita el cuerpo de conocimiento de la ingeniería categorizando el conocimiento involucrado en el diseño en ingeniería sobre la base de casos de estudio del diseño en la ingeniería aeronáutica. De acuerdo a Vincenti: “*el carácter del conocimiento en la ingeniería como una de las especies epistemológicas está solo siendo actualmente examinada en detalle. Este libro es una contribución a este esfuerzo*” ([17], pág3)

Todo esto fundamenta la propuesta de M.T.Larsen, que la investigación en ingeniería es un modo propio de investigación, diferenciado de la investigación aplicada. Pero, resulta también apropiado ampliar el concepto de esta autora, para incluir el conocimiento tecnológico, y se propone lo siguiente:

Investigación en Ingeniería, es tanto investigación tecnológica como investigación científica, entendidas como un trabajo creativo emprendido sobre una base sistemática que resulta en el desarrollo de conocimiento genérico tecnológico y/o científico, herramientas y plataformas que hacen posible el desarrollo adicional de múltiples aplicaciones de un campo técnico-científico dado.

A modo de plan a futuro cercano, que parece imposible de concretar (utopía), se propone que distinguir conceptualmente e implementar formalmente la tipología de tres modos de investigación de M.T. Larsen, considerando la investigación en ingeniería en su doble rol de productor de conocimiento genérico tecnológico y de conocimiento científico, proporciona un marco de trabajo útil para informar, proyectar, incentivar y evaluar políticas de ciencia y tecnología acordes al siglo XXI.

Referencias

- [1] Larsen, M.T., 2005 **Enabling Innovation Through Engineering: The Other Face Of University Research?** <http://www.cbs.dk/content/download/22323/313276/file/MTL>
- [2] Broncano, 1988. "Las posibilidades tecnológicas: una línea de demarcación entre ciencia y tecnología" *Arbor*, 50, pp. 47-70.
- [3] Dean, R. A., 2000. "La investigación tecnológica en las ciencias de la ingeniería y la innovación tecnológica," *Revista Voces de la Universidad*, Año V, N°23; UNRC; Pp.iv-v - ISSN1515-1042. www.unrc.edu.ar/publicat/23/dossidos
- [4] Godin, B., 2005 **The Linear Model of Innovation: The Historical Construction of an Analytical Framework.** http://www.csiic.ca/PDF/Godin_30.pdf
- [5] OCDE 2003 **Manual de Frascati.** 2002. ISBN 84-688-2888-2. Cap. 2
- [6] Instructivo/ Glosario. Aplicable a las Pautas de Evaluación y al Curriculum para Solicitud de Categorización 2004 Programa de incentivos a Docentes Investigadores - Proceso de categorización-(Argentina)
- [7] Calvo Sotelo, L. 2003 **Una reflexión sobre la ingeniería y los ingenieros al empezar el siglo XXI,** http://www.real-academia-de-ingenieria.org/publicaciones/discursos_ingreso/ursliyliaeesx.pdf
- [8] Simon, H.A. 1999 **The Sciences of Artificial.** The Mit Press, Cambridge Massachusetts. Pp. 11-24, 111-138.
- [9] Luque J., Queraltó R. 1996. **Los límites del conocimiento tecnológico.** *Novática, E-Feb*, pp. 82-85.
- [10] Villoro, L. 1992. **Creer, saber, conocer.** Siglo XXI edit. Mx. Pp. 250.
- [11] Pitt, J.C. (2001), **What Engineers Know,** *Techné* 5.3
- [12] Poser, H. 1998. **On structural differences between science and Engineering.** *Techné, SPT, v4n2.*
- [13] Quintanilla, M.A. 1998. **Tecnología: un enfoque filosófico.** EUDEBA, Bs.As. pp.33/46, 89/109/111/123
- [14] Quintanilla, M.A. 1988. "Bases para la filosofía de la técnica". *Arbor*, 50, p.11-28.
- [15] Queraltó, R. 1998. **Technology as a new condition of the possibility of scientific knowledge.** *Techné, SPT v4n2*
- [16] Polanyi, M. **Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy.** The University of Chicago Press. ISBN. 0-226-67288-3
- [17] Vincenti, W G. 1990. **What engineers know and how they know it. Analytical studies from aeronautical history.,** The John Hopkins University Press, London.
- [18] Klimovsky, G 1994, **Las desventuras del conocimiento científico,** Bs As, A-Z p.167-8
- [19] Kroes, P. 1998, **Technological Explanations: The relations between structure and function of technological objects,** *Techné*, 3.3