

EL VALOR CULTURAL DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Luis Marone¹ y Rafael González del Solar²

¹Ecodes, Grupo de Investigación en Ecología de Comunidades de Desierto. CONICET, IADIZA.
Casilla de Correos 507, 5500 Mendoza

²Departament de Filosofia, Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona, España.
Corr-eles: lmarone@lanet.com.ar ; gonzalezdelsolar@uolsinectis.com.ar

Resumen del artículo "Imaginación e innovación: aportes de la ciencia y la tecnología a la cultura y la sociedad", publicado en Boletín de la Biblioteca del Congreso (Argentina) 122: 99-116 (2005).

Resumen: La justificación del financiamiento público de la ciencia exclusivamente por sus resultados tecnológicos no hace justicia a la diversidad de sus aportes a la cultura y la sociedad. El método general de la ciencia alienta el desarrollo de actitudes críticas e inconformistas, apuesta por la imaginación y la innovación y respeta las ideas diferentes, aunque también promueve su evaluación rigurosa. La incapacidad de reconocer la apuesta innovadora y original propia de la ciencia y la tecnología conduce a confundirlas con la técnica o profesión. En una cultura afectada por esa confusión los investigadores abandonan su papel de libres indagadores, de auténticos filósofos de la naturaleza, y se transforman en meros relatores de un orden prefijado, guardianes de un conocimiento tradicional que castiga la creatividad y el cambio cualitativo.

Palabras clave: creatividad, espíritu crítico, imaginación, innovación, profesión, rigor

Abstract: Arguments attempting to justify the public funding of science by appeal to its technological results exclusively make no justice to the diversity of contributions science makes to culture and society. The general method of science encourages critical analysis and nonconformist attitudes, promotes imagination and innovation, and respect for heterodox ideas together with their rigorous appraisal. An inability to notice the inherence of innovation and originality in science and technology is one of the causes of their conflation with technique and profession. In a culture affected by such confusion, researchers tend to abandon their role as free enquirers, genuine philosophers of nature, and become mere narrators of a prefixed order, guardians of a traditional knowledge that punishes creativity and qualitative change.

Keywords: creativity, critical attitude, imagination, innovation, profession, rigor

INTRODUCCIÓN

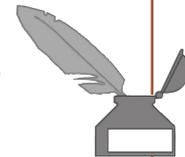
"Es más fácil presentar la sabiduría destilada durante siglos de interrogación paciente que detallar el complicado aparato de destilación. Aunque sea indigesto y espeso, el método es mucho más importante que los descubrimientos de la ciencia"

Carl Sagan, El mundo y sus demonios.

En las sociedades modernas, la decisión de promover y financiar la ciencia suele justificarse en el modelo "ciencia → tecnología → producción → desarrollo", en el cual el conocimiento científico (en particular, las teorías científicas), constituyen el insumo básico para desarrollar cierto tipo de tecnología que, a su vez, aporta innovaciones útiles para modificar la realidad con fines determinados. Según esta pers-

pectiva, la producción en masa de las innovaciones tecnológicas sería el aporte concreto de la ciencia al desarrollo de la sociedad. El modelo en cuestión sugiere que la investigación científica se justifica porque suele conducir al desarrollo de tecnologías generadoras de nuevos bienes y servicios, aunque a veces no pueda preverse su utilidad *a priori*.

Esta afirmación descansa en el supuesto epistemológico de que la investigación científica y el descubrimiento de nuevo conocimiento son necesarios en tanto y en cuanto conducen a la aplicación tecnológica. Aunque hay evidencia que apoya esa afirmación, las hipótesis de que a todo desarrollo científico sigue algún desarrollo tecnológico y de que la única justificación de la ciencia son sus resultados tecno-



lógicos presentan problemas insalvables. En primer lugar, el desarrollo científico parece ser una condición necesaria pero insuficiente del desarrollo tecnológico y económico: Estados Unidos de América publica 300.000 artículos científicos por año y Japón 70.000, pero el número de patentes por cada 10.000 habitantes es 5 y 28, respectivamente. Estos números sugieren que el desarrollo tecnológico depende también de otros factores como, por ejemplo, que los gobiernos lleven a cabo acciones deliberadas para vincular el sistema científico y tecnológico (C&T) con la industria (Sábato 2004). Segundo, el supuesto epistemológico de que la generación de conocimiento básico siempre precede a su aplicación es debatible, porque la invención de algunas técnicas precientíficas ha precedido al descubrimiento de las teorías que, eventualmente, les dieron fundamento (o sea, una explicación). Por ejemplo, para curar su dolor de cabeza los antiguos griegos y romanos masticaban corteza de sauce (*Salix* sp.), de la que mucho después se obtendría el ácido acetilsalicílico (aspirina) que, una vez purificado e incorporado a la farmacopea, siguió usándose por mucho tiempo sin que se supiera *por qué* ejercía su efecto. La explicación científica del mecanismo de acción del ácido acetilsalicílico llegó 2.500 años después, con los estudios de John Vane (1971). Otro reparo a la relación causal fuerte entre generación y aplicación técnica de conocimiento es que existen teorías científicas culturalmente valiosas que quizá nunca generen desarrollos tecnológicos. Aunque parece posible adjudicar una aplicación práctica *ad hoc* a cualquier idea, el fundamento genuino de numerosos programas de investigación, como los que intentan descubrir los orígenes del Universo o de la vida en la Tierra, es su significación cultural (a propósito, ver en cada pieza de conocimiento una herramienta de aplicación suele conducir a algunos científicos a usar justificaciones para solicitar subsidios que sueñan, al menos, descabelladas).

Pero quizá la peor consecuencia de justificar la investigación científica exclusivamente por sus resultados aplicables es que propone una interpretación anémica y poco profunda del significado de la ciencia para la cultura y la sociedad (Marone 1994). Al desatender los posibles aportes de su *método* y *enfoque filosófico*, una combinación de libre imaginación con razonable justificación, de audaz búsqueda de la innovación con prudente apego por el rigor, la defensa y promoción puramente pragmática de la ciencia no le hace justicia porque subestima su principal producto: "un ser humano que sabe y puede" (Cerejido & Reinking 2003). Dicho en otros términos, quizá el principal aporte de la ciencia ha

sido haber provisto a la sociedad de un método de indagación libre que contrasta vivamente con el que mueve los engranajes de la maquinaria autoritaria, el cual, partiendo del dogma, afirma la certeza sin justificación razonable, justifica la acción a través del temor a la autoridad y concluye en la coerción de quienes piensan libremente (Allègre 2000).

APORTES DEL MÉTODO DE LA CIENCIA A LA CULTURA

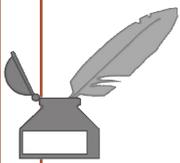
"Haber contribuido a acabar con la idea de una verdad intangible y eterna quizá sea uno de los logros más importantes de la ciencia"

Francois Jacob, El juego de lo posible

Una justificación equilibrada de la actividad científica debe basarse tanto en sus resultados tecnológicos (objetos y reglas de acción) y no tecnológicos (descripciones y explicaciones) como en los aportes de su método a la cultura: una manera particular de pensar la realidad, una perspectiva escéptica, creativa y rigurosa.

Los estudios de E. Rutherford y F. Soddy sobre el fenómeno físico de la radiactividad muestran cómo la ciencia ofrece bienes sociales que van más allá de los insumos para desarrollar tecnología (Weinberg 2003). Aunque el resultado de esas investigaciones tuvo ciertamente aplicaciones prácticas, las implicaciones más importantes fueron culturales. La comprensión del fenómeno de la radiactividad permitió a los físicos explicar por qué el centro de la Tierra y el propio Sol aún permanecen calientes después de miles de millones de años y, con ello, eliminó la última objeción científica a la hipótesis de geólogos y paleontólogos de que vivimos en un Universo antiquísimo. En este ámbito, los estudios sobre la radiactividad puso a fundamentalistas políticos y religiosos ante la disyuntiva de resignarse a la irrelevancia intelectual o abandonar la interpretación literal de la Biblia en favor de explicaciones naturales; no solo aportó fundamentos para el desarrollo de bienes y servicios sino también cimientos desde donde construir civilización. La lucha contra el autoritarismo, nos recuerda Weinberg (2003), es una tarea civilizadora que aún permanece inconclusa.

La defensa pragmática de la ciencia divorcia a la ciencia de su filosofía, transformándola en "ciencia sin seso" (Cerejido 1994). Las consecuencias de subestimar los aportes a la cultura (el conjunto de ideas, valores y pautas de comportamiento que caracterizan a una sociedad; Quintanilla 1991) de los resultados no tecnológicos y del método científico *per se* suelen ser especialmente severas en el área educativa: las sociedades que se empeñan en enseñar el enfoque científico promueven con él el



valor de la crítica y de la argumentación sostenida por razones y datos controlables; las que deciden desalentar su enseñanza abren sus puertas a la credulidad, al dogmatismo y al autoritarismo (González del Solar & Marone 2001). La justificación pragmática es, además, una espada de doble filo: en sociedades agobiadas por escenarios de desempleo, catástrofes nucleares y colapsos ambientales, la ciencia es vista muchas veces con desconfianza porque se la responsabiliza de esas pesadillas. Si bien los argumentos a los que se recurre suelen mezclar afirmaciones falsas (por ejemplo, que la ciencia es *lo mismo* que la tecnología y hasta que ambas son solo otra forma de política) con otras correctas (entre ellas, que hay una estrecha relación entre la tecnología y el poder) el problema no debería subestimarse, particularmente cuando los cantos de sirena postmodernos contra la ciencia buscan desacreditar, precisamente, el valor de sus resultados tecnológicos. Son justamente aquellos que muestran alguna preocupación existencial por esos resultados quienes merecen acceder a una educación que enfatice los aportes de la ciencia a la cultura mediante su método de indagación, pues ese análisis les permitirá ponderar equilibradamente la complejidad de las contribuciones de la ciencia.

Sin quitarle valor a los resultados tecnológicos, abonaremos aquí la tesis de que el enfoque científico aporta resultados culturalmente valiosos *per se*, además de un método crítico que ha revolucionado el concepto de cultura. Ese método, aplicable en la investigación científica, la investigación y el diseño tecnológicos, el ejercicio profesional y, ciertamente, también en la vida diaria, presenta los siguientes elementos esenciales (véase Bunge 2002):

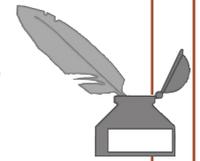
- (1) actitud moderadamente escéptica, que invita a dudar antes de creer en determinadas afirmaciones,
- (2) vocación para buscar argumentos y datos que permitan resolver ese estado de duda,
- (3) imaginación para resolver problemas nuevos, para los cuales no hay respuestas satisfactorias, mediante propuestas generales audaces,
- (4) apego a las maneras rigurosas de razonar,
- (5) sujeción crítica (no ingenua ni dogmática) a los mandatos de la evidencia empírica para justificar las afirmaciones,
- (6) comprensión de la naturaleza falible de las afirmaciones científicas (y de cualquier otro tipo), pero también
- (7) vocación para buscar conocimiento cada vez más profundo y verdadero.

Actitud escéptica pero indagadora

La actitud racional de dudar antes de creer ha sido muy resistida a lo largo de la historia. La supresión de la duda y preservación de la fe, incluso contra toda razón o prueba, han sido promovidas insistentemente por las religiones, por ejemplo, por Bernardo, prior de Clairvaux y demás cultores de la "ignorancia piadosa" (véase Allègre 2000, Cereijido & Reinking 2003, Dawkins 2005). La *ciencia epistemológicamente culta* enseña las ventajas del escepticismo moderado (Bunge 2002): toda persona razonable es escéptica, pero solo parcialmente porque para dudar se debe dar por sentado algo, aunque sea provisionalmente. Tanto las afirmaciones como las dudas deben estar apoyadas por razones, y se empieza dudando no para continuar en ese estado sino para buscar los medios que permitan salir de él. Idealmente, el misterio y la duda no son finales de proceso, sino puntos de partida para conocer más. El escepticismo de la ciencia -cuando esta es epistemológicamente culta- es organizado: el investigador individual propone hipótesis y su comunidad debate, examina y dispone qué hacer con ellas (Merton 1973). Este escepticismo respeta las ideas nuevas siempre que sean plausibles (es decir, compatibles con la mayoría del conocimiento ya desarrollado) y pasibles de puesta a prueba. ¿Cuáles son las consecuencias de la ausencia de crítica y de duda? Principalmente, una cultura dogmática y conservadora (González del Solar & Marone 2001). Sin actitud crítica, las personas no encuentran problemas en la realidad y, sin capacidad de interrogar, no se puede generar nuevo conocimiento para cambiar esa realidad o, al menos, para comprenderla mejor.

Argumentación rigurosa

El enfoque científico invita a usar afirmaciones corroboradas y corroborables en el contexto de razonamientos bien contruidos. Promueve el empleo de criterios racionales (que exigen coherencia lógica entre las afirmaciones) y empíricos (fundados en la verdad como correspondencia entre lo que se afirma sobre la realidad y lo que ocurre en ella) para distinguir las afirmaciones que han pasado por pruebas rigurosas de las que no lo han hecho. Ante el autoritarismo y la alternativa entre civilización y barbarie (o sea, entre razón y violencia), la ciencia y su filosofía sostienen la fuerza de la razón y las ventajas del diálogo racional como herramienta para resolver conflictos (Popper 1945, Savater 1999). La filosofía que subyace a la ciencia culta reconoce la dificultad de buscar la verdad, pero sabe que sin esa búsqueda no hay fundamento para la justicia. Resumiendo, la pasión por corroborar el grado de verdad de las afir-



maciones es en sí mismo un aporte de la ciencia a la cultura, más allá de que a veces esos enunciados corroborados puedan servir también para desarrollar tecnologías útiles.

Falibilidad y avance

La ciencia epistemológicamente culta enseña que la verdad a la que arriba trabajosamente no es inex-pugnabile y que aun las afirmaciones más justificadas son falibles (Chalmers 2000). Esta falibilidad invita a alejarse de los fundamentalismos de cualquier especie, a abrazar el criterio de verdad objetiva pero dinámica, rechazando la certeza inmutable. Voltaire anticipó los alcances sociales de la doctrina del conocimiento sin certeza: sabernos personas falibles nos hace tolerantes (vale decir, respetuosos), a diferencia de la autoritaria certeza que nos hace intolerantes (Popper, 1990, Marone 1994). Según esta doctrina, toda teoría plausible debe respetarse, al menos *a priori*, para ponerla a competir con otras teorías igualmente plausibles en una discusión crítica, en la que se descartarán las explicaciones infundadas y se validarán provisionalmente las más verdaderas. Al excluir la posibilidad de acceder automáticamente a la verdad (por ejemplo, mediante ciertas intuiciones o revelaciones), el método científico justifica epistemológicamente la tolerancia e invita a resolver los conflictos mediante la discusión fundamentada racional y empíricamente. El enfoque científico es, por ende y a la vez, falibilista y meliorista (Bunge 2002): una ecuación equilibrada entre escepticismo y optimismo que refleja la naturaleza profundamente humana del método de la ciencia.

El papel de la imaginación

Frecuentemente, las diferentes doctrinas empiristas en las que suele basarse la enseñanza de la ciencia no consiguen reconocer en la imaginación uno de los motores esenciales de la actividad C&T. Pese a que la afirmación "la ciencia deriva de los hechos" no puede justificarse epistemológicamente (Bunge 2000, Chalmers 2000), sigue siendo el núcleo de la idea que muchas personas tienen de la ciencia. Pero es una caricatura. Algunos hechos, junto con ideas previas acerca de si deberían darse o cómo deberían darse esos hechos, sirven para encontrar problemas de investigación, pero cuando hay que *buscar soluciones* a esos problemas sólo la imaginación (propia o de otros investigadores) ayuda a encontrarlas. Sin imaginación, simplemente no existirían los problemas; tampoco las afirmaciones científicas que hablan de cosas o procesos inobservables, imperceptibles directamente para los sentidos: electrones, antimateria, moléculas, *splicing* alternativo,

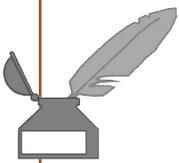
especies, selección natural, nichos ecológicos, agujero de ozono, inconsciente, mercado o Estados. Las ideas científicas, una vez conjeturadas, son sometidas al control racional (¿son consistentes con teorías y datos bien establecidos?) y empírico (¿son compatibles con mis observaciones?), pero las explicaciones científicas necesitan leyes que únicamente pueden nacer en un cerebro humano creativo, talentoso y esforzado. Las C&T deben aportar novedades cualitativas a la cultura; si no lo hacen, no constituyen C&T genuinas (y la política C&T subyacente no lo es propiamente). La incompreensión del papel que han tenido las ideas originales y la innovación en la historia ha desnaturalizado el propio concepto de tecnología que, en lugar de apuesta creativa, se suele hacer pasar por una actividad proveedora de bienes y servicios ya conocidos.

APUESTA IMAGINATIVA E INNOVADORA EN C&T

Inventar las leyes de la óptica, ¿es lo mismo que diseñar el prototipo de un microscopio, fabricarlo en masa o usarlo? ¿Es lo mismo repartir preservativos que imaginar el mecanismo de infección del HIV o inventar una terapia para evitar el contagio o curar la enfermedad?

En la sociedad moderna, las actividades descritas están estrechamente relacionadas entre sí formando un sistema (Bunge 2004); son todas importantes para el desarrollo integral y no parece posible establecer jerarquías sociales entre las personas que las llevan a cabo. Sin embargo, que estén íntimamente relacionadas no significa que se hayan fundido o que sean lo mismo. Solo algunas de esas actividades corresponden a C&T genuinas, aunque a menudo se confunden las actividades involucradas en la *generación* del conocimiento con las asociadas al uso de los bienes y servicios que derivan de ese conocimiento. El preservativo y la vacuna pueden ser herramientas importantes para no enfermarse de SIDA, pero mientras que el uso del primero es actualmente una recomendación profesional, conseguir la segunda sigue siendo un desafío C&T de resultado aún incierto. Se necesita tanto la política profesional como la política C&T para que las sociedades modernas se desarrollen, pero no hay que confundirlas.

¿Por qué se confunde ciencia, tecnología y profesión? En primer lugar, hay un antiguo desacuerdo entre quienes defienden la ciencia básica o la ciencia aplicada; pero a nuestro entender por allí no pasa lo sustantivo del problema: la ciencia, aplicada o básica, busca conocer *cómo* son las cosas y *por qué* son así. En segundo lugar, algunos piensan que



la ciencia puede dirigirse a resolver problemas sociales inmediatos y seguir siendo investigación científica; esta idea merecerá más atención. Finalmente, el empleo de hipótesis en ciencia, tecnología y profesión es también materia de debate y, a menudo, fuente de confusión.

El dar solución a problemas no parece distinguir entre ciencia, tecnología y profesión, pues en cada una de ellas la indagación empieza con alguna pregunta o problema y trata con ellos en cada etapa posterior del proceso. Lo que distingue la investigación C&T de la indagación profesional es que la primera trata con problemas no (completamente) resueltos y requiere, por ende, soluciones originales. En cambio, la indagación profesional suele tratar con problemas para los cuales ya existen soluciones, provenientes usualmente de la investigación C&T (Bunge

2000). El problema característico de la ciencia es la falta de comprensión de un fenómeno y su solución típica es la explicación científica. Los problemas de la tecnología y la profesión, en cambio, aparecen como desafíos de la aplicación del conocimiento y su solución requiere inventar (tecnología) o usar (profesión) artefactos que modifiquen el estado de cosas y procesos. Resumiendo, la investigación empieza por problemas tanto en C&T como en profesión, pero unos tienen consecuencias prácticas (tecnología y profesión) y otros pueden tenerlas o no (ciencia). A pesar de ello, la palabra 'problema' se asocia más a la tecnología y la profesión porque se interpreta como *problema social concreto*. Ciertamente, parte de la política C&T puede y debe orientarse a responder demandas sociales y conseguir el desarrollo integral de la sociedad, pero solo si apunta a encontrar soluciones originales y los funcionarios comprenden los tiempos y la incertidumbre asociados a la genuina investigación C&T. Las sociedades que apuestan por un desarrollo integral tienen, además de política C&T, una amplia y eficiente política técnico-profesional para detectar, prevenir y resolver problemas de salud, educación, justicia y seguridad. Esta política profesional cuenta usualmente con presupuestos entre uno y dos órdenes de magnitud superiores a los de C&T y, por ello, la más restringida inversión en C&T no debe emplearse para financiar política profesional sino para imaginar y corroborar ideas (ciencia) y para usarlas con el fin de inven-

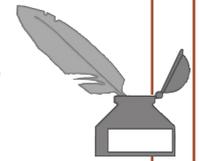
tar objetos y planes de acción novedosos y eficaces (tecnología).

Una hipótesis es una afirmación verificable que tiene cierta generalidad (por caso, los piojos causan el síndrome conocido como pediculosis). Las soluciones tentativas a cualquier tipo de problema son hipótesis y, por ende, éstas son indispensables en ciencia, tecnología y profesión. Volviendo al ejemplo, tras plantear la hipótesis, el científico buscará corroborar que los piojos causan el síndrome. Si la corrobora, el tecnólogo puede proponer otra hipótesis original, por ejemplo que "la droga X en dosis Y mata los piojos afectando su sistema nervioso central y provocándoles convulsiones, sin perjudicar la salud humana". Si se verifica la hipótesis tecnológica, el profesional de la salud usará la hipótesis científica corroborada para reconocer una infección por piojos en un paciente a partir del síndrome descrito, y empleará la hipótesis tecnológica también corroborada recomen-

dando la droga X en la dosis adecuada. Resumiendo, científicos, tecnólogos y profesionales emplean hipótesis, aunque el planteo de hipótesis novedosas queda en manos de los dos primeros. Por tanto, el uso de hipótesis no distingue entre ciencia, tecnología y profesión, pero la invención de hipótesis (o la modificación novedosa de ideas preexistentes) sí.

¿Cómo justifican científicos, tecnólogos y profesionales la confiabilidad de sus hipótesis? La epistemología sistémica (ver Bunge 2004) sugiere que una hipótesis bien corroborada cuenta a la vez con soportes racionales (es consistente con la mayoría del conocimiento científico) y empíricos (se apoya en nuevos resultados experimentales). Ahora bien, como C&T intentan resolver problemas de manera novedosa, el grado de verdad inicial de sus hipótesis es desconocido: para poder considerarlas corroboradas, además de ser plausibles (compatibles con leyes y datos previos), las hipótesis C&T siempre deben superar ciertas pruebas basadas en nuevas observaciones y experimentos. En cambio, las hipótesis que emplean los profesionales (al menos, las buenas) son confiables porque ya cuentan con el sólido soporte de leyes y resultados previos. Por ello, los profesionales no hacen nuevos experimentos para justificar recomendaciones prácticas tales como iniciar cierta terapia, fabricar determinadas vacunas, emplear un cálculo de estructura para construir un edificio, tomar alguna medida después

UNA JUSTIFICACIÓN EQUILIBRADA DE LA ACTIVIDAD CIENTÍFICA DEBE BASARSE TANTO EN SUS RESULTADOS TECNOLÓGICOS (OBJETOS Y REGLAS DE ACCIÓN) Y NO TECNOLÓGICOS (DESCRIPCIONES Y EXPLICACIONES) COMO EN LOS APORTES DE SU MÉTODO A LA CULTURA: UNA MANERA PARTICULAR DE PENSAR LA REALIDAD, UNA PERSPECTIVA ESCÉPTICA, CREATIVA Y RIGUROSA.



de una evaluación de impacto ambiental, iniciar una acción legal o emplear cierto programa informático. Ahora bien, que el profesional emplee hipótesis corroboradas para justificar su acción no significa que renuncie a efectuar un seguimiento (empírico) de los resultados de su recomendación. Esto es así porque la práctica profesional justificada en C&T es tan falible como el conocimiento que la soporta. El profesional médico puede plantear una hipótesis basándose en indicadores clínicos (por caso, el estado febril del paciente se debe a una infección urinaria), recomendar una acción (la administración de cierto antibiótico) y, a la par, buscar evidencia en favor de su hipótesis (y en contra de otras que sugieren otros tratamientos) mediante otras prácticas, como un cultivo de orina. Resumiendo, el empleo de hipótesis novedosas para resolver problemas cuya solución se desconoce o es ineficiente es propio de la C&T; el uso de hipótesis bien corroboradas, en un escenario de escasa incertidumbre sobre la eficacia general de su aplicación, junto con el desarrollo de cierta clase de seguimiento, es típica de la acción profesional.

Un modelo para distinguir ciencia, tecnología y profesión

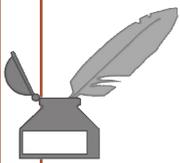
La ciencia, básica o aplicada, intenta conocer la realidad (Tabla 1). Enfrenta problemas no completamente resueltos y, para resolverlos, postula hipótesis originales o insuficientemente corroboradas. Luego, busca evidencia a favor o en contra de ellas. Sólo las hipótesis más verdaderas obtienen el estatus de leyes y se incorporan a teorías, las cuales siempre son consideradas provisionales. A partir de esas teorías, la ciencia explica y predice fenómenos de la realidad. Por su parte, la tecnología contemporánea emplea teorías y datos científicos para resolver sus problemas. Postula hipótesis tecnológicas novedosas que se refieren a la eficacia y eficiencia de ciertos artefactos para controlar la realidad. C&T realizan investigación original, un proceso con resultados inciertos; pero la investigación tecnológica incluye, además, el *diseño* de prototipos (objetos como corazones artificiales, vacunas o reservas naturales o planes de acción como terapias médicas, programas informáticos o protocolos para manejar grandes organizaciones). La puesta a prueba de la eficacia general del prototipo es parte de la investigación tecnológica. Una investigación científica es considerada exitosa si acerca al científico, y a

la sociedad que lo financia, a verdades más complejas, profundas y generales; en cambio, la investigación tecnológica es exitosa si ofrece artefactos novedosos que sean eficaces y eficientes ante la más amplia variedad de condiciones de aplicación.

**AL EXCLUIR LA POSIBILIDAD
DE ACCEDER AUTOMÁTICAMENTE
A LA VERDAD
(POR EJEMPLO, MEDIANTE CIERTAS
INTUICIONES O REVELACIONES),
EL MÉTODO CIENTÍFICO JUSTIFICA
EPISTEMOLÓGICAMENTE
LA TOLERANCIA
E INVITA A RESOLVER
LOS CONFLICTOS MEDIANTE
LA DISCUSIÓN FUNDAMENTADA
RACIONAL Y EMPÍRICAMENTE.**

general bien establecido (por caso, que en ciertas dosis el ácido acetilsalicílico tiene efectos antipiréticos), pero lo hace para resolver problemas prácticos locales modificando efectivamente estados o procesos en la realidad (el suministro a *mi paciente* mejorará su estado gripal). Actualmente, la justificación de la actividad profesional en teorías científicas bien corroboradas y artefactos tecnológicos eficaces es deseable y, posiblemente, ineludible, pero el profesional deja en manos de científicos y tecnólogos la puesta a prueba de esas teorías, para suponerlas verdaderas con precaución y, ocasionalmente, aportar datos que indican que es necesario revisarlas. El profesional utiliza hipótesis bien corroboradas para justificar sus decisiones, pero no las pone a prueba empíricamente cada vez que es contratado (por ejemplo, después de hacer un cálculo de estructura, el ingeniero civil no construye varias casas para verificar que el proyecto funcione antes de recomendarle al cliente la construcción de la suya). El criterio de éxito de la acción profesional, netamente pragmático, es la eficacia local de la acción recomendada.

La satisfacción del cliente, en el sentido más amplio posible, es por ende el criterio de éxito y la manera en que un profesional cumple su papel social. El proceso de producir cierto resultado profesional para satisfacer a quien pagó por él suele ser relativamente rápido comparado con los tiempos que requiere obtener resultados confiables en la investigación C&T. Por ello, la manera en que científicos y tecnólogos cumplen con la sociedad que los financia debe ser diferente a la del profesional. Los científicos lo hacen publicando hallazgos genuinos en revistas y



CARACTERÍSTICAS	CIENTÍFICO	TECNÓLOGO	PROFESIONAL
Objetivo	Conocer la realidad	Controlar la realidad	Controlar la realidad
Acción típica	Investigación	Investigación y diseño	Aplicación técnica
Producto	Explicación y predicción de fenómenos de la realidad	Artefactos (planes y objetos) novedosos para modificar la realidad	Modificación efectiva de estados o procesos en la realidad
Enfrenta problemas	Para los que no se conoce una solución satisfactoria	Para los que no se conoce una solución satisfactoria	Para los que ya se conoce algún tipo de solución
Las hipótesis que emplea	Son originales o están insuficientemente corroboradas	Son originales o están insuficientemente corroboradas	Han sido corroboradas por científicos, técnicos y/o tecnólogos
Justificación de hipótesis	Racional y empírica	Racional y empírica	Típicamente, no hay puesta a prueba controlada de hipótesis
Criterio de éxito	Verdad general	Eficacia general	Eficacia local
Cumple su papel social	Publicando hallazgos originales y genuinos	Patentando o, al menos, apostando a la innovación	Satisfaciendo al cliente
Responsabilidad moral	Honestidad	Honestidad	Honestidad

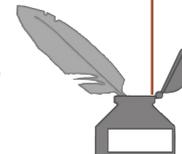
Tabla 1: Principales particularidades que caracterizan y permiten distinguir la investigación científica y tecnológica de la indagación profesional, actividades que, por otra parte, están estrechamente relacionadas formando un sistema conceptual con importantes interacciones o estructura.

libros de su especialidad, con circulación amplia y sometidos al control de pares especialistas. Este comportamiento es, inicialmente, una demanda ética para el investigador que debe difundir el conocimiento para cuyo desarrollo recibió financiamiento de la sociedad, pero es también un mandato del método científico. Se trata del modo en que el conocimiento individual se somete a la crítica de toda la comunidad científica, un componente esencial del escepticismo de la ciencia (Merton 1973).

Dado que el desafío de científicos y tecnólogos es enfrentar problemas no resueltos con soluciones imaginativas y, por tanto, arriesgadas, la demanda de resolver problemas sociales en tiempos perentorios no parece ser la más apropiada para ellos. De modo similar, la mejor manera en que el tecnólogo financiado por el Estado o por organizaciones comunitarias cumple con la sociedad es patentando ideas originales o, al menos, invirtiendo su esfuerzo y su talento en conseguir innovaciones que, de llegar a la

industria, generarán muchos más recursos que la producción tradicional y repetitiva de bienes basada en ideas existentes, frecuentemente importadas. La apuesta al desarrollo económico sustentable es también una apuesta a la imaginación, la creatividad y la capacidad innovadora de científicos y tecnólogos. Por ello, desalentar la investigación innovadora en favor de la aplicación profesional rutinaria (lo que ocurre cuando la "transferencia" o los "servicios" reemplazan la labor de investigación original en la universidad) produce sociedades conservadoras y economías dependientes.

Demandar a científicos y tecnólogos que resuelvan problemas sociales concretos tiene otros inconvenientes, porque esa demanda plantea dilemas éticos que no suelen tenerse en cuenta. La ciencia, básica o aplicada, involucra la puesta a prueba de hipótesis (por ejemplo, que la droga X disminuye la multiplicación de células tumorales). A su vez, la investigación tecnológica posterior "necesita" que los científicos



confirman esas hipótesis. Si la droga X no mostrase su efectividad, no habría conocimiento a partir del cual desarrollar tecnología (en este caso, una terapia de remisión de tumores). Pero la confirmación es sólo uno de los dos resultados posibles de la puesta a prueba de hipótesis y cualquier prejuicio, demanda o presión a priori sobre esa prueba viola cánones tanto éticos como epistemológicos (Marone 1994). Las oficinas de financiamiento que confunden los tiempos de la C&T con los de la profesión pueden ejercer esa presión dando continuidad a los proyectos que confirman sus hipótesis e interrumpiendo a los que no lo hacen. Esa forma de actuar castiga la apuesta imaginativa y riesgosa de la C&T, transformándolas en fantasmas de la genuina profesión. El sistema de C&T deja así de invertir en novedades cualitativas y pasa a desarrollar, en el mejor de los casos, leves variantes de lo ya conocido y, en el peor y más usual de los casos, más de lo mismo.

Finalmente, ciencia, tecnología y profesión comparan algo importante: presuponen la honestidad de quienes las llevan a cabo. Primero, para distinguir los tres tipos de indagación, aceptar sus asociaciones y diferencias y *no tratar de hacer pasar unas por otras*. Luego, para que la sociedad se nutra de hallazgos genuinos (C&T) y acciones fundadas y responsables (profesión). La reflexión sobre las consecuencias del conocimiento, del artefacto o la intervención profesional es también parte sustantiva de la responsabilidad moral de investigadores y profesionales. Ese ejercicio reflexivo y sin ataduras corporativas debería estar presente en todo el proceso educativo, especialmente durante los estudios de grado y posgrado universitarios.

Aunque nuestro objetivo aquí no es analizar estas múltiples y ricas relaciones, resulta importante destacar una que no ha recibido otras menciones en el texto: los aportes de la tecnología a la ciencia. El desarrollo de tecnología inspira nuevos problemas científicos (por ejemplo, conduce a buscar explicaciones para ciertas técnicas precientíficas) y, además, ofrece nuevas posibilidades de poner a prueba hipótesis y teorías más o menos establecidas en el acervo de la comunidad científica.

AGRADECIMIENTOS

José Luis Yela nos estimuló a compartir estas ideas con los colegas de la AACTE y contribuyó, junto a un revisor anónimo, a mejorar una primera versión del artículo. RGS agradece a Fundación Carolina y LM a Fundación Guggenheim. Contribución número 46 del Grupo de Investigación en Ecología de Comunidades de Desierto (Ecodes).

REFERENCIAS

- Allègre C. 2000. Dios frente a la ciencia. Atlántida, Buenos Aires.
- Bunge M. 2000. La Investigación Científica. Siglo Veintiuno Editores, México.
- Bunge M. 2002. Crisis y reconstrucción de la filosofía. Gedisa, Barcelona.
- Bunge M. 2004. Emergencia y convergencia. Novedad cualitativa y unidad del conocimiento. Gedisa, Barcelona.
- Cereijido M. 1994. Ciencia Sin Sesos, Locura Doble. Siglo Veintiuno Editores, México.
- Cereijido M & L Reinking. 2003. La ignorancia debida. Libros del Zorzal, Buenos Aires.
- Chalmers A. 2000. ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Siglo Veintiuno de Argentina Editores, Buenos Aires.
- Dawkins R. 2005. El capellán del diablo. Gedisa, Barcelona.
- Dumbar R. 1999. El miedo a la ciencia. Alianza, Madrid.
- Giménez de Castro G. 2000. Orientándonos por los quásares. Ciencia Hoy 10: 42.
- González del Solar R & L Marone. 2001. The "freezing" of science: consequences of the dogmatic teaching of ecology. BioScience 51: 589-592.
- Marone L. 1994. Aportes de la ciencia básica a la cultura y la sociedad. Interciencia 19: 264-266.
- Merton, RK. 1973. La sociología de la ciencia 2. Madrid, Alianza Editorial.
- Popper KR. 1945. La defensa del racionalismo. En: Miller D (comp.) Popper. Escritos Selectos. México, Fondo de Cultura Económica. Pp. 32-48.
- Popper KR. 1988. Tolerancia y responsabilidad intelectual. En: Sociedad abierta, universo abierto. Tecnos, Madrid.
- Quintanilla MA. 1991. Tecnología: un enfoque filosófico. EUDEBA, Buenos Aires.
- Sábato JA. 2004. Ensayos en campera. Universidad de Quilmes Editorial, Bernal.
- Savater F. 1999. Las preguntas de la vida. Ariel, Buenos Aires.
- Vane JR. 1971. Inhibition of prostaglandin synthesis as a mechanism of action for aspirin-like drugs. Nature. New Biology 231: 232-235.
- Weinberg S. 2003. Four golden lessons. Nature 426: 389.