

Más ingeniería y menos ciencia por favor

Camilo Olaya

Profesor Asociado
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de los Andes, Bogotá
colaya@uniandes.edu.co

Resumen

La ingeniería se diferencia de la ciencia en muchos aspectos. Quizás el más significativo es que en lugar de estudiar y explicar fenómenos, la ingeniería transforma realidades. Esto lo logra a través del diseño de artefactos que al utilizarlos impactan un escenario específico. Un artefacto no es solamente un objeto material; un programa de cambio organizacional, una ley, una política pública, son también artefactos, objetos diseñados que tienen propósitos y que buscan cambiar una situación. El diseño de artefactos se facilita al conocer la forma como el ensamblaje de diferentes elementos opera, i.e. saber “cómo funciona el sistema”. Esta actitud se aparta de la manera científica más popular, el idealismo subjetivo, que enfrenta una situación a explicar en función de datos que se asumen como fuentes de conocimiento con el fin de descubrir teorías y leyes, posición que no supera el problema de la inducción indicado por Hume a menos que se suponga uniformidad para el sistema observado, suposición irreal para sistemas innovadores como lo son los sistemas sociales, e.g. organizaciones, firmas, sistemas públicos, etc. La pregunta por la manera de operar de un sistema, bautizada desde un comienzo, y con razón, como “investigación operacional”, requiere indagar por la forma como el sistema efectivamente “funciona”, lo que en un sistema social se traduce en indagar por los procesos de decisión y de uso de información y de recursos que actores libres e innovadores realizan continuamente. La Dinámica de Sistemas presenta un ejemplo ilustrativo de esta epistemología de ingeniería a través de su característico “pensamiento operacional”. Esta ponencia expone algunas relaciones entre el pensamiento operacional y la ingeniería, su diferencia con la epistemología científica—basada en datos y en el aprendizaje por observación—y puntualiza elementos para pensar que la actitud operacional de la ingeniería es necesaria para transformar sistemas sociales.

Palabras clave: ingeniería, ciencia, investigación operacional, pensamiento operacional, sistemas sociales.

1. Introducción

La ciencia se ha posicionado como uno de los más grandes éxitos de Occidente y como ejemplo del uso de la razón para conocer la naturaleza. Las explicaciones teóricas originadas en el pensamiento científico, y la forma como dichas explicaciones se generan, se toman típicamente como ejemplos, e inclusive como ideales racionales, para pensar y actuar. Este tipo de pensamiento ha permeado particularmente a las ciencias que estudian sistemas sociales. Para enfrentar una situación problemática se espera que una explicación científica brinde lineamientos de actuación, es la “ciencia para la acción”.

Sin embargo, el paradigma para la acción se encuentra con más naturalidad en la ingeniería que en la ciencia. ¿Pero cómo se articula entonces la ingeniería con la ciencia? La explicación tradicional, y desafortunada por lo demás, es que se asume que la ingeniería es “ciencia aplicada”. Esta ponencia utiliza la noción de “pensamiento operacional” para ilustrar y reflexionar sobre la naturaleza creativa (y no aplicativa) de la ingeniería y de sus diferencias con la epistemología de la ciencia tradicional.

2. Ciencia y sistemas sociales

El supuesto rara vez debatido es que los sistemas sociales (e.g. empresas, firmas, sistemas públicos y privados, etc.)

deben estudiarse como fenómeno, i.e. como observables. Se asume entonces el uso de métodos científicos para estudiar y analizar regularidades y relaciones causales en dichos sistemas y así conformar un cuerpo de conocimiento científico expresado en teorías. Aparentemente la aplicación de teorías científicas llevaría a resolver problemas en dichos sistemas pues se espera que sirvan como recomendaciones para la acción, e.g. política pública, recomendaciones que así se legitiman científicamente. Es decir, se asume que se necesita primero ciencia, e.g. desarrollos teóricos, impulsados y verificados mediante la recolección sistemática de evidencia y de datos experimentales, para contar con explicaciones causales genéricas que sugieran orientaciones para saber qué hacer.

La carga epistemológica no es poca pues dicha empresa depende entonces de la posibilidad de producir teorías de acuerdo con observaciones (estadísticas, experimentales, cualitativas, etc.). Estas teorías se validan usualmente en un contexto de justificación, según la manera como dichas observaciones se realizan, es decir, corresponden a la expresión del idealismo subjetivo de Berkeley y Hume (Blackmore, 1979) en donde la meta es el estudio de las percepciones (observaciones), la posición fenomenalista dominante de lo que hoy se llama “ciencia”. En efecto, parece que estudiar un sistema social es igual a estudiar un

fenómeno natural como por ejemplo un asteroide, el comportamiento de los leones en las llanuras africanas, o un átomo. Se realizan observaciones sistemáticas para estudiar sus características, sus propiedades, sus causas, sus consecuencias, su comportamiento, las posibles “leyes” que lo rigen. El análisis de estas observaciones sirve para generar o para confirmar hipótesis o teorías que pretenden explicar la ocurrencia del fenómeno de acuerdo con lo que la evidencia indica. Estas teorías además deben ser de carácter genérico para ignorar las particularidades que están por fuera de la “normalidad” de lo observado. Esta generalidad se establece a través de mecanismos causales expresados en teorías. Se espera que el encontrar una explicación causal válida, materializada en hipótesis o teorías, significa comprender la ocurrencia del fenómeno. Dentro de este naturalismo se asume que explicar la ocurrencia de un fenómeno implica “descubrir” sus causas.

¿Cómo se establecen estas asociaciones causales? Observando. Como consecuencia, buena parte de las discusiones técnicas y académicas se convierten en debates sobre la calidad de las observaciones, el tamaño de la muestra, los sesgos, etc. Se asume que si se observa “correctamente” entonces se pueden establecer las causas del fenómeno. De hecho a pesar de las diferencias entre sus dominios de trabajo, las ciencias naturales y las ciencias sociales comparten buena parte de elementos epistemológicos pues ambas perspectivas en tanto que se entienden como “ciencias” tienen una posición epistemológica de “descubrimiento” y de “justificación”. Se busca entonces que el conocimiento que se genera sea conocimiento científico, lo que a su vez se entiende entonces como conocimiento descriptivo (¿en qué consiste el fenómeno y por qué ocurre? ¿cuáles son sus causas?), abstracto (articulado a través de teorías), justificado (el problema del método), incondicional, desinteresado, universal, eterno, utópico (libre de contexto), certero, de lógica causal (causa-efecto), y valorativamente neutral (Goldman, 2004; Olaya, 2012a).

3. Ingeniería de sistemas sociales

Sin embargo, un sistema social no es un fenómeno natural. Involucra el diseño y la ejecución deliberada de mecanismos, organizaciones, estrategias, políticas, acciones coordinadas, etc. que no son otra cosa que artefactos, es decir, creaciones con un propósito diseñadas por seres humanos. Sin embargo, es la ingeniería, en lugar de las ciencias, la disciplina que se dedica a tratar con artefactos, es decir, a tratar con sistemas artificiales. El reconocido Nobel Herbert Simon resume algunas de estas distinciones en su libro “Las ciencias de lo artificial” (Simon, 1996) en donde subraya la separación entre sistemas naturales y sistemas artificiales; a estos últimos los ubica en el dominio propio de la ingeniería, i.e. sistemas diseñados con consideraciones normativas para cumplir con un propósito. A la ciencia le interesa cómo *son* las cosas, a la ingeniería le interesa cómo *deberían ser* las cosas. La ingeniería no pretende explicar observaciones sino transformar una realidad. La ingeniería aborda además no sólo sistemas que se pueden describir con leyes científicas, i.e. sistemas

eléctricos, mecánicos, etc., sino también sistemas sociales, es decir, sistemas que no pueden ser descritos con leyes sino que son conformados por actores que toman decisiones de forma libre y espontánea. El abordaje de sistemas sociales requiere trascender prejuicios errados sobre la ingeniería que la confunden con una “mecanización” del mundo pues la singularidad e impredecibilidad de actores (individuales, institucionales, etc.) que toman decisiones y que innovan contrasta con la naturaleza aparentemente genérica y predecible de los sistemas naturales.

El contraste entre la epistemología de las ciencias (naturales y sociales) y la epistemología de la ingeniería es total. El pensamiento y el conocimiento generado por la ingeniería están comprometidos con el *diseño* del mundo (Doridot, 2008; Floridi, 2011), lo que representa una tercera vía alternativa a las tradicionales dicotomías científicas subjetivismo-objetivismo y descubrimiento-invencción. Reconocer que la actividad de *diseñar* es intrínseca a la ingeniería requiere superar la equivocada y tradicional noción de que ingeniería es simplemente una pasiva “ciencia aplicada” (Goldman, 2004; Hansson, 2007; Layton, 1974; McCarthy, 2010; Olaya, 2012a; Pitt, 2010; Van de Poel, 2010). Diseñar es un acto creativo que trasciende la naturaleza pues consiste en la creación intencional de artefactos concebidos para un propósito que adaptan medios para cumplir unos fines. Las herramientas de los primeros hombres que utilizaron el fuego (Brown et al., 2009), las pirámides Mayas, los caminos Incas (Harms, Baetz, & Volti, 2004), son ejemplos simples e ilustrativos de ingeniería: diseño de artefactos que anteceden a cualquier actividad teórico-científica.

Diseñar es además una actividad contextual e intrínsecamente particular (Goldman, 2004) pues siempre tiene como referente una situación espacio-temporal específica en donde el “know-how” toma precedencia sobre el “know-that” científico (Ryle, 1945). El pragmatismo epistemológico del diseño de ingeniería, orientado intrínsecamente a la acción, implica que debe considerar elementos que se quedan por fuera de enfoques naturalistas orientados hacia la teoría, la abstracción y los modelos idealizados, pues un diseño debe *funcionar* en la práctica y cumplir con el propósito y las especificaciones que lo motivaron; la situación que tiene el ingeniero al frente no se puede idealizar, la resistencia del aire, la fricción de los materiales, los intereses y decisiones de los actores involucrados, la manera como un sistema opera realmente en la práctica, no se pueden obviar (Goldman, 2004; Hansson, 2007; McCarthy, 2010). Lo anterior implica que satisfacer las condiciones funcionales—así sea de forma aproximada—es suficiente, lo relevante es que el diseño resuelva el problema; en ingeniería, al contrario de lo que usualmente se piensa, la precisión matemática y las soluciones analíticas exactas no son estrictamente requeridas (Hansson, 2007). Un diseño además implica consideraciones valorativas, e.g. “amigable al usuario”, “riesgoso”, “legal”, “deseable”, “satisfactorio”, etc. ajenas a la actividad científica. Un artefacto refleja intenciones humanas las cuales están abiertas a la crítica ética, a

diferencia de un fenómeno que simplemente “ocurre”, como la fuerza gravitacional o un bosque.

Estas consideraciones implican además métodos diferentes. El ingeniero no pretende producir teorías sino diseñar artefactos que atiendan una situación concreta. Primero considera la situación a abordar y luego sí decide qué hacer. Se enfrenta a situaciones nuevas cada vez, problemas diferentes para “clientes” diferentes, con propósitos diferentes en circunstancias distintas. El ingeniero no comienza desde una teoría ni desde unos datos. Sus métodos no son la deducción ni la inducción. No se debate entre el realismo y el empirismo de los filósofos de la ciencia. Tampoco se debate entre métodos cuantitativos o cualitativos, este tipo de preguntas le son irrelevantes pues el conocimiento que el ingeniero genera no se ampara en la justificación. No le interesa generar una teoría “válida” para explicar unas observaciones. En cambio, las complejas restricciones que enfrenta un ingeniero generan un tipo de conocimiento más confiable que no necesita de autoridad epistémica (Pirtle, 2010; Pitt, 2011) pues, en últimas, si el diseño resuelve el problema, ¿importa si hay una justificación metodológica para utilizarlo? Esta actitud confronta a la epistemología occidental científica que se ampara en la justificación. En su lugar, la ingeniería opta por el pragmatismo (Pitt, 2011) y por una epistemología equivalente a la propuesta por Popper (1963) que descarta la lógica de justificación y que opta por conjeturas ciegas—no justificadas, e.g. (Bartley, 1987)—, y por la acumulación de conocimiento a partir de errores anteriores, expresado en diseños y tecnologías (Layton, 1974), y su puesta a prueba a través de modelos, simulaciones y en la práctica.

El conocimiento de ingeniería es entonces realmente opuesto a los ideales de la tradición científica pues los diseños de ingeniería son prescriptivos, concretos, no requieren de justificación, tienen propósito, son singulares, temporales, contextuales, sin certidumbre, e involucran consideraciones normativas y éticas. La Tabla 1 resume los elementos anteriores y contrasta las dos epistemologías.

Ciencia	Ingeniería
<i>Principio de Razón Suficiente</i>	<i>Principio de Razón Insuficiente</i>
Descubrir, describir	Diseñar
Comprender, contemplar	Actuar, transformar
Teoría	Práctica, tarea específica
Universal	Particular
Eterno	Temporal, histórico
Utópico, libre de contexto	Contextual
Normalidad, homogeneidad	Singularidad, heterogeneidad
Abstracto	Concreto
Absoluto	Relativo a una situación
Conocimiento justificado	Conocimiento injustificado
Know-that	Know-how
Incondicional, necesario	Contingente
Desinteresado	Propósitos
Valorativamente neutral	Valoración, consecuencias, ética
Certero (probabilidades conocidas)	Incierto (probabilidades desconocidas)

Tabla 1. Epistemologías de la ciencia y de la ingeniería. Basado en (Goldman, 2004) y (Olaya, 2012a).

4. Pensamiento operacional

La Dinámica de Sistemas tuvo su origen en ingeniería la cual Jay Forrester articuló con sistemas industriales (Forrester, 1961). Un ejemplo que ilustra algunos de los elementos señalados en la sección anterior es el “pensamiento operacional” (Olaya, 2012a, 2012b). Indicaré algunos rasgos sobresalientes.

Barry Richmond (1993) acuñó la expresión “pensamiento operacional” para referirse a la preponderancia de abordar un sistema a partir de su operación—“cómo funciona el sistema”. Para un sistema social esto significa entender su desempeño como el producto de las decisiones continuas de los actores que lo conforman (Figura 1). Este tipo de explicación provee un mecanismo para entender el desempeño del sistema y es epistemológicamente diferente de una explicación causal (Olaya, 2004, 2005).

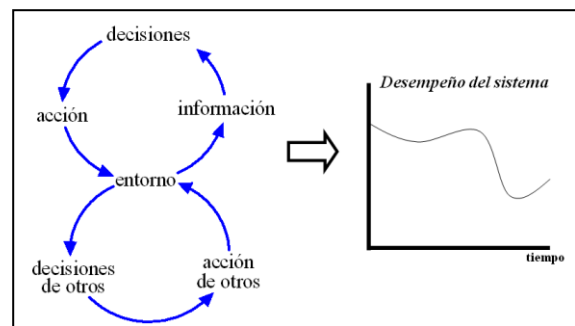


Figura 1. Pensamiento operacional en dinámica de sistemas

La Figura 2 muestra un ejemplo : un modelo operacional de producción de leche. En dicho modelo la producción de leche materialmente se concibe como consecuencia de la cantidad de vacas, de granjeros (que las ordeñan) y de la productividad de los mismos (e.g. 5 litros por día por persona por vaca).

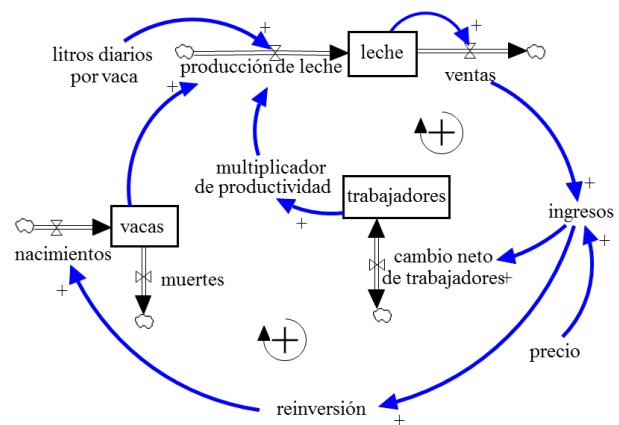


Figura 2. Modelo operacional de producción de leche

Este modelo operacional muestra *estructura dinámica*, las secuencias de acciones que ocurren en el sistema (e.g. ventas → ingresos → inversión → criar vacas → producción) y las fuerzas que estimulan o restringen tales acciones (e.g. precio). Igualmente muestra *flujos de*

información y una posible *correspondencia simbólica* entre el modelo y el sistema que éste pretende capturar. Las *operaciones* en el sistema se definen con ecuaciones.

¿Cómo definir la ecuación de producción de leche? Sea:

$L = \text{leche}$	$p = \text{producción}$
$v = \text{ventas}$	$l = \text{litros diarios por vaca}$
$V = \text{Vacas}$	$n = \text{nacimientos}$
$m = \text{muertes}$	$T = \text{Trabajadores}$
$i = \text{ingresos}$	$pr = \text{precio}$
$r = \text{re inversión}$	$cnt = \text{cambio neto trabajadores}$
$mp = \text{multiplicador de productividad}$	

Las características ecuaciones diferenciales de la Dinámica de Sistemas dan las primeras pistas para reconocer el pensamiento operacional. El sistema de ecuaciones que define las acumulaciones del modelo de la Figura 2 es:

$$dL/dt = p(t) - v(t) \quad (\text{Ec. 1})$$

$$dV/dt = n(t) - m(t) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$dT/dt = cnt(t) \quad (\text{Ec. 3})$$

Por ejemplo la Ecuación 1 responde a la pregunta “cómo funciona la acumulación de leche”: “tome la leche que ya tiene, adicione la que produjo hoy, y no olvide restar la que vendió hoy”. En adición a estas *operaciones* en acumulaciones el modelo muestra diversos procesos de decisión llevados a cabo por los actores del sistema, e.g. la reinversión en el negocio de la leche con la crianza de más ganado, el cambio en los trabajadores de la granja (e.g. contratación), ambas decisiones de acuerdo con los ingresos generados por las ventas. En particular la ecuación operacional de producción de leche está en función del número de vacas, de la cantidad de litros de leche que cada vaca puede dar, y un multiplicador de productividad:

$$\text{producción}(t) = V * l * mp \quad (\text{Ec. 4})$$

La Ecuación 4 establece que la producción de leche por unidad de tiempo (e.g. producción diaria) es igual al número de vacas multiplicado por la cantidad de leche que cada vaca produce multiplicado por la productividad. No es una teoría de producción de leche, no es una hipótesis tampoco. Es una regla de decisión para el caso particular, para una granja específica (y no otra), y refleja cómo los actores efectivamente producen leche, al menos de acuerdo con la forma como el modelador lo imagina. La producción de leche de la Figura 2 se establece como el producto de las operaciones recurrentes de unos actores que conforman en sus inter-acciones el sistema concreto que ha sido modelado. Es un ejemplo de la epistemología de la ingeniería (Tabla 1) que aborda un caso específico, singular, contingente, en donde el “know-how” tiene precedencia sobre el “know-that”. No se pretende generar una teoría ni explicar unas observaciones, el objetivo del modelo es apoyar el diseño de políticas que transformen la situación de acuerdo con el interés de alguien en realizar dicha transformación.

Otras epistemologías son posibles. El modelo no operacional de la Figura 3 muestra el caso contrario, una alternativa basada en observaciones como fuentes de conocimiento.

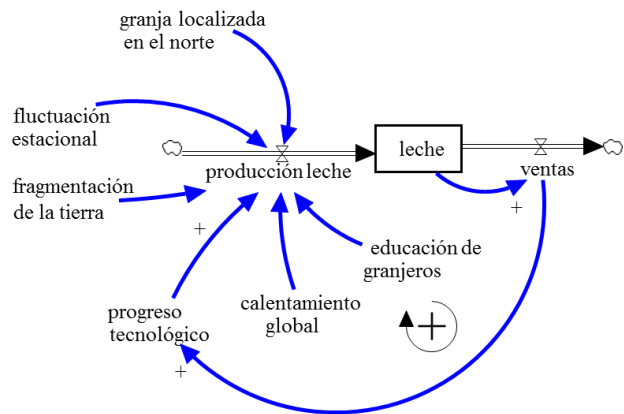


Figura 3. Modelo correlacional (no operacional) de producción de leche

En este caso, la función de producción de leche se construiría a partir de aparentes efectos observados en la producción de leche. De hecho, literatura de orientación científica utiliza esta epistemología para identificar dichos factores como determinantes en la producción de leche: localización de la granja (El-Osta & Morehart, 2000), fluctuación estacional (Mkhabela, 2004), fragmentación de la tierra (del Corral, Perez, & Roibas, 2011), progreso tecnológico (Ahmad & Bravo-Ureta, 1995), educación de los granjeros (Mariam & Coffin, 1993) y el calentamiento global (Topp & Doyle, 1996). Sin embargo, ninguno de estos factores se puede asociar operacionalmente con la producción de leche. Si alguien pregunta “¿cómo se produce la leche?” es muy poco probable que el calentamiento global esté en la respuesta.

El modelo de la Figura 3 es un ejemplo de pensamiento no operacional, basado en datos, en inducción. La ecuación de producción de leche puede formularse como la suma o la multiplicación de efectos normalizados no lineales. Y a pesar de que el modelo cuenta con acumulaciones, no linealidad y hasta realimentación, no es un modelo que reconozca la producción de leche como producto de las operaciones del sistema, no caracteriza procesos de decisión, acción, uso de información, etc. ¡Ni siquiera tiene vacas!

Dada la imposibilidad de describir un sistema social con leyes (o con hipótesis con aspiraciones similares) debido al carácter innovador de los individuos que lo componen, el pensamiento operacional se convierte en una manera prudente para abordarlos. Un modelo operacional articula las relaciones entre las operaciones de los actores y explica el desempeño del sistema como el producto de la interacción y realización continua de tales relaciones; con la ayuda de un computador el modelo simula las consecuencias de dichas interacciones. En lugar de buscar las causas del fenómeno el ingeniero se ayuda con la construcción de un modelo. El conocimiento generado a partir de un modelo operacional no es inducido a partir de datos ni deducido a

partir de principios más generales. Es contingente de acuerdo con el sistema modelado y caracteriza las operaciones del sistema en función de las decisiones de actores motivados y de las consecuencias de las interacciones entre las mismas a través del tiempo. Dicho tipo de modelo ayuda a comprender por qué el sistema hace lo que hace de acuerdo con la forma como está organizado, tiene una función explicativa, no predictiva. Con base en esta explicación, i.e. una hipótesis dinámica (Sterman, 2000), se pueden diseñar políticas, es decir artefactos, para intervenir en el sistema y transformar una situación problemática concreta. El proceso es heurístico, utiliza el método por excelencia de la ingeniería: ensayo y error, y es basado en las actividades de modelado y de simulación. “¿Qué pasaría si hacemos esto?” “¿O esto otro?” Son preguntas típicas del ingeniero. El modelo de simulación nos ayuda a diseñar los artefactos de intervención en la situación problemática a través de procesos iterativos de modelación, simulación, experimentación. Si el modelo es operacional, entonces éste nos da confianza de que dichos diseños contemplan las acciones y operaciones del sistema a rediseñar. Con un modelo operacional el sistema modelado no se idealiza; pensar operacionalmente significa pensar en la situación concreta a enfrentar y reconocer que un sistema social es un sistema intencional, significa preocuparse por cómo realmente pueden ocurrir las cosas dado que el sistema es conformado y recreado por tomadores de decisión.

El problema a resolver es además definido por alguien que tiene interés en resolverlo (e.g. “la producción de leche no es suficiente”) y es definido de acuerdo con la particularidad de dichos intereses. Es un problema para alguien. La ingeniería no es una actividad libre de contexto, ideal que ha configurado a la tradición científica. Un modelo apoya el diseño de unas políticas delineadas deliberadamente, que persiguen unos fines, con restricciones específicas y con motivaciones sociales e institucionales. La ingeniería involucra intrínsecamente la pregunta por la acción a seguir, por cuál debe ser la forma para actuar, e.g. ¿cómo debe ser una política para mejorar la producción de leche? ¿qué tipo de cosas hay que hacer? ¿cómo se deben realizar? ¿quién debe hacerlo? ¿cuándo? Es decir, en el campo mismo de la ingeniería hay que enfrentar aspectos de filosofía moral pues unas acciones serán correctas o más deseables que otras; la ingeniería es *praxis*, interviene en el mundo. Este tipo de preguntas en cambio no son intrínsecas para el científico; la explicación teórica, éticamente neutral, no las incluye.

5. Un problema de confusión

Tratar un sistema artificial como si fuera uno natural constituye un error categórico que puede explicar por qué somos inefectivos a la hora de resolver problemas relacionados con sistemas sociales. Un sistema social no es un fenómeno de la naturaleza, es diseñado (con y sin intención) y es el producto de acciones humanas. No es eterno, no puede ser explicado con afirmaciones abstractas que apliquen en todo momento, es cambiante. No puede ser descrito con leyes, hipótesis abstractas y genéricas o afirmaciones similares pues obedece a complejas relaciones

y decisiones de actores humanos e institucionales que se caracterizan por su capacidad para innovar, es decir, para actuar de formas que no han sido observadas. Obedece a unas condiciones propias del entorno en donde se desarrolla, a la historia que lo construyó en tiempo y lugares específicos. Es singular y es consecuencia de intenciones humanas e instituciones propias de una colectividad específica. ¿Cómo enfrentar, comprender y modificar un sistema innovador e idiosincrático a través del aprendizaje por observación? Simplemente no es posible a menos que supongamos la uniformidad del sistema, advertencia hecha ya por Hume (1740).

Los sistemas sociales y las tecnologías para intervenirlos son diseños que implican además consideraciones normativas y éticas que no se pueden dejar de lado. La ingeniería cuenta con la forma de pensar, los métodos y las herramientas para explorar, generar, evaluar y modificar diseños, iniciativas de cambio, soluciones y mejoras, de acuerdo con unos recursos disponibles, para enfrentar situaciones contingentes, inciertas y pobremente comprendidas en un espacio rico y variante de criterios técnicos, éticos, estéticos y humanísticos (Koen, 2010). Esta reflexión evidencia que transformar y rediseñar sistemas sociales es un reto de pura ingeniería. Es apenas lógico entonces invitar a la ingeniería a participar en las grandes transformaciones de la sociedad que implican el diseño y rediseño de artefactos sociales complejos: leyes, normas, políticas públicas, programas, iniciativas de cambio organizacional, reglas y prácticas—explícitas e implícitas.

El filósofo Steven Goldman (1990) ha subrayado el prejuicio occidental que antepone el saber teórico al saber práctico, prejuicio basado en la preferencia que nuestra cultura muestra por los valores que están en la columna izquierda de la Tabla 1, los valores que encarna la ciencia. Sin embargo, la preferencia por la ciencia es tal vez un producto cultural de nuestro tiempo dada la inclinación hacia dichos valores, hacia lo abstracto, hacia lo absoluto, hacia lo universal. Pero los avances de nuestra civilización, desde la primera ocasión en la que nuestros antepasados homínidos enfrentaron un problema, fueron impulsados por la práctica, por retos concretos, cotidianos, algunos simples y pequeños, otros complejos y enormes, enfrentados por el creativo *Homo Faber* que en su fabricación y diseño de artefactos ha expresado desde siempre su *sapientia*. El profesor de ingeniería de la Universidad de Duke Henry Petroski (2010) subraya que incluso la ciencia se puede atravesar en el camino de la ingeniería; menciona numerosos ejemplos del cual destaco el caso ilustrativo del ingeniero Isambard Brunel quien diseñó los primeros barcos de vapor en contra de lo que los científicos de la época afirmaban (pues los consideraban materialmente imposibles). La ingeniería es “manos a la obra”, menos teoría y más práctica, menos justificación teórica y más acción.

Referencias

- Ahmad, M., & Bravo-Ureta, B. E. (1995). An Econometric Decomposition of Dairy Output Growth. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(4), 914-921.
- Bartley, W. W., III. (1987). Philosophy of Biology versus Philosophy of Physics. In G. Radnitzky & W. W. Bartley, III. (Eds.),

- Evolutionary Epistemology, Rationality, and the Sociology of Knowledge* (pp. pp. 7-45). La Salle, IL, USA: Open Court.
- Blackmore, J. (1979). On the Inverted Use of the Terms 'Realism' and 'Idealism' among Scientists and Historians of Science. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 30(2), 125-134.
- Brown, K. S., Marean, C. W., Heries, A. I. R., Jacobs, Z., Tribolo, C., Braun, D., . . . Bernatchez, J. (2009). Fire As an Engineering Tool of Early Modern Humans. *Science*, 325, 859-862.
- del Corral, J., Perez, J. A., & Roibas, D. (2011). The impact of land fragmentation on milk production. *Journal of Dairy Science*, 94(1), 517-525.
- Doridot, F. (2008). Towards an 'Engineered Epistemology'? *Interdisciplinary Science Reviews*, 33(3), 254-262.
- El-Osta, H. S., & Morehart, M. J. (2000). Technology Adoption and Its Impact on Production Performance of Dairy Operations. *Review of Agricultural Economics*, 22(2), 477-498.
- Floridi, L. (2011). A Defence of Constructionism: Philosophy as Conceptual Engineering. *Metaphilosophy*, 42(3), 282-304.
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, MA: Productivity Press.
- Goldman, S. L. (1990). Philosophy, Engineering, and Western Culture. In P. T. Durbin (Ed.), *Broad and Narrow Interpretations of Philosophy of Technology* (pp. 125-152). Amsterdam: Kluwer.
- Goldman, S. L. (2004). Why we need a philosophy of engineering: a work in progress. *Interdisciplinary Science Reviews*, 29(2), 163-176.
- Hansson, S. O. (2007). What is Technological Science? *Studies in History and Philosophy of Science*, 38, 523-527.
- Harms, A. A., Baetz, B. W., & Volti, R. R. (2004). Ancient Engineering *Engineering in Time. The Systematics of Engineering History and its Contemporary Context* (pp. 27-45). London: Imperial College Press.
- Hume, D. (1740). *A Treatise of Human Nature (2000 edition)*. Oxford: Oxford University Press.
- Koen, B. V. (2010). Quo Vadis, Humans? Engineering the Survival of the Human Species. In I. Van de Poel & D. E. Goldberg (Eds.), *Philosophy and engineering. An emerging agenda* (pp. 313-341). Dordrecht: Springer.
- Layton, E. T. (1974). Technology as Knowledge. *Technology and Culture*, 15(1), 31-41.
- Mariam, Y., & Coffin, G. (1993). Production Efficiency and Agricultural Technologies in the Ethiopian Agriculture. *MPRA Paper 404, University Library of Munich, Germany*.
- McCarthy, N. (2010). A World of Things Not Facts. In I. Van de Poel & D. E. Goldberg (Eds.), *Philosophy and engineering. An emerging agenda* (pp. 265-273). Dordrecht: Springer.
- Mkhabela, T. (2004). Estimates of the increase in milk production due to the introduction of maize silage to a dairy farm in KwaZulu-Natal: A time series approach. *Agrekon*, 43(4), 484-491.
- Olaya, C. (2004). System Dynamics Explanations As Mechanisms And Some Implications For Theory Building *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. Keble College, University of Oxford, U.K.
- Olaya, C. (2005). The Significance of Addressing System Dynamics Explanations *Proceedings of the 23rd International Conference of The System Dynamics Society*. Massachusetts Institute of Technology - System Dynamics Group, Boston, MA, USA.
- Olaya, C. (2012a). The Importance of Being Atheoretical: Management as Engineering. In S. Grösser & R. Zeier (Eds.), *Systemic Management for Intelligent Organizations: Concepts, Model-Based Approaches and Applications* (pp. 21-46). Heidelberg: Springer.
- Olaya, C. (2012b). Models that Include Cows: The Significance of Operational Thinking *Proceedings of the 30th International Conference of the System Dynamics Society*. St. Gallen, Switzerland.
- Petroski, H. (2010). *The Essential Engineer. Why Science Alone will not Solve our Global Problems*. New York: Vintage Books (Ed. 2011).
- Pirtle, Z. (2010). How the Models of Engineering Tell the Truth. In I. Van de Poel & D. E. Goldberg (Eds.), *Philosophy and engineering. An emerging agenda* (pp. 95-108). Dordrecht: Springer.
- Pitt, J. C. (2010). Philosophy, Engineering, and the Sciences. In I. Van de Poel & D. E. Goldberg (Eds.), *Philosophy and engineering. An emerging agenda* (pp. 75-82). Dordrecht: Springer.
- Pitt, J. C. (2011). *Doing Philosophy of Technology*. Dordrecht: Springer.
- Popper, K. (1963). *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*. London, UK: Routledge and Kegan Paul.
- Richmond, B. (1993). Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), 113-133.
- Ryle, G. (1945). Knowing How and Knowing That. *Proceedings of the Aristotelian Society, New Series*, 46, 1-16.
- Simon, H. A. (1996). *The Sciences of the Artificial* (3rd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston, MA: McGraw-Hill.
- Topp, C. F. E., & Doyle, C. J. (1996). Simulating the impact of global warming on milk and forage production in Scotland: 2. The effects on milk yields and grazing management of dairy herds. *Agricultural Systems*, 52(2-3), 243-270.
- Van de Poel, I. (2010). Philosophy and Engineering: Setting the Stage In I. Van de Poel & D. E. Goldberg (Eds.), *Philosophy and engineering. An emerging agenda* (pp. 1-11). Dordrecht: Springer.