

EL PROBLEMA DE INDAGACIÓN EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y PROFESIÓN: IDEAS PARA REFLEXIONAR SOBRE POLÍTICA CIENTÍFICA*

Luis Marone

Grupo de Investigación en Ecología de Comunidades de Desierto (*Ecodes*), IADIZA-CONICET, y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNCuyo. Mendoza, Argentina
lmarone@mendoza-conicet.gob.ar

* Versión en español, con modificaciones, del artículo originalmente publicado como

Marone, L. 2019. On the Kinds of Problems Tackled by Science, Technology, and Professions. Building Foundations of Science Policy. *Métascience* 1, Canada. Édition en ligne [preprint]. <https://sopromet.org/on-the-kind-of-problems-tackled-by-science-technology-and-profession-building-foundations-of-science-policy/>

Introducción

Quienes diseñan o ponen en práctica políticas de ciencia y tecnología enfrentan un primer dilema, que es discriminar correctamente la investigación científica propiamente dicha de sus actividades relacionadas (Bunge, 1997). Aunque las diferencias parezcan evidentes, la incapacidad de distinguir la investigación científica de la tecnológica o de la solución de problemas prácticos mediante la aplicación de reglas conocidas puede obstaculizar el desarrollo integral de la sociedad basado en el conocimiento científico (Bunge, 1997; Sábato, 2004; Marone y González del Solar, 2005; 2006; 2007).

Suele darse una primera confusión entre ciencia básica (i.e., la búsqueda desinteresada de nuevo conocimiento científico) y ciencia aplicada (i.e., la búsqueda de conocimiento nuevo con posible interés práctico) (Bunge, 1999). Este error tiene implicancias. Una es sobre el derecho de los científicos de elegir libremente sus problemas de investigación, que está más restringido en la ciencia aplicada (Bunge 2017b). Otra es que mientras todos los resultados de la investigación básica (i.e., tanto la confirmación como la refutación provisional de hipótesis) son aceptables y útiles, los resultados de la investigación aplicada que no corroboren ideas potencialmente aplicables suelen considerarse *menos útiles* porque no proveen *perillas tecnológicas* para ser investigadas en profundidad y desarrolladas por tecnólogos (Marone, 1994). En consecuencia, la búsqueda de conocimiento aplicado impone dilemas éticos que no siempre se atienden: la presión por obtener y publicar resultados potencialmente útiles (i.e., aquellos que muestran que un cierto tratamiento *tiene un efecto*) predispone a los investigadores en contra de sus hipótesis (estadísticas) nulas (Marone, 1994). Esa presión afecta a la necesaria objetividad durante la ponderación de la evidencia y, además,

restringe los tiempos destinados a corroborar la replicabilidad o robustez de los resultados científicos antes de ser enviados a publicar (Baker y Penny, 2016).

Otra confusión es entre ciencia y tecnología (i.e., el brazo del conocimiento implicado en el diseño de artefactos y planes de acción novedosos). Aunque la moderna tecnología se basa extensamente en la ciencia (e.g., puede mejorarse con la ayuda del conocimiento científico), no debe confundirse con la ciencia aplicada porque esta última se limita a buscar nuevo conocimiento de interés práctico (Bunge, 1999). Consecuencias del error son la subestimación de la fase de *diseño* en el genuino desarrollo tecnológico, y de sus constreñimientos financieros. Diseño y evaluación económico-financiera son típicos de la tecnología, pero no de la ciencia aplicada. Al analizar algunas políticas científicas *economicistas* y con visión túnel, Mario Bunge indica:

Cuando la ciencia se privatiza, el proyecto científico se transforma -en el mejor de los casos- en una aventura tecnológica, a la que no le preocupan principios éticos ni el bien común. Por caso, algunas compañías farmacéuticas patentaron muchos de nuestros genes, por lo que no somos enteramente dueños de nosotros mismos. *Y actualmente algunas universidades están tratando de convencer a sus científicos de que se dediquen a las patentes y no a los artículos científicos o papers.* Por fortuna, otras instituciones trabajan contra esa tendencia y promueven políticas de libre acceso al conocimiento. Por caso, el ejemplar Montreal Neurological Institute and Hospital rechaza patentar los descubrimientos de sus investigadores (2017a:42; traducción e itálicas mías).

Una cultura científica debe enfatizar la empresa intelectual y el hallazgo de ideas innovadoras comunicadas en artículos originales, mientras que una cultura tecnológica debe promover el pensamiento práctico y el diseño de artefactos (objetos o planes) innovadores. A pesar de sus objetivos diferentes, los científicos a menudo aspiran a contribuir información de utilidad para tecnólogos, y los tecnólogos leen (y a veces escriben) artículos con el objeto de encontrar (o discutir) piezas de conocimiento que puedan constituir *perillas tecnológicas* que inspiren la construcción de artefactos eficientes. [Por cierto, esos artefactos son ocasionalmente empleados por científicos para idear y llevar a cabo experimentos] El énfasis en artículos y patentes debe estar, por lo tanto, balanceado (Sábato, 2004).

Por último, una confusión que rara vez llama la atención de los filósofos y sociólogos de la ciencia es la que suele darse entre ciencia-tecnología y el emprendimiento que usa conocimiento y artefactos, a menudo desarrollados por investigadores e ingenieros, para resolver problemas prácticos locales (Marone y González, del Solar 2005; 2006). O sea, “la capacidad *profesional* de resolver problemas al modo de los prestadores de servicios o técnicos” (Bunge, 1999). Este error tiene consecuencias perjudiciales tanto para la ciencia como para la sociedad, las cuales deberían atenderse con cuidado. Lo cometen con frecuencia funcionarios que demandan de científicos y tecnólogos la producción industrial de objetos (e.g., vacunas o cloruro de litio para fabricar metal de litio) o servicios técnicos (e.g., la secuenciación de ADN para

un caso de medicina forense o un monitoreo local de contaminación marina), en lugar de instarlos a resolver auténticos problemas científicos o tecnológicos (i.e., problemas aún no resueltos conceptualmente).

En lo que sigue revisaré las principales características de la ciencia, tecnología y profesión, con énfasis en los problemas de indagación que enfrentan. Al hacerlo emplearé y ampliaré algunos conceptos propios de la filosofía de la ciencia de Mario Bunge. A pesar de la importancia que puede tener la distinción entre ciencia básica y aplicada, las consideraré juntas (*ciencia*) a los fines de este ensayo.

Problemas en ciencia, tecnología y profesión

Se sabe que involucrarse en cualquier forma de indagación implica resolver problemas de conocimiento. Un artículo científico bien escrito comienza planteando el problema de investigación y termina citando un conjunto de problemas abiertos a investigar (Bunge, 2006). Tanto los problemas epistémicos como los prácticos son huecos en el conocimiento que pueden resolverse y que, para ser auténticos, deben surgir por contraste contra lo que se conoce, y no en el vacío (Bunge, 2019).

Marone y González del Solar (2005; 2006) propusieron que las similitudes y diferencias entre ciencia, tecnología y profesión se revelan adecuadamente si se analiza la clase de problemas (y sus soluciones) que atacan cada una de ellas (Tabla 1). Si bien forman un sistema con contexto (e.g., la sociedad en que se desarrollan junto con sus supuestos culturales), composición (e.g., cada una de las actividades) y estructura (e.g., el flujo de información entre componentes) (Bunge, 1979), ciencia, tecnología y profesión enfrentan problemas muy distintos. Ciencia y tecnología aplican el método científico para zanzar problemas pero, mientras que los problemas científicos son puramente cognitivos, los tecnológicos implican desafíos tanto conceptuales como prácticos (Tabla 1). Lo que tienen en común los problemas científicos y tecnológicos es que ambos no pueden estar suficientemente bien resueltos, porque si lo estuviesen habrían dejado de ser problemas científicos o tecnológicos. Los productos (i.e., soluciones a problemas) de la ciencia y tecnología deben ser originales en un grado detectable y, por ello, ellas deben ofrecer la evidencia que muestre que su hipótesis novedosa es correcta, o que su artefacto funciona (Tabla 1). Ciencia y tecnología deben proveer a la sociedad con la *carga de la prueba*. La profesión, en cambio, resuelve problemas sin inventar nuevas ideas sino usando ideas previamente confirmadas, asumiendo que son correctas (Tabla 1).

Tabla 1: Características de los problemas, las soluciones y las pruebas empleadas en tres tipos de actividades humanas: ciencia, tecnología y profesión (servicios).

Propiedades	Ciencia	Tecnología	Profesión
Motor	Curiosidad	Curiosidad y necesidad práctica	Necesidad práctica
Objetivo	Conocer	Conocer y diseñar	Aplicar soluciones conocidas a resolver problemas <i>locales</i>
Trata problemas	Cognitivos y no resueltos	Cognitivos y prácticos. No resueltos	Prácticos y “resueltos”
Trata con problemas * Soluciones	Inversos – Directos Originales	Inversos – Directos Originales	Directos – Inversos “Probadas”
Carga de la prueba	Debe aportarla	Debe aportarla	Ya fue aportada por ciencia y tecnología

* En negritas, el problema que más típicamente caracteriza a la actividad

Lamentablemente algunas personas confunden los productos originales de la ciencia y tecnología con la producción industrial, sea ella artefactos en serie como teléfonos, o servicios técnicos como una terapia estándar (Marone and González del Solar, 2005; 2006). Actualmente se usa una cantidad ingente de conocimiento científico y tecnológico para producir objetos en serie o hacer servicios, pero eso no implica investigación. Los profesionales no inventan ni ponen a prueba las hipótesis científicas o tecnológicas en que se basan sus *reglas de acción* pero, por supuesto, aplican esas reglas con prudencia, considerando las contingencias de la aplicación y monitoreando los resultados parciales (e.g., piénsese en un médico aplicando una terapia en forma cuidadosa, o el así llamado *manejo adaptativo* en biología de la conservación). Por último, los profesionales detectan a menudo problemas al monitorear sus actividades, algunos de los cuales pueden no estar resueltos y disparar procesos de investigación científica y tecnológica (e.g., cuando un médico encuentra un síndrome que no ha sido descrito, o cuando un técnico detecta una falla consistente al usar cierto artefacto). Esto remarca la naturaleza sistémica de la ciencia, tecnología y profesión.

Dado el papel central que juegan los problemas de indagación en la distinción de la ciencia, tecnología y profesión, profundizaré la reflexión sobre la taxonomía de los problemas para ofrecer una caracterización más completa de esas actividades.

Problemas inversos y directos

El análisis de los problemas de indagación es pobre en la literatura filosófica (Bunge, 2006; 2019). Más aún, los problemas científicos y tecnológicos más desafiantes son inversos (“hacia atrás”), cuya existencia es ignorada frecuentemente por funcionarios, legisladores, científicos y filósofos en general (Bunge, 2006; 2019). Para Mario Bunge:

Un problema directo es el que se investiga *hacia abajo* en la secuencia lógica o en la cadena de eventos; esto es, desde las premisas a las conclusiones, o desde las causas a los efectos... Un problema inverso, en contraste, es el que se investiga *hacia arriba* en la secuencia lógica o en la cadena de eventos; esto es, desde las conclusiones a las premisas, o desde los efectos a las causas (2006:150, traducción mía).

Los problemas directos reclaman análisis o razonamiento progresivo, mientras que los problemas inversos requieren síntesis o razonamiento regresivo. Resolver problemas directos es básicamente una forma de *descubrimiento* (i.e., de revelar las consecuencias de un proceso conocido), pero la solución a muchos problemas inversos requiere apuestas creativas, de invención *radical*, de ideas en ciencia y de artefactos en tecnología (Bunge, 2006).

Algunos ejemplos de problemas inversos, no completamente independientes entre sí, son (a) adivinar la existencia de un objeto inobservable a partir del comportamiento de cosas observables, (b) conjeturar el mecanismo involucrado en los cambios que sufre un objeto observable, y (c) vaticinar la causa de un fenómeno dados ciertos efectos. Todo intento de ir de datos a hipótesis, como el “problema de la inducción” (Bunge, 2006), “la abducción” (Peirce, 1934), “la inferencia a la mejor explicación” (Harman, 1965), o “las creaciones libres de la mente humana” (Einstein, 1950), son problemas inversos. Conjeturar la selección natural a partir de la variabilidad fenotípica y la escasez de ciertos recursos, construir modelos empíricos o fisiológicos para estudiar la emergencia de semillas, inferir la distribución geográfica de una población o metapoblación de aves a partir de registros puntuales aislados o proponer una *nueva* enfermedad a partir de sus síntomas son ejemplos de problemas científicos inversos. La invención *radical* de nuevos dispositivos o el hallazgo de nuevos usos para un dispositivo conocido son, a su vez, ejemplos de problemas tecnológicos inversos (Bunge, 2006).

En cambio, predecir cambios fenotípicos a partir de la selección natural (Marone *et al.*, 2002), la emergencia de semillas dado un determinado modelo fisiológico (Rotundo *et al.*, 2015), la presencia de organismos en cierta localidad a partir de la distribución teórica de la población (Cueto *et al.*, 2011), la manifestación de algunos síntomas dada una enfermedad conocida, o el desempeño de un artefacto (sea este un robot o una terapia) conociendo cómo trabaja (i.e., la teoría en la cual se basa su funcionamiento), son ejemplos de problemas directos. [Note que estos problemas directos permiten poner a prueba las hipótesis conjeturadas para resolver los correspondientes problemas inversos descritos en el párrafo anterior.]

Los problemas inversos pueden tener soluciones múltiples o ninguna (Bunge, 2006). La invención de una hipótesis teórica es un buen ejemplo de ese tipo de problema porque, por definición, *va más allá* (i.e., trasciende) los datos relevantes a ella de al menos dos maneras: (a) porque involucra un *salto* desde algunos existentes (muestra) a todos los posibles (universo), o porque incluye conceptos que, como los de comportamiento, competencia, soberanía nacional o masa, no *ocurren* entre los datos u *observaciones* porque no se puede tener de ellos experiencia directa (Bunge, 2006). No puede haber

inferencia vertical desde los datos a leyes de alto nivel porque las últimas contienen conceptos que están ausentes en los primeros. Debido a que la experiencia directa no puede generar ningún concepto o hipótesis de alto nivel, estos últimos deben ser inventados. Y ese proceso de invención está lejos de poder ser guiado por reglas, de estar sujeto a algoritmos que pueden alimentar un ordenador. En resumen, como los datos no exudan hipótesis, estas deben ser inventadas (un problema no resuelto e inverso) y, por supuesto, una o más de una pueden conjeturarse para dar cuenta del mismo patrón, fenómeno o problema (Bunge, 2006).

Ciencia y tecnología: su ineludible papel en la invención de ideas originales

Los problemas científicos y tecnológicos más interesantes y difíciles son inversos: dado un problema no resuelto, inventar la solución. El esquema Problema → Solución describe un problema inverso. Sin embargo, ciencia y tecnología también resuelven problemas directos, particularmente cuando ponen a prueba las hipótesis inventadas para resolver problemas inversos con experimentos u observaciones. En esos casos, los investigadores *transforman* (*sensu* Mario Bunge) el problema inverso en uno directo

La biología evolutiva, como la cosmología, geología y arqueología, son ciencias históricas. Por ello, sus cultores enfrentan numerosos problemas inversos del tipo Presente → Pasado. En particular, la reconstrucción de linajes (filogenia) es una tarea incierta debido al importante hueco en el registro fósil. No obstante, las novedades cualitativas de la evolución ocurren durante el desarrollo del individuo, por lo que pueden ser monitoreadas y alteradas en el laboratorio. Algunas novedades pueden ser provocadas deliberadamente en organismos actuales. Por ello, muchos problemas inversos de la biología evolutiva pueden transformarse, al menos en principio, en problemas directos. Así es como la biología evolutiva devino ciencia experimental entre las dos guerras mundiales: manipulando el genoma, inicialmente con rayos X, y ahora químicamente también ... Pero los problemas biológicos inversos no ocurren solo en biología evolutiva. Todo intento de encontrar el órgano desconocido que lleva a cabo una cierta función requiere investigar un problema inverso. Por caso, la tarea del neurocientífico cuando intenta “mapear la mente en el cerebro”. Aquí también muchos problemas inversos pueden transformarse en directos. Por ejemplo, mediante la manipulación del cerebro, el neurosicológico puede causar desórdenes o déficits mentales en sujetos experimentales ... El problema de identificar el o los genes “responsables” de un carácter fenotípico es también de tipo inverso. Si un mamífero adulto no tolera los productos lácteos es porque no puede sintetizar lactasa, la enzima involucrada en la digestión de la leche. A su vez, la deficiencia de la lactasa es debida a la ausencia del gen involucrado en su síntesis. El investigador enfrenta el problema inverso Desorden Metabólico → Deficiencia Enzimática → Desorden genético. Una vez que se manipulan los genes sospechosos, se puede enfrentar el problema de descubrir la enzima que corresponde y, al solucionar este problema directo, se resuelve también el problema inverso (2006:169-170, traducción mía).

Así es la interacción de los problemas directos e inversos en ciencia, y en tecnología es similar. Pero en ciencia y tecnología la solución de problemas inversos es más intrigante y demanda más ingenio y experiencia que la solución de los correspondientes problemas directos. A diferencia de los problemas directos, no existen reglas ni algoritmos para resolver los problemas inversos más fascinantes. Sin embargo, una vez que la solución tentativa está a mano, los investigadores *transforman* (*sensu* Bunge, 2006) los problemas inversos en uno o más problemas directos para poner a prueba el grado de verdad o eficiencia de aquella solución. Un asunto que no suelen considerar los funcionarios políticos, ni los medios de prensa ni la gente en general es que resolver problemas novedosos inversos es una tarea riesgosa e incierta. Para resolverlos, los científicos postulan hipótesis plausibles pero originales. Estas pueden ser correctas o (la mayoría de las veces) no serlo. La sociedad y sus funcionarios deberían estar preparados para estimular la aventura científica (responsable), sin castigar a los investigadores (responsables) que no logran encontrar la solución a problemas inversos no resueltos.

¿Y qué se puede decir de los problemas profesionales? La actividad profesional comienza a menudo por la diagnosis del origen o la causa de una situación problemática (e.g., enfermedad a partir de síntomas, rotura de un artefacto desde su mal funcionamiento, deficiencia de nitrógeno a partir del deterioro del cultivo, escasez de un recurso desde la reducción poblacional de su consumidor). Se emplea el esquema Efectos → Causa, el cual describe un problema inverso. Pero los problemas inversos que enfrenta el profesional tienen algunas particularidades. Primero, solo caracterizan la fase inicial de la profesión (i.e., el diagnóstico) pero no la típica e importante fase de la resolución del problema (i.e., acción técnica). Segundo, la diagnosis profesional no suele enfrentar problemas no resueltos, sino que se lleva a cabo a través de un camino crítico conocido que recorre la cadena de sucesos hacia arriba por una vía que fue previamente investigada y descrita como un protocolo o, incluso, un algoritmo.

Una vez hecha la diagnosis, el problema profesional típico es directo: el técnico asume el origen o la causa diagnosticada y, luego, arbitra los medios (usa reglas) para controlar los efectos a través de problemas directos de la forma Causa → Efectos. Las reglas se usan para fabricar vacunas o chips, administrar una terapia o un plan de manejo de organizaciones complejas. Marcas registradas de la profesión son el conocimiento actualizado, el pensamiento crítico y la responsabilidad, pero no la originalidad. Una persona con una enfermedad tratable demanda un médico inteligente y confiable, pero no un profesional creativo (mucho menos temerario). Los profesionales a menudo resuelven los problemas directos de manera rutinaria, por ejemplo, al calcular estructuras edilicias, llevar a cabo análisis bioquímicos, producir chocolate de alta calidad, monitorear la materia orgánica en arroyos o la temperatura corporal de un enfermo, o determinar la trazabilidad de productos importados.

Por último, casi todo el presupuesto de las naciones desarrolladas o en desarrollo (95-99%) suele destinarse a política profesional (e.g., salud pública, educación, justicia, infraestructura, logística, provisión de servicios o productos), mientras que solo una pequeña fracción se destina a promover la ciencia y la tecnología (aquí los números son

variables entre los países, pero usualmente no superan el 1%). Bunge (2017a,b) alertó sobre un mayor énfasis de ciertas universidades en las patentes por sobre los artículos científicos, pero su alerta podría ser extendida: algunos políticos y funcionarios están empujando a los investigadores desde la elaboración de artículos y patentes a la producción en serie de artefactos y servicios. Al hacerlo, el 1% del presupuesto subsidia al restante 99%. Los políticos parecen no apreciar que la ciencia y tecnología están dirigidas en buena medida a resolver problemas inversos no resueltos. Cuando las actividades rutinarias reemplazan a las apuestas originales y riesgosas, se desalienta el valor de la imaginación, obstaculizando el desarrollo integral, económico y social, basado en la creatividad que agrega valor a los productos y servicios (Bunge, 1997; Sabato, 2004; Marone and González del Solar, 2005; 2006; 2007).

En la próxima sección analizaré, a modo de ejemplo, la interacción entre problemas directos e inversos en un área específica del conocimiento, de desarrollo reciente: la medicina traslacional.

Caso de estudio: medicina traslacional

La disciplina fue creada con el encomiable objetivo de facilitar la transformación de los resultados de la investigación básica en aplicaciones clínicas, estableciendo puentes entre las así llamadas medicina básica y clínica que puedan ayudar a atravesar “el valle de la muerte” (Butler, 2008), un área del conocimiento que, a pesar de los años transcurridos, no habría producido los resultados esperados en términos de tratamientos, diagnósticos ni protocolos de prevención novedosos (Becú-Villalobos, 2014).

La medicina traslacional tiene dos enfoques o fases. El objetivo de T1 es guiar el conocimiento básico hacia el desarrollo de tratamientos, marcadores diagnósticos o drogas. En otras palabras, inventar tratamientos promisorios para ser producidos en masa en la industria farmacéutica, y empleados en la clínica médica. El objetivo de T2, en cambio, es asegurar que los nuevos tratamientos desarrollados en T1 se apliquen correctamente a las poblaciones de enfermos. La producción de una nueva droga podría ser, entonces, el punto final de T1 y el punto de partida de T2, porque T2 busca mejorar la organización del sistema de salud para ampliar el acceso al mismo por parte de la población (Butler, 2008; Becú-Villalobos, 2014).

Para Butler (2008) la investigación en medicina básica y clínica mantenían relaciones fuertes durante la primera mitad del siglo XX, pero la situación cambió radicalmente con la irrupción de la biología molecular en la década del 70. La medicina traslacional es un intento de articular nuevamente ambas disciplinas. Pero el buen desarrollo de la medicina traslacional enfrenta varios dilemas. Uno de ellos es evitar la confusión entre la *invención de tratamientos* y el *llevarlos a la práctica* (Becú-Villalobos, 2014). Otro dilema es que T1 parece monopolizar la mayoría de los subsidios de investigación en ciencias biomédicas (Becú-Villalobos, 2014).

El uso del modelo descrito en la Tabla 1 para distinguir la investigación básica de la clínica permite ver que la clínica incorpora algunas características de la actividad

profesional (e.g., la proximidad a los pacientes). No obstante, ambas actividades se vinculan principalmente con la investigación científica, pero difieren en cómo enfrentan esa tarea. Aunque tratan con problemas inversos similares (e.g., inferir hipótesis sobre enfermedades desconocidas), mientras la investigación clínica busca encontrar hipótesis sobre patrones de enfermedad en poblaciones humanas reales empleando enfoques observacionales y correlacionales (i.e., investigación instrumentalista), la así llamada investigación básica [la cual, a propósito, debería ser llamada mejor *investigación de laboratorio*] se dirige más usualmente a proponer y poner a prueba hipótesis sobre los mecanismos que causan enfermedades mediante experimentos en el laboratorio (i.e., investigación realista) (Bunge, 2013). Aunque esas diferencias epistémicas son claras, no abunda su tratamiento entre los investigadores interesados, quienes tampoco suelen ahondar en las aristas más profesionales e investigativas del médico clínico.

La medicina traslacional incluye de manera más clara (aunque usualmente implícita) las fases científicas, tecnológicas y profesionales. De sus definiciones y de acuerdo con la Tabla 1, T1 haría ciencia y tecnología, pero no profesión, por ejemplo cuando investiga biomarcadores, terapia génica o farmacogenómica. T1 finaliza cuando se desarrolla el prototipo de un nuevo dispositivo, se pone a prueba y se corrobora su eficacia. Por su parte, T2 es fundamentalmente profesional porque apunta a organizar y coordinar los diversos desafíos del servicio de salud para que los desarrollos lleguen al paciente. No obstante, T2 también puede verse involucrada en investigación al enfrentar problemas que no tienen una solución eficaz, pero la investigación no será biomédica propiamente dicha porque T2 enfrenta problemas típicos de las ciencias del comportamiento y sociales (e.g., qué acciones incentivan la adherencia a la vacunación, el diálogo entre médicos profesionales e investigadores, o el compromiso de los pacientes con las terapias; cuáles herramientas contables aseguran la disponibilidad de insumos hospitalarios a pesar de un financiamiento errático; qué tipo de gerenciamiento optimiza el flujo de información entre el personal administrativo y los médicos de una clínica). La clase de problema que investiga, el ambiente en el que se lleva a cabo la indagación (e.g., un hospital) y los artefactos o dispositivos usados para obtener la información son muy diferentes en T1 y T2. Por cierto, esas diferencias pueden explicar y justificar, al menos parcialmente, las diferencias en el tamaño de los subsidios entre T1 y T2.

Un asunto importante para terminar. Cuando T2 reclama con justicia financiamiento público para ampliar una guardia hospitalaria, mejorar el cociente paciente / médico, comprar drogas o insumos, o financiar el entrenamiento del personal del hospital, los fondos no deben provenir del sistema científico y tecnológico sino de las agencias profesionales (e.g., el ministerio de salud) correspondiente. De otra manera, los fondos usualmente escasos destinados a promover la innovación y la solución de problemas no resueltos serían empleados para resolver problemas profesionales.

Conclusiones

Ciencia, tecnología y profesión conforman un sistema con múltiples interacciones, son actividades humanas significativas y ninguna de ellas debería ser considerada más

importante que las demás. Más aún, el desarrollo de cada actividad impulsa el progreso de las otras, lo que genera círculos virtuosos para resolver distintos tipos de problemas. En algunos casos, una misma persona puede llevar a cabo más de una de esas tareas simultáneamente. Pero las similitudes, e incluso los sinergismos, no implican que ciencia, tecnología y profesión deban confundirse. La confusión de actividades creativas con rutinarias puede ser especialmente perjudicial para el desarrollo de todas ellas.

Los problemas que disparan la investigación científica y tecnológica no están resueltos o están insuficientemente resueltos, por lo que sus posibles soluciones deben ser inventadas por los investigadores (i.e., son soluciones total o parcialmente originales) y, en consecuencia, deben también ser contrastadas con la realidad antes de postularse como provisionalmente verdaderas o útiles. En contraste, los problemas que disparan la indagación profesional están resueltos o, al menos, existen soluciones parciales para ellos. Esas soluciones se describen en protocolos técnicos estandarizados y, aunque son aplicadas con precaución, el profesional no las pone a prueba (i.e., él o ella suponen que funciona hasta cierto punto porque previamente fue evaluada por investigadores). Mientras que las tres actividades se benefician de una educación informada y crítica, la ciencia y la tecnología, para florecer, necesitan también una educación que apueste a la creatividad, la imaginación y el riesgo.

El análisis de Bunge (2006) sobre problemas directos e inversos sirve para delinear mejor los perfiles científico, tecnológico y profesional. Un problema directo es aquél cuya investigación desciende en la cadena de eventos (e.g., de causas a sus efectos) y uno inverso se investiga ascendiendo en esa cadena (e.g., de efectos a sus causas). Los problemas científicos y tecnológicos más estimulantes suelen ser inversos (e.g., la invención de una solución plausible a una pregunta que aún no tiene una respuesta satisfactoria), aunque ambas actividades también resuelven importantes problemas directos, como en la puesta a prueba de hipótesis y prototipos. Los problemas profesionales típicos son directos (e.g., la aplicación de un protocolo para resolver un problema local o *acción técnica*), pero el profesional también debe resolver problemas inversos durante la fase diagnóstica de su actividad (e.g., cuando un técnico electricista va desde un corte de luz hasta un cortocircuito). Esa fase diagnóstica de la actividad profesional tiene, no obstante, una característica que la distingue de los problemas científicos inversos: el camino crítico para resolver un problema profesional ya está establecido y descrito en un protocolo técnico. El modelo basado en problemas resueltos / directos *versus* no resueltos / inversos (Tabla 1) sirve para evaluar los aspectos científicos, tecnológicos y profesionales de las actividades humanas complejas y mixtas, como la medicina traslacional, porque distingue sus fases creativas de las que emplean conocimiento humano ya inventado.

Quizás los filósofos y sociólogos de la ciencia deberían enfatizar en mayor medida el papel de la originalidad en la ciencia, tecnología y desarrollo integral de las naciones (Einstein 1950, Bunge 1997, Sabato 2004, Marone and González del Solar 2007). Los ciudadanos de los países no desarrollados raramente se benefician de una economía y progreso basados en la innovación constante, probablemente porque los funcionarios, por

ejemplo de sus sistemas educativos, se resisten a aceptar que la creatividad e imaginación no son motores solo de las artes sino también de las ciencias.

Agradecimientos

A lo largo de los años me vi beneficiado por el intercambio de ideas sobre los temas de este ensayo con colegas y amigos como M. Bunge, R. González del Solar, M. Kary, A. Castro-Vázquez, J. Lopez de Casenave, V.R. Cueto, F. Milesi, S. Camín, R. Pol, M. Aguiar, J.L. Yela, M. Spínola, E. Marone, J. Polop, y con numerosos colegas con los que compartí comisiones de trabajo, cursos o seminarios en varios países. Claro está, ellos no siempre han coincidido conmigo y eso mantiene la conversación viva y dinámica. Agradezco los comentarios específicos de A. Mazzolari, N. Unsain y F. Maurice sobre una versión anterior del manuscrito. El ejercicio de la investigación en ecología y ciencias ambientales despertó, oportunamente, mi interés y entusiasmo por los aspectos más generales de la ciencia y la tecnología. Agradezco a Mario su aliento, generosidad inagotable y amistad a lo largo del camino. Contribución número 108 del Grupo de Investigación en Ecología de Comunidades de Desierto (Ecodes).

Bibliografía

- Baker, M. y Penny, D.: “Is there a reproducibility crisis?”, en *Nature*, N° 533, 2016, pp. 452-454.
- Becú-Villalobos, D.: “Medicina traslacional, ¿moda o necesidad?”, en *Medicina*, N° 74, 2014, pp. 170-172.
- Bunge, M.: *A world of systems. Treatise on basic philosophy. Volume 4, Ontology II*, Boston, D. Reidel Publishing Company, 1999.
- Ciencia, técnica y desarrollo*, Buenos Aires, Editorial Sudamericana, 1997.
- Dictionary of Philosophy*, New York, Prometheus Books, 1999.
- Chasing reality: Strife over realism*, Toronto, University of Toronto Press, 2006.
- Medical philosophy. Conceptual issues in medicine*, Singapore, World Scientific, 2013.
- Doing science: In the light of philosophy*. Singapore, World Scientific, 2017a.
- “Evaluating scientific research projects: The units of science in the making”, en *Foundations of Science*, N° 22, 2017b, pp. 455-469.
- “Inverse problems”, en *Foundations of Science* (submitted), 2019.
- Butler, D.: “Translational research: crossing the valley of death”, en *Nature*, N° 453, 2008, pp. 840-842.
- Cueto, V.R., Milesi, F.A., Sagario, M.C., Lopez de Casenave, J. y Marone, L.: “Distribución geográfica y patrones de movimiento de la monterita canela (*Poospiza ornata*) y el yal carbonero (*Phrygilus carbonarius*) en Argentina”, en *Ornitología Neotropical*, N° 22, 2011, pp. 483-494.
- Einstein, A.: *Out of my later years*. New York, Philosophical Library, 1950.
- Harman, G.: “The inference to the best explanation”, en *Philosophical Review*, N° 74, 1965, pp. 88-95.
- Marone, L.: “Aportes de la ciencia básica a la cultura y la sociedad”, en *Interciencia*, N° 19, 1994, pp. 264-266.

- Marone, L. y González del Solar, R.: “Imaginación e innovación: aportes de la ciencia y la tecnología a la cultura y la sociedad”, en *Boletín de la Biblioteca del Congreso (Argentina)*, N° 122, 2005, pp. 99-116.
- “El valor cultural de la ciencia y la tecnología”, en *Apuntes de Ciencia y Tecnología (Boletín de la Asociación para el Avance de la Ciencia y la Tecnología en España)*, N° 19, 2006, pp. 35-42.
- “Crítica, creatividad y rigor: vértices de un triángulo culturalmente valioso”, en *Interciencia*, N° 32, 2007, pp. 354-357.
- Marone, L., Milesi, F.A., González del Solar, R., Mezquida, E.T., Lopez de Casenave, J. y Cueto, V.R.: “La teoría de evolución por selección natural como premisa de la investigación ecológica”, en *Interciencia*, N° 27, 2002, pp. 137-142.
- Peirce, Ch.S.: *Collected Papers. Vol. 5*, Cambridge, Charles Hartshorne and Paul Weiss, eds., Harvard University Press, 1934.
- Rotundo, J.L., Aguiar, M.R. y Benech-Arnold, R.: “Understanding erratic seedling emergence in perennial grasses using physiological models and field experimentation”, en *Plant Ecology*, N° 216, 2015, pp. 143-156.
- Sábato, J.A.: *Ensayos en campera*. Bernal, Universidad Nacional de Quilmes Editorial, 2004.