La naturaleza del conocimiento tecnológico

Daian Tatiana Flórez Quintero

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
1867

Daian Tatiana Flórez Quintero

Doctora en Filosofía por la Universidad Nacional de Colombia. Profesora Titular de la Universidad Nacional de Colombia, adscrita al Departamento de Ciencias Humanas, y Profesora Asociada de la Universidad de Caldas, donde actualmente se desempeña como directora del Departamento de Filosofía. En sus dos hogares académicos ha podido cultivar, con una profunda pasión, la filosofía de la tecnología. En este dominio, ha adelantado valiosas reflexiones sobre algunos problemas epistemológicos históricamente descuidados y ha logrado destacarse como una de las pioneras en el estudio de los problemas semánticos en tecnología. En su más reciente publicación, *Semantic Change in the Language of Technology*, con el prestigioso sello editorial The Oxford University Press, presenta resultados de sus investigaciones en la intersección entre tecnología y semántica. Su trabajo en estas áreas la han hecho merecedora de una Fellowship en The Center for Philosophy of Science de la Universidad de Pittsburgh.

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9371-1850

Ciencias de Gestión

La naturaleza del conocimiento tecnológico

La naturaleza del conocimiento tecnológico

Daian Tatiana Flórez Quintero

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Bogotá, D. C., 2024

© Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales
Facultad de Administración, Departamento de Ciencias Humanas
© Daian Tatiana Flórez Quintero

Primera edición, 2024
ISBN digital: 978-958-505-518-6 (PDF)
ISBN digital: 978-958-505-519-3 (epub)

Colección Ciencias de Gestión

Edición
Editorial Universidad Nacional de Colombia
direditorial@unal.edu.co
www.editorial.unal.edu.co

John Fredy Guzmán
Coordinación editorial

Ángela Patricia Jiménez
Corrección de estilo

Henry Ramírez Fajardo
Diseño de la colección

Olga Lucía Cardozo Herreño
Diagramación

Comité Editorial de la Facultad de Administración, Sede Manizales:

Jorge Alberto Forero Santos
Director

Diana Minerva Idarraga Vallejo
Editora en jefe

Diego Andrés Álvarez Marín
Departamento de Ingeniería Civil

Luz Arabany Ramírez Castañeda
Departamento de Informática y Computación

Jaime Andrés Vieira Salazar
Departamento de Administración

Luis Alberto Carmona Sánchez
Departamento de Ciencias Humanas

Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin obras derivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Editado en Bogotá, D. C., Colombia.

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Flórez Quintero, Daian Tatiana, 1981-
La naturaleza del conocimiento tecnológico / Daian Tatiana Flórez Quintero. -- Primera edición. -- Bogotá : Editorial Universidad Nacional de Colombia ; Manizales : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Administración. Departamento de Administración, 2024
1 recurso en línea (122 páginas) : ilustraciones en blanco y negro. -- (Ciencias de gestión)

Incluye bibliografía e índice temático
ISBN 978-958-505-518-6 (pdf). -- ISBN 978-958-505-519-3 (epub)

1. Filosofía de la tecnología. 2. Teoría del conocimiento 3. Verdad 4. Razón -- Filosofía 5. Ciencia y filosofía 6. Intelectualismo I. Título IV Serie

CDD-23 601 / 2024

Contenido

Introducción 13

Capítulo 1
La naturaleza del conocimiento tecnológico
y la definición tripartita 19

¿Satisface la tecnología las condiciones estipuladas
en la definición tripartita del conocimiento? 24
Examen crítico de los argumentos 30

Capítulo 2
¿Es la tecnología una forma de conocimiento? 43

La estructura del conocimiento tecnológico: intelectualismo
vs. anti-intelectualismo 48
¿Qué es la tecnología? 56
La falacia de composición 67

Capítulo 3
¿Hay un vínculo entre tecnología y verdad? 71

Intuiciones iniciales: el argumento de la perspectiva
de sentido común 72

Capítulo 4
La naturaleza de los descubrimientos técnológicos 85

¿Hay descubrimientos tecnológicos? 85
Sobre la estructura de los descubrimientos técnicos 92
Condiciones necesarias y suficientes de los descubrimientos 94
La estructura de los descubrimientos tecnológicos 106

Conclusiones 113
Bibliografía 117
Índice temático 121

Lista de figuras

Figura 1.	Circuito eléctrico	27
Figura 2.	Modelo atómico de Bohr	33
Figura 3.	Máquina de Newcomen	91
Figura 4.	Máquina de Watt	92
Figura 5.	El célebre experimento con la bomba de aire de von Guerick	104
Figura 6.	Tubo en forma de J empleado por Boyle para sus experimentos con gases	105
Figura 7.	Botella de Leyden	108

Lista de tablas

Tabla 1.	Contraste entre creencias y aceptaciones	29
Tabla 2.	Ramas de la tecnología	48
Tabla 3.	Mecanismos de explicación del progreso en la ciencia	76
Tabla 4.	Cuadro comparativo entre ciencia pura y ciencia aplicada	87
Tabla 5.	Descubrimientos en episodios normales y extraordinarios	106
Tabla 6.	Condiciones necesarias y suficientes de los descubrimientos	110

Introducción

Cuando emprendí la tarea de examinar el problema de la naturaleza del conocimiento tecnológico, y con él, el de la naturaleza misma del conocimiento ingenieril, me sorprendí al encontrar que los epistemólogos han descuidado durante largo tiempo el análisis de la tecnología como una forma genuina de conocimiento. Este olvido puede atribuirse a diversas razones, entre las cuales sobresale el hecho de que, tradicionalmente, no se ha considerado a la tecnología como un tipo conocimiento, sino más bien como una manera de usarlo o aplicarlo. Este descuido se dio a causa de cierto prurito epistémico, o *sesgo filosófico purista*, que explica por qué históricamente la tecnología ha ocupado un lugar secundario entre los objetos sobre los cuales se dirige la reflexión filosófica. La actitud de los filósofos hacia la tecnología ha oscilado entre el desprecio, al considerar que la tecnología no merece su atención, y una actitud excesivamente hostil, de acuerdo con la cual, cuando la tecnología ha llamado su atención, esta resulta atemorizante.

Esta actitud de los filósofos se debe, al parecer, a que la tecnología es la provincia de los ingenieros y de otros no caballeros, lo cual explica por qué esta no ha atraído la reflexión de los filósofos más puristas[1] (Jarvie, 1966, p. 50). El origen de este *sesgo purista* puede rastrearse en la antigüedad clásica, en la concepción que tenían los griegos sobre el conocimiento. Como es bien sabido, la ciencia griega alcanza su esplendor bajo la máxima de que la deducción era el único mecanismo respetable para alcanzar el conocimiento. El conocimiento más excelso era simplemente el elaborado

1 Al respecto, sostiene Bunge (2018): "Los primeros estudios serios sobre la tecnología aparecieron recién en el siglo pasado, […] incluso Marx, pionero de la historia de la tecnología, dudaba entre ubicar la tecnología en la infraestructura material o en la superestructura ideal: la admiraba por ser un insumo de la industria, no por su rico contenido intelectual y artístico. Tampoco su admirado Hegel, ni siquiera Kant, se interesaron por la tecnología, quizá porque evocaba el trabajo manual propio del esclavo" (p. 7). Con todo, si somos caritativos, y emprendemos una búsqueda sobre los antecedentes mismos de la reflexión filosófica sobre la técnica, no podemos olvidar los aportes de los filósofos griegos. Remito al lector interesado a *Republic* de Platón y a la *Nichomachean Ethics* de Aristóteles (*vide* bibliografía). Ver también la *Metaphysics* (Book A (I). Adicionalmente, entre los trabajos pioneros en el desarrollo de una epistemología de la tecnología tenemos que reconocer los trabajos de Fernando Broncano (1996): *Nuevas meditaciones de la técnica* y de Simondon (1958/2008).

por la actividad mental, por lo que desde entonces se subestimó aquel conocimiento que estaba directamente implicado en la vida diaria o en asuntos más prácticos. Incluso, pese a que Grecia no fue estéril en lo que atañe a las contribuciones prácticas a la civilización, su ingeniero más perspicaz, Arquímedes de Siracusa, se rehusó a escribir acerca de sus investigaciones prácticas y descubrimientos para mantener su estatus de aficionado[2] (Asimov, 1980, pp. 20-21).

Otra de las causas que explica el olvido de la tecnología en las reflexiones filosóficas consiste en que los primeros filósofos que se ocuparon de la tecnología la confundieron con sus efectos. El filósofo e historiador francés Jacques Ellul (2003) sostiene, por ejemplo:

> Se sabe, y todo el mundo está de acuerdo en este punto, que la máquina ha creado un medio inhumano, [...] concentración de las grandes ciudades, casas sucias, falta de espacio, falta de aire, aceras sombrías y luz mortecina que hace desaparecer el tiempo, fábricas deshumanizadas, [...] transportes en común donde el hombre es menos que un paquete, hospitales donde no es más que un número, y esto aún se considera progreso, [...] proletarios y alienados: tal es la condición del hombre ante la máquina. (p. 9)

Esta confusión suscitó una actitud excesivamente hostil de los filósofos hacia la tecnología, hasta el extremo de que les llevó a plantear que la tecnología es deshumanizante (Bunge, 1980). Otros destacados intelectuales suscriben un punto de vista similar; entre ellos, Lewis Mumford (1967). Como bien lo señala el ingeniero Edward Krick (1991) en su curso de *Fundamentos de Ingeniería*: "Hay un patrón en los escritos de los tecnófobos: hablan de la deshumanización del hombre a manos de las máquinas, del estímulo y de la gratificación de una compulsión materialista, de la confusión del hombre en un mundo técnico y de la subversión y de la supresión de los valores tradicionales" (p. 374). Aunque esta actitud podría contribuir a prevenirnos razonablemente contra los riesgos potenciales de las aplicaciones tecnológicas, también es la causa de que hayamos ignorado la riqueza conceptual de la tecnología.

---

2 Sobre este rasgo del temperamento de Arquímedes, Lozano Leyva (2005) señala: "Arquímedes no le daba mucha importancia a sus inventos. Esto es curioso, porque eran los que le proporcionaban fama y cariño popular. Pero aunque escribió muchos libros sobre matemáticas y física, sus ingenios los tuvieron que describir otros, porque él no se molestaba en tal tarea. La base de muchos de ellos fue la polea múltiple o polipasto, que a su vez fundamentaba la palanca" (p. 19).

El panorama anterior me motivó a averiguar si la tecnología es conocimiento y, de ser así, qué forma de conocimiento sería. Para enfrentar este desafío, en el primer acápite de este trabajo examino las razones que se han esgrimido en la literatura filosófica para defender la tesis de que la definición canónica del conocimiento no consigue explicar la naturaleza del conocimiento tecnológico. Allí sostengo que los argumentos que Marc De Vries (2016) ofrece en su defensa no son concluyentes.

Las diversas razones que se han esgrimido en contra de la tesis de que la tecnología es una forma genuina de conocimiento no son sólidas. Por ello, en la segunda parte de este trabajo argumento a favor de esta tesis mediante el rechazo de la identificación de la ingeniería con *conocimiento aplicado simpliciter*. En su lugar, defiendo que los ingenieros (y demás tecnólogos) no solo aplican profusamente algunos de los principios explicativos de la ciencia básica, sino que además desarrollan sus propias formas de conocimiento (Bunge, 1980; Vermaas *et al.*, 2011; Raynaud, 2018). De esta manera, me opongo a la creencia, ampliamente extendida, de que el conocimiento que se cultiva en la ingeniería es, a lo sumo, un conocimiento parasitario de otras ciencias, de suerte que el ingeniero se limita a encontrar las aplicaciones prácticas del conocimiento que transfiere la ciencia.

Adicionalmente, argumentaré que la tecnología tiene las siguientes características: (i) es una actividad compleja cuya estructura involucra el *saber qué* (que bien puede corresponder o a conocimiento genuinamente teórico o a *saber qué funciona*), y el *saber cómo* (conocimiento práctico); (ii) aunque el conocimiento tecnológico es la combinación de estos dos tipos de saberes, estos son distintos en naturaleza y son dependientes; (iii) el conocimiento tecnológico es metódico, *i.e.*, se caracteriza porque tiene la estructura típica de la investigación racional; (iv) finalmente, la tecnología es, al igual que la ciencia, un producto cultural y falible.

En la tercera parte defenderé que la tecnología también guarda un vínculo significativo con la verdad, a despecho de lo que sostiene la tradición filosófica según la cual lo propio de la ciencia es la búsqueda de la verdad, mientras que lo propio de la tecnología es la búsqueda de la eficiencia. Hay, *prima facie,* dos motivaciones para mostrar que sí hay un vínculo filosófico substancial entre la tecnología y la verdad. La primera de ellas consiste en que si hay una característica propia del conocimiento esta es justamente *la verdad*; *i.e.*, el conocimiento siempre es y sólo puede ser conocimiento de lo verdadero. Adicionalmente, ello permite esclarecer la naturaleza misma

del espacio normativo[3] en virtud del cual podemos reclamar legítimamente un lugar para la tecnología en el dominio del conocimiento. La segunda estriba en que determinar si hay o no un vínculo entre tecnología y verdad ayuda a esclarecer qué tipo de relación hay entre la tecnología y la realidad. Dicho en otras palabras, averiguar si la tecnología guarda un vínculo con la verdad permite establecer si la realidad de la que se ocupa la ciencia y la realidad de la que se ocupa la tecnología son de distinto orden.

Finalmente, en la cuarta parte de este trabajo me ocuparé de la naturaleza de los descubrimientos técnicos[4]. Encuentro que esta es una cuestión digna de plantearse ya que, de acuerdo con la perspectiva de sentido común, los descubrimientos son la prueba visible de que la ciencia y la tecnología progresan. Sin embargo, las reflexiones en la literatura filosófica sobre su estructura son prácticamente nulas. Precisamente por ello, no sólo mostraré que hay genuinos descubrimientos en tecnología —por muy desafortunado que pueda parecer este término en este dominio—; además, defenderé que estos exhiben la misma estructura de los descubrimientos científicos.

---

3 Esta es claramente una noción subsidiaria de la ya clásica locución "espacio lógico de las razones" acuñada por Willfrid Sellars (1997) en su *Empiricism and the Philosophy of Mind* y con base en la cual se refiere justamente al dominio de lo normativo.

4 Se podría distinguir entre descubrimientos técnicos y descubrimientos tecnológicos, basados, *prima facie,* en el siguiente criterio histórico: los descubrimientos tecnológicos son todos aquellos descubrimientos que tienen lugar a partir del surgimiento de la tecnología moderna (*i.e.*, a partir de la primera Revolución Industrial). Sin embargo, como bien lo señala Raynaud (2018), la creencia de que la tecnología es una característica exclusiva del mundo moderno y la técnica una característica del mundo antiguo es falsa. Para apoyar este planteamiento, Raynaud señala que las *temperature* del arquitecto romano Vitruvio (siglo I a. C) "son la aplicación de una ley óptica en la elección de las medidas de los edificios, lo cual es suficiente para darle una base científica" (Raynaud, 2018, p. 43). En este orden de ideas, quizás un criterio más adecuado para establecer la distinción sería que mientras los descubrimientos tecnológicos tienen una base científica —además de la exigencia de que la teoría científica en la cual se base sea articulada y verdadera—, los descubrimientos técnicos no. Pero dicho criterio no está exento de dificultades dado que tendríamos que aceptar, por ejemplo, que la botella de Leyden es un *descubrimiento técnico*, porque se basó en una teoría científica falsa (la teoría del *effluvium)*, mientras que el motor eléctrico es un genuino descubrimiento tecnológico porque en su diseño los ingenieros se basaron en una teoría científica verdadera (la termodinámica). Esta línea de argumentación es problemática porque, a la luz de una perspectiva falibilista de la ciencia, todas las teorías científicas empíricas, incluidas nuestras actuales y mejores teorías, son falsas (cf. Popper). Si esta perspectiva es correcta, el segundo criterio propuesto se vuelve inocuo.

Los problemas centrales de los que me ocuparé en las siguientes páginas, a saber: (i) la naturaleza del conocimiento tecnológico, (ii) el vínculo entre tecnología y verdad, y (iii) la naturaleza de los descubrimientos técnicos, ilustran algunos de los problemas que he analizado y discutido en los últimos años, en los cursos que oriento en la Universidad Nacional de Colombia. Las discusiones que abordaré se han planteado en una disciplina filosófica floreciente: la *Filosofía de la Tecnología.*

Cuando me vinculé como profesora del Departamento de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional de Colombia de la Sede Manizales, que es una sede con vocación por las Ingenierías, intenté explorar algunos problemas que pudieran ser filosóficamente provocadores para las futuras ingenieras y los futuros ingenieros. En mi ejercicio docente comencé por examinar aquellos problemas relativos a la naturaleza misma del conocimiento tecnológico, dado que suscribo —con Bunge (1980)— la tesis de que las ingenierías hacen parte de la tecnología. Dicho en otras palabras, la ingeniería puede subsumirse en el conjunto de saberes que podemos denominar *conocimiento tecnológico,* como una de sus subáreas. Hay que admitir, no obstante, que este no es un punto de vista muy extendido, ni siquiera entre los ingenieros. El ingeniero Pablo Grech, por ejemplo, sostiene: "La práctica de la ingeniería se basa en el conocimiento de las ciencias naturales y exactas, así como en la aplicación de la tecnología. Si bien esta última está íntimamente ligada con la ingeniería, no son lo mismo" (Grech, 2001, p. 42).

La discusión con estudiantes de todos los campos de la ingeniería ha sido intelectualmente estimulante, ya que tanto los científicos profesionales como aquellos en formación —parafrasenado a Dennett (2015, p. 289)— están prestando una mayor y más respetuosa atención a los filósofos que antes. Esta interacción resultó ser particularmente provechosa para mí, ya que no sólo descubrí lo mucho que me entusiasma el reto de convencer a los no-filósofos de que la filosofía es una actividad que vale íntegramente los esfuerzos intelectuales que exige, sino que además resultó todo un desafío poder vincular los dominios del conocimiento que ellos cultivan con los problemas filosóficos que me inquietan.

Por supuesto, otra de las experiencias académicas que sirve al propósito de evaluar el potencial intelectual de nuestras intuiciones filosóficas es la discusión con colegas y filósofos profesionales de otras universidades. Las preguntas y los comentarios críticos que me plantearon quienes participaron en el *XI Encuentro de la Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono*

Sur, en Buenos Aires, Argentina, en julio de 2018; en el *VII Congreso Colombiano de Filosofía* organizado por la Sociedad colombiana de Filosofía (llevado a cabo en la Universidad Industrial de Santander en agosto de 2018); en el *XV Congreso Internacional de Tecnología, Conocimiento y Sociedad* en marzo de 2019 en Barcelona, y en el *V Congreso Iberoamericano de Filosofía,* llevado a cabo en la Universidad Nacional Autónoma de México, en junio de 2019, contribuyeron significativamente a que lograra una formulación más clara y articulada de los puntos de vista que aquí presento.

Capítulo 1

La naturaleza del conocimiento tecnológico y la definición tripartita

Una estrategia que luce promisoria, cuando se trata de averiguar si podemos reclamar o no un lugar en el dominio del conocimiento para la tecnología, es recurrir a la que durante siglos fue una de las teorías más autorizadas sobre la caracterización del conocimiento; me refiero a *la definición tripartita* de Platón.

La *definición tripartita*, o definición canónica del conocimiento, apareció por primera vez en una de las piezas maestras de la filosofía: el *Teeteto* de Platón. Este no es sólo el primer tratado filosófico sistemático sobre el conocimiento, sino que, adicionalmente, los problemas que allí son examinados pueden ser estimados genuinamente como problemas clásicos, dado que su tratamiento obliga a sus lectores a enfrentar a algunos de los desafíos más formidables de la epistemología. Aun aquellos que sugieren que la epistemología de la creencia —que Platón parece fundar en dicho Diálogo a pesar suyo— está condenada al fracaso, conceden que en el *Teeteto* hay un verdadero acervo de problemas que sirven como estímulo para la reflexión filosófica.

El *Teeteto* es sin lugar a dudas una de las obras de Platón mejor estimadas y admiradas tanto por los filósofos modernos como por los filósofos contemporáneos. Entre ellos, sobresalen el obispo Berkeley, quien sostenía, por ejemplo, que en la primera parte del *Teeteto* Platón anticipaba las tesis centrales de su propia teoría del conocimiento; aunque esta última afirmación es bastante discutible, es simultáneamente indiscutible que encon-

tramos en dicho diálogo un análisis exhaustivo acerca de las razones por las cuales no conviene definir el conocimiento bajo la ecuación *conocimiento* = *sensación*, razones que el filósofo británico parece ignorar. Por su parte, tanto Wittgenstein (1953) como Ryle (1990) hallaron en la tercera parte del *Teeteto* una expresión ejemplar del atomismo lógico.

Adicionalmente, es fácil encontrar en la literatura la sugerencia de que el tratamiento en el *Teeteto* de Platón sobre el problema del conocimiento ha dado lugar a disputas estériles en el dominio de la epistemología. Scruton mantiene, por ejemplo, que la razón por la cual los filósofos han dedicado tanto tiempo a la discusión del conocimiento —incluyendo la megaaburrida pregunta de si el conocimiento es realmente una creencia verdadera justificada— se deriva, en parte, del hecho de que engañosamente las preguntas de la epistemología se han formulado en términos de esta. El principal culpable de esta situación —afirma— es Platón, porque fue él quien estableció la diferencia entre conocimiento genuino, *episteme*, y la simple opinión, *doxa*, y pensó que podíamos contestar las preguntas de la epistemología investigando el peculiar estado mental de los sujetos cognoscentes (Scruton, 1994, p. 320). Con base en lo anterior, Scruton sugiere que tratar el problema del conocimiento a la luz de las tres condiciones estipuladas al final del *Teeteto* da lugar a disputas fútiles en el campo de la epistemología.

Con todo, sí que podemos controvertir estas últimas apreciaciones de Scruton a partir de lo siguiente: ¿es la pregunta acerca de si el conocimiento es creencia+verdadera+justificada megaaburrida —lo cual de entrada configura una falacia del lenguaje cargado—, o, por el contrario, es una cuestión digna de plantearse? Mi postura es que, por supuesto, es un asunto digno de discutirse, dado que la fórmula de Platón no sólo posee la espléndida belleza de la simplicidad conceptual, sino que, adicionalmente, con base en ella, nuestras intuiciones acerca de la naturaleza del conocimiento podrían resultar desafiadas. Entre ellas —y como lo señala el propio Scruton—: (i) que tenga que creer para conocer; (ii) que tenga que estar justificada para conocer, y (iii) que sea suficiente que crea X y que X sea verdadero y esté justificada para conocer.

Recordemos que, de acuerdo con la definición tripartita del conocimiento (Platón, *Teeteto*, 202 b-c), X sabe que P *syss*:

(i) X cree que P,

(ii) P es verdadera.

(iii) X tiene justificación para creer que P.

Quizá esto puede capturarse mejor a partir del siguiente ejemplo: Luis sabe que 'la Tierra es el tercer planeta de nuestro sistema solar', porque Luis cree que 'la Tierra es el tercer planeta de nuestro sistema solar'. Dicha creencia es verdadera porque se corresponde con el estado de las cosas; y además, Luis tiene una justificación apropiada de su creencia, pues se basa en sus estudios básicos de astronomía.

Para comprender mejor esta fórmula, consideremos con algo más de detalle cada una de las condiciones. De acuerdo con la caracterización lógica estándar de los reportes de creencias, estos se expresan mediante *actitudes proposicionales*. Estas son reportes de estados mentales que emplean verbos de *actitudes proposicionales*, como *creer, temer, desear*, etc., a los que sigue una *cláusula que* (o *that-clause*) incluye una oración que expresa una proposición. Las actitudes proposicionales se caracterizan porque tendrían la siguiente estructura lógica: *S* ___ que *p*. Donde *S* equivale al sujeto, *p* corresponde a una proposición, y el espacio entrecomillado '___' se reemplaza por un verbo psicológico, que en el caso particular de las creencias sería *creer*. La característica distintiva de las *actitudes proposicionales* consiste en que su contenido; *i.e.*, el modo como ellas representan el mundo, es algo de lo que se puede decir que es verdadero o falso.

Según la teoría estándar de los reportes de *actitudes proposicionales*, las creencias exhiben *una estructura relacional* entre un agente (con una actitud) y un contenido, que es una proposición (teoría relacional)[5]; *i.e.*, en los reportes de estados mentales, como las creencias, se relacionan individuos con determinadas proposiciones que son precedidas por la *cláusula que*.

Por otro lado, la condición (ii) demanda que la creencia sea verdadera. De suerte que, dependiendo del tipo de estándares que se adopte, se podrá evaluar si el contenido de la creencia —*i.e.*, la proposición— es o no verdadera, ya sea en virtud de su correspondencia o no con un estado de cosas (teoría correspondentista de la verdad: Tarski, 1944, pp. 341-375), o en virtud de su coherencia con otras creencias (teoría coherentista de la verdad)[6].

---

5 Una concepción así hunde sus raíces en Russell (1940). Es defendida, entre otros, por Salmon y Soames (1988).

6 Estas no son, por supuesto, las únicas teorías de la verdad. Es bien conocida la teoría pragmatista de la verdad, defendida por James y Peirce. Como bien se indica en la *Stanford Encyclopedia of Philosophy*: "A different perspective on truth was offered by the American pragmatists. As with the neo-classical correspondence and coherence theories, the pragmatist theories go with some typical slogans. For example, Peirce is usually understood as holding the view that: Truth is the end of inquiry. Both Peirce

La última condición exige que dicha creencia esté justificada. La justificación es una noción normativa que está vinculada a lo que todo sujeto puede creer racionalmente, por lo que su cumplimiento depende de la satisfacción de un conjunto de estándares y criterios, como la evidencia que apoya la creencia o la coherencia lógica con el sistema de creencias. De hecho, según el tipo de criterios que se adopte, bien podríamos inclinarnos por un proyecto de justificación fundacionalista, o por un proyecto coherentista[7] —o incluso por una suerte de híbrido entre ambos, como se propone a partir del fundherentismo (Haack, 1997)—.

---

and James are associated with the slogan that: Truth is satisfactory to believe". Véase al respecto: https://plato.stanford.edu/Archives/win2014/entries/truth/#PraThe. Adicionalmente, hay teorías deflacionarias de la verdad. Tal y como lo indiqué en mi artículo "¿Exige el realismo científico un compromiso con la teoría correspondentista de la verdad?" (Flórez Quintero, 2012), una teoría deflacionaria o minimalista de la verdad rechaza la idea de que la verdad tiene alguna esencia que podría ser revelada por el análisis filosófico. Igualmente desprecia la consideración de que la verdad desempeña un rol explicativo. Y aunque a la luz de ello parecen "profundas" las diferencias con una teoría correspondentista de la verdad, hay por lo menos dos aspectos en común entre ellas: *ambas son teorías no epistémicas de la verdad, y* además mantienen que hay una conexión estrecha entre afirmar "'La nieve es blanca' es verdadera" y decir que la nieve es blanca; *i.e.*, en ambas se mantiene que el esquema de Tarski nos proporciona lo que se requiere para una teoría de la verdad. Por supuesto, esto no quiere decir que no haya diferencias importantes entre ellas. Por ejemplo, conviene indicar que una teoría minimalista rechaza la idea de que afirmar que un enunciado es verdadero implica una correspondencia sustantiva con las entidades a las que se refiere. Con base en lo anterior, para el defensor de una teoría minimalista de la verdad basta con aceptar que el predicado "verdadero" es un predicado formal y que existe por una necesida lógica. Por contraste, el defensor de una teoría correspondentista de la verdad sí que toma seriamente la idea de que la verdad de un enunciado consiste, en parte, en su capacidad de representar algo externo.

7 Indicar en qué consiste la teoría fundacionalista o coherentista de la justificación no es una tarea sencilla, dado que, como bien lo señala Haack (1997), "hay una gran variedad y una considerable vaguedad en el uso de los términos 'fundacionalismo' y 'coherentismo'". A pesar de ello, tal parece que comprometernos con una teoría de la justificación fundacionalista exige *prima facie* suscribir las siguientes tres tesis: (i) algunas creencias justificadas son básicas: una creencia básica está justificada independientemente del apoyo de cualquier otra creencia; (ii) todas las demás creencias justificadas son derivadas (o no básicas): una creencia derivada se justifica a través del apoyo directo o indirecto de una o varias creencias básicas; (iii) la justificación es unidireccional, *i.e.*, las creencias básicas justifican a las derivadas, pero no ocurre lo contrario" (pp. 29-30). Pryor (2005), por contraste, distingue dos versiones del coherentismo: el "coherentismo puro" y el "coherentismo impuro": "I distinguish between pure and impure versions of coherentism. Pure coherentists claim that a belief

Es abundante la literatura filosófica que ha intentado ya sea rebatir la definición tripartita del conocimiento[8], o superar algunas de sus debilidades incorporando otras condiciones capaces de responder a uno u otro de los desafíos planteados por los epistemólogos contemporáneos[9]. Sin embargo, en este trabajo no me ocuparé de examinar si la definición tripartita logra o no estipular las condiciones necesarias y suficientes del conocimiento. En su lugar me interesa evaluar las razones por las cuales —según Marc De Vries (2016)— la definición canónica del conocimiento no logra capturar la naturaleza del conocimiento tecnológico.

Para adelantar un examen sobre la naturaleza del conocimiento tecnológico, el físico y filósofo de la tecnología Marc De Vries evalúa si la tecnología satisface o no las condiciones estipuladas en la definición tripartita. La conclusión es que la tecnología no satisface dichas condiciones. Por supuesto, podría pensarse que la consecuencia del análisis de De Vries es excluir a la tecnología del "espacio lógico del conocimiento": si la tecnología no satisface las condiciones necesarias y suficientes estipuladas en la definición tripartita, entonces no se puede considerar como una forma genuina de conocimiento. Sin embargo, como veremos, para evitar esta implicación, De Vries recurre a la célebre distinción de Gilbert Ryle (1949) entre *saber qué* y *saber cómo*. Con base en ella sostiene que si bien la tecnología no es una forma de "saber qué" (*i.e.*, no constituye un tipo de conocimiento proposicional), sí que podemos reclamar para ella un lugar en el dominio del conocimiento dado que corresponde a un *saber cómo*, *i.e.*, abarca un conjunto de habilidades y destrezas.

Este es, sin lugar a dudas, un propósito valioso, especialmente si consideramos que De Vries suscribe la tesis de que la tecnología es una forma genuina de conocimiento. No obstante, creo que termina por ofrecer una imagen increíblemente deflactada de la naturaleza del conocimiento tec-

---

can only be justified by its relations to other beliefs. Impure coherentists are willing to give some non-beliefs, such as perceptual experiences, a justifying role" (pp. 181-202). Donald Davidson (2001) es uno de los defensores más agudos del coherentismo puro al sostener justamente que "sólo una creencia justifica a una creencia". De acuerdo con el coherentismo puro, una creencia puede justificarse por sus relaciones con otras creencias; mientras que según el coherentismo impuro, se puede conceder un rol justificativo, por ejemplo, a las experiencias perceptuales.

8 Entre ellos, el trabajo de Gettier (2000) es uno de los más desafiantes en la literatura.

9 Entre los trabajos que se proponen dicha empresa se pueden considerar los de Alvin Plantinga (1993), Goldman (2002) y Nozick (2002).

nológico, a tal punto que llega a equiparar el conocimiento que tiene un ingeniero con las habilidades de las que dispone un carpintero[10]. Como es evidente que conviene mostrar por qué el conocimiento tecnológico es mucho más complejo de lo que una interpretación así entraña, en lo que sigue reconstruiré y evaluaré los siguientes cuatro argumentos que De Vries ofrece y a los que denominaré: *el argumento del saber cómo, el argumento del conocimiento visualizado, el argumento de los juicios de valor* y *el argumento de la distinción entre creencias y aceptaciones*.

¿Satisface la tecnología las condiciones estipuladas en la definición tripartita del conocimiento?

Para defender la tesis de que la tecnología no satisface las condiciones estipuladas por la definición canónica del conocimiento, De Vries argumenta, por un lado, que una parte importante del conocimiento tecnológico *no es proposicional* y, por otro, que la tecnología no tiene como propósito la búsqueda de la verdad. Antes de analizar cada uno de los argumentos que ofrece, es necesario precisar el alcance de sus planteamientos. No sobra advertir que la línea argumentativa de De Vries no pretende probar que la tecnología no sea una forma de conocimiento basado en el planteamiento de que:

(P1) Si la tecnología fuera una forma genuina de conocimiento, entonces tendría que satisfacer las condiciones necesarias y suficientes estipuladas en la definición canónica del conocimiento.

(P2) Puesto que la tecnología no satisface las condiciones necesarias y suficientes estipuladas en la definición canónica del conocimiento, entonces la tecnología no es una forma genuina de conocimiento.

Por el contrario, como veremos, para De Vries la tecnología sí que es una forma de conocimiento, que corresponde al tipo de saber que Gilbert

10 Aunque para ser caritativos con De Vries, hay trabajos —espléndidos— en los cuales el análisis epistemológico de la tecnología que ofrece está mucho más alineado con lo que aquí propongo. En su trabajo de 2009 sostiene, *inter alia*, que el conocimiento tecnológico comprende *prima facie* tres tipos de conocimiento: "knowledge of the physical nature of the artifact, knowledge of the functional nature, and knowledge of the relationship between the physical and the functional nature" (De Vries, 2009, pp. 489-512).

Ryle (1949) denominó *saber cómo*[11]. Para ponderar las virtudes de su posición, consideremos los argumentos que se enuncian a continuación.

El argumento del *saber cómo* y el argumento del conocimiento visualizado

Según De Vries, hay conocimiento tecnológico que no puede ser expresado adecuadamente en proposiciones. Para ilustrar lo anterior, plantea el siguiente ejemplo: cuando un carpintero dice que sabe cómo dar en el clavo en el punto exacto para introducirlo en un trozo de madera, probablemente no puede explicar cómo lo sabe en palabras. Sin embargo, es evidente que el carpintero posee cierto tipo de conocimiento. Para indicar de qué tipo de conocimiento se trata, De Vries recurre a la distinción de Ryle entre *saber qué* y *saber cómo*. Como es bien sabido, el primer tipo de saber comprende el conocimiento que se puede articular mediante proposiciones, por lo que este tipo de conocimiento parece ajustarse bastante bien a la definición tripartita. Sin embargo, el conocimiento tecnológico parecer ser un conocimiento del segundo tipo, *i.e.*, de aquel que se caracteriza porque no puede ser expresado en proposiciones, ya que se trata, según las sugerencias de De Vries, de un conocimiento que comprende un conjunto de habilidades o destrezas.

Con base en lo anterior, De Vries argumenta que una parte importante del conocimiento tecnológico corresponde al tipo de saber que Ryle llama *saber cómo*; consiste en un conocimiento que comprende habilidades y destrezas, como aquellas que seguramente posee un granjero que es capaz de separar infaliblemente en un conjunto de polluelos a los machos de las hembras, aun sin ser capaz de explicar —en palabras— cómo lo hace[12]. Ahora

11 En la literatura epistemológica reciente se suele distinguir *prima facie* entre dos teorías que explican la naturaleza del *know-how* (o el *saber cómo*): la explicación del *know-how* como habilidad, y la explicación del *know-how* como disposición. Stanley y Williamson (2001) atribuyen a Ryle la explicación del *know-how* como habilidad, mientras que Fantl (2017) se muestra mucho más inclinado a atribuirle la explicación del *know-how* como disposición: "Ryle himself did not emphasize abilities but, rather, an array of dispositions and capacities" (p. 12).

12 Para argumentar que la condición (ii) estipulada en la definición tripartita del conocimiento no es una *conditio sine qua non*, Colin Radford (1966) propone justamente este contraejemplo. En una maniobra argumentativa similar ofrece el contraejemplo del *estudiante nervioso*, a partir del cual muestra por qué la condición estipulada en (i) no es una condición necesaria: supongamos que un estudiante nervioso —que se

bien, aun cuando resulta fácil conceder que esta habilidad puede clasificarse como una forma genuina de conocimiento, no obstante, corresponde a un tipo de conocimiento que no puede ser expresado en proposiciones. El argumento que plantea De Vries se puede reconstruir de la siguiente manera:

Argumento del *saber cómo*

(P1) Si una parte importante del conocimiento tecnológico no puede ser expresado en proposiciones, porque se trata más bien de un conjunto de habilidades y destrezas (o *saber cómo*; *e.g.*, el conocimiento que tiene un carpintero), y dicho conocimiento cuenta sensatamente como tal, entonces la definición tripartita no logra explicar la naturaleza del conocimiento tecnológico porque demanda una condición que el conocimiento tecnológico no satisface; a saber, que pueda ser expresado en proposiciones.

(P2) La mayor parte del conocimiento tecnológico no puede ser expresado por medio de proposiciones. Por lo tanto, el conocimiento tecnológico no puede ser explicado a partir de la definición tripartita[13].

Consideremos enseguida el otro argumento con base en el cual De Vries sostiene que el conocimiento tecnológico no es conocimiento proposicional.

El argumento del conocimiento visualizado

El segundo argumento que ofrece De Vries para defender la tesis de que el conocimiento tecnológico no es proposicional: sostiene que otra parte importante de este tampoco puede ser expresado en proposiciones, ya que se trata de un tipo de conocimiento que se caracteriza porque requiere ser *visualizado*; *e.g.*, aquel conocimiento que tienen los ingenieros y que modelan en sus planos, dibujos y bocetos; y que parecieran percibir más bien con los

---

había preparado adecuadamente para un examen de historia— está presentando un examen y se le pregunta por la fecha de la Revolución francesa. El estudiante entra en pánico y escribe 1789, sin tener la menor confianza de que sea la respuesta correcta, por lo que a pesar de que parece haber una suerte de deserción de sus creencias, provocada por el pánico del momento, el estudiante *sabe* la fecha de la Revolución francesa (Radford, 1966, pp. 1-11)

13 Presenté una versión preliminar del análisis de algunos de los argumentos que considero acá en el *Encuentro de la Red en Filosofía, Teoría y Educación en Administración*, llevado a cabo en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, en mayo de 2011.

"ojos de la mente". Dicho conocimiento correspondería al tipo ilustrado a partir de la siguiente imagen (figura 1) de un circuito eléctrico:

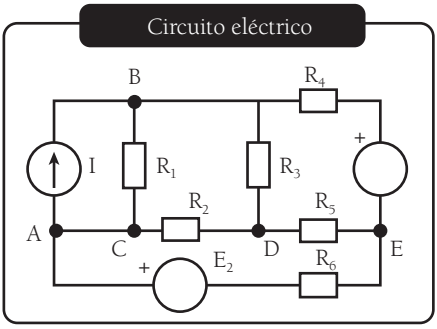

Figura 1. Circuito eléctrico
Fuente: elaboración propia.

Para dar mayor contundencia a este razonamiento, De Vries recurre a las diferencias entre expertos y novatos cuyo conocimiento, de acuerdo con ciertas investigaciones, se distingue porque allí, donde los expertos tienden a ver patrones más amplios de información, los novatos se concentran en los detalles (De Vries, 2016, p. 25).

Ahora bien, esta no es la única condición estipulada en la definición tripartita que el conocimiento tecnológico no satisface. Según De Vries, el conocimiento tecnológico tampoco satisface la condición de verdad. De hecho, el autor considera que el conocimiento tecnológico no tiene como propósito la verdad. Veamos los argumentos que apoyan esta tesis.

El argumento de los juicios de valor y el argumento de la distinción entre creencias y aceptaciones

Para apoyar este planteamiento, De Vries explora dos vías. Con base en la primera, sostiene que el conocimiento tecnológico se caracteriza principalmente por ser un conocimiento normativo, del tipo que permite proferir juicios de valor como el siguiente: "Un martillo es *una buena* herramienta para clavar una puntilla en un trozo de madera". De acuerdo con las particularidades de este argumento, el tecnólogo no profiere una afirmación de hecho, como las que se profieren en la ciencia, sino que profiere juicios de

valor, de suerte que estos juicios no tienen como su condición de adecuación la verdad o la falsedad, como puede verse enseguida:

> Another reason for questioning the validity of the 'justified true belief' account of knowledge for technological knowledge is that engineers also have knowledge about norms. *Normativity* is also characteristic for knowledge of functions. When an engineer says: "I know that this is a device that can be used for hammering a nail into the wood" (which is mostly expressed more briefly as: "I know that this is a hammer") in this statement a normative judgment is included: the engineer claims that the device is good for hammering a nail into the wood. But how can norms be said to be 'true'? (De Vries, 2016, p. 25)

El argumento expresado en este pasaje se puede reconstruir como se muestra a continuación.

Argumento de los juicios de valor

(P1) Si las afirmaciones que profiere un ingeniero no se pueden evaluar con base en la verdad o en la falsedad, porque son fundamentalmente juicios valorativos, entonces la definición tripartita no puede explicar la naturaleza del conocimiento tecnológico porque demanda dos condiciones que este no satisface, a saber: la verdad y la justificación (no satisface esta última condición, en razón de que el conocimiento tecnológico no es proposicional, por lo que no es posible hacer una justificación mediante proposiciones).

(P2) Las afirmaciones que profiere un ingeniero no pueden ser evaluadas con base en la verdad o la falsedad. Por lo tanto, la definición tripartita no puede explicar la naturaleza del conocimiento tecnológico.

De Vries cuestiona que la verdad sea la condición primaria en la cual están interesados los ingenieros cuando emprenden la búsqueda del conocimiento, ya que encuentra que la adecuación, la eficiencia, la efectividad son condiciones que se ajustan mucho mejor a sus actividades y búsquedas epistémicas. Así, por ejemplo, cuando un ingeniero civil diseña un nuevo puente, sabe que la mecánica cuántica es una teoría verdadera sobre los materiales y las fuerzas en el puente. Pero sería ocioso tratar de usarla para tales efectos, pues es mucho más útil la mecánica clásica; la cual, aunque en sentido estricto no es verdadera, resulta ser mucho más eficiente en el proceso de diseño (De Vries, 2016, p. 26)[14].

14 Este argumento será evaluado con más detenimiento en el tercer capítulo de este trabajo.

Finalmente, De Vries sugiere una explicación alternativa que parece ajustarse bastante bien a la naturaleza del conocimiento tecnológico, en contraste con la explicación clásica del conocimiento de la que disponemos, en la cual la noción de "creencia" desempeña un papel protagónico. Según dicha alternativa, el tipo de actitudes proposicionales que caracteriza al conocimiento tecnológico no son las creencias, sino *las aceptaciones*. Estas suelen desempeñar un rol importante en el razonamiento práctico, que es justamente lo que distingue, en su opinión, al conocimiento tecnológico. En desarrollo de este argumento, De Vries sugiere el siguiente contraste, presentado en la tabla 1.

Tabla 1. Contraste entre creencias y aceptaciones

Creencias	Aceptaciones
1. Son involuntarias	1. Son voluntarias
2. Buscan la verdad	2. Buscan la utilidad
3. Se forman a partir de la evidencia	3. Se forman por consideraciones como la prudencia
4. Son independientes del contexto	4. Son dependientes del contexto
5. Tienen que formar un todo coherente	5. No necesitan satisfacer este requisito
6. Se dan en grados	6. Son un asunto de todo o nada

Fuente: elaboración propia.

Aunque voy a concentrar mi análisis crítico en las diferencias (1) y (2) entre creencias y aceptaciones, las características restantes del contraste, como veremos, son igualmente discutibles.

Para apoyar el planteamiento de que las creencias se distinguen de las aceptaciones en virtud de que las primeras son involuntarias, mientras las segundas son voluntarias, De Vries argumenta que, una vez hemos percibido una grieta en la superficie de un aparato, tenemos que creer que *hay una grieta en la superficie*. Sin embargo, aceptar o rechazar una regla que dice cuándo *debe ser* reparada la grieta para evitar posibles accidentes es un asunto de decisión. Con base en este ejemplo, sostiene que la percepción de un estado de cosas nos obliga a *creer* que tal y tal es el caso, y en ese sentido las creencias son involuntarias, mientras que las aceptaciones son voluntarias (De Vries, 2016, p. 27). De acuerdo con lo anterior, resulta que al ver la luna estoy obligada a *creer —inter alia—* que *la luna es un cuerpo luminoso*, pero no estoy obligada, por contraste, a viajar o no a la luna. Por lo que el conocimiento

que pudiese llevarnos o no a la luna es un conocimiento que está ligado a la voluntad o a estados típicamente volitivos, como el deseo de ir a la luna.

Para mostrar además que la normatividad de las creencias difiere de la normatividad de las aceptaciones, De Vries argumenta que como cuando creemos que el cobre conduce electricidad, lo hacemos porque creemos que *es verdadero*. Esta es la normatividad propia de estados mentales como las creencias. Por contraste, cuando aceptamos la regla que afirma que un alambre de cobre puede ser usado en artefactos eléctricos, lo hacemos porque vale la pena aceptarlo en virtud de su uso práctico, es decir, lo hacemos sobre la base de un criterio normativo como *la utilidad* (De Vries, 2016, p. 27). Sin embargo, en contra de esta afirmación podemos alegar que todo el asunto podría plantearse en términos del análisis tradicional del conocimiento: *creo que* el cobre es buen conductor de electricidad, y justifico mi creencia sobre instancias exitosas de su uso, experimentos o comparaciones con otros materiales. Acepto la regla de que los artefactos eléctricos funcionan mejor si usamos alambres de cobre en su diseño, porque la eficiencia esperada es un corolario del descubrimiento previo. Lo que está en juego aquí no es un criterio normativo, sino un resultado deductivo (o una aplicación práctica) de mi descubrimiento anterior.

Con todo, tal vez De Vries está en lo correcto al afirmar que la definición clásica del conocimiento es muy limitada como para permitirnos discernir, sobre la base de las condiciones que estipula, la naturaleza del conocimiento tecnológico. Sin embargo, las razones que ofrece no son lo suficientemente sólidas, y esto es lo que me propongo mostrar a continuación.

Examen crítico de los argumentos

Aunque podemos conceder que la distinción de la que parte De Vries es correcta —es decir, si bien podemos admitir que el recurso a la distinción de Ryle entre *saber qué* y *saber cómo* es adecuado—, la afirmación de que una porción importante del conocimiento tecnológico no puede ser expresada en proposiciones es muy discutible dado que, a diferencia de los técnicos, los ingenieros suelen disponer de un amplio conocimiento de los principios científicos que orientan las soluciones técnicas de problemas prácticos[15], conocimiento que puede ser expresado proposicionalmente.

15 Por supuesto, este planteamiento puede ser desafiado a partir del rechazo de la identificación entre tecnología y ciencia aplicada. La tesis de que la tecnología es ciencia

Con toda seguridad no quisiéramos encontrarnos con un ingeniero diciendo —a la manera del carpintero o el granjero— que ha diseñado un *software* novedoso para resolver un problema, pero que no sabe explicar su arquitectura ni lo que el programa puede hacer mediante proposiciones. Creo que lo que contribuye a explicar la superioridad de la formación del ingeniero cuando la comparamos con la del técnico estriba precisamente en que aquel no sólo dispone de las habilidades necesarias para diseñar, sino que adicionalmente conoce los principios científicos que intervienen de ordinario en sus diseños y puede ofrecer explicaciones articuladas e inteligibles del proceso, su alcance y sus resultados[16].

---

aplicada ha sido ampliamente rechazada por historiadores y filósofos de la tecnología, entre ellos, Rapp (1974), Bugliarello y Doner (1976), Derry y Williams (1977), Feibleman (1983), Skolimowski (1966), Vermaas *et al.* (2011), Don Idhe (2013). Las razones de su rechazo provienen, *inter alia,* del hecho de que históricamente la técnica es muchísimo más antigua que la ciencia: "Nuestros ancestros han diseñado y usado instrumentos y artefactos, al menos durante tres millones de años. Como búsqueda sistemática de conocimiento, la Ciencia sólo ha existido durante 3000 años. Por tanto, la tecnología en su conjunto no puede ser ontológicamente dependiente de la existencia de la Ciencia, que es una recién llegada (*latecomer*) en la cultura humana" (Niiniluoto, 1997, p. 289). La técnica de los pigmentos podría servir también para apoyar la tesis de que la tecnología no es ciencia aplicada dado que es una técnica exitosa que precede en siglos a la formulación del principio científico que explicaría su éxito: la ley de la conservación de la materia. Desarrollo un análisis más detallado de este caso histórico, apoyada en los valiosos aportes del estudiante de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia, Anthony Arango, en mi texto *Is Technology (still) Applied Science?* (Flórez *et al.*, 2019), donde sostengo que la evidencia histórica disponible no debe impresionarnos y que, de hecho, todavía podemos defender una concepción deflactada de la tecnología como ciencia aplicada. También remito al lector interesado a otro de mis artículos más recientes sobre esta discusión: Flórez y García (2017). También a mi trabajo: *A Defense of Technology as Applied Science (Forthcoming)*, en el que defiendo una versión más fuerte de la ecuación que identifica la tecnología con ciencia aplicada.

16 Se podría ofrecer como contraejemplo el caso del ingeniero mecánico James Watt para mostrar que es posible diseñar o inventar un artefacto sin un conocimiento articulado o sistemático de los principios que gobiernan el funcionamiento de dicho artefacto. Es bien sabido que Watt patentó la máquina de vapor en 1768; sin embargo, las leyes científicas que explican su funcionamiento fueron formuladas más de cinco décadas después. Pero este caso histórico tampoco debe impresionarnos, como lo indicaré más adelante (véase la nota 39): Watt consultó —durante el tiempo que estuvo en la Universidad de Glasgow— al médico y químico Joseph Black acerca de sus investigaciones sobre el "calor latente" que parecía ser absorbido cuando el agua se evaporaba. Black ayudó a Watt a clarificar su pensamiento sobre el calor y la

Tal parece ser que De Vries confunde aquí conocimiento técnico con conocimiento tecnológico. La técnica puede ser concebida como un conjunto de habilidades y destrezas, *e.g.*, las técnicas de grabado; sin embargo, la diferencia con la tecnología estriba en que esta última guarda una estrecha relación con la ciencia. Relación que espero mostrar con más fuerza en el examen de los argumentos que De Vries ofrece como apoyo de la tesis de que la tecnología no busca la verdad. Por ahora, consideremos otro reparo a la idea de que la tecnología es un conocimiento de habilidades. Si concediéramos ello, podríamos demandar un análisis de la estructura de dicha actividad, ya que es fácil reconocer que podemos distinguir, *prima facie*, entre dos tipos de habilidades: las habilidades para actuar —que comprenden desde las técnicas religiosas hasta las técnicas para la práctica de un deporte— y las habilidades para hacer[17]; *e.g.,* aquellas que comprenden las destrezas artísticas. A la luz de esta distinción, es claro que el conocimiento que posee un ingeniero es bastante distinto del que tiene un atleta, un experto en la técnica de pintura al óleo o un artesano.

Por otro lado, la dificultad que se puede advertir en *el argumento del conocimiento visualizado* es que configura una falacia del *non sequitur*. De Vries afirma que en el conocimiento tecnológico hay conocimiento que tampoco puede ser expresado en proposiciones, porque se trata de un tipo de conocimiento que se caracteriza porque los ingenieros lo representan en dibujos y bocetos. Recordemos que para ilustrar mejor este punto, De Vries apela a las diferencias entre expertos y novatos cuyo conocimiento se distingue porque allí donde los expertos tienden a ver patrones más amplios de información, los novatos se concentran en los detalles. Lo que resulta problemático es que del hecho de que haya conocimiento "*visualizado*" no se sigue que se trata de un conocimiento no-proposicional. Veámos, por ejemplo, el modelo atómico de Bohr (figura 2). En las ciencias naturales, los científicos recurren frecuentemente a modelos para representar —como lo ilustra el modelo atómico de Bohr— la estructura del átomo. Del hecho

temperatura (Hunt, 2010, p. 9). Lo anterior nos autoriza a concluir que Watt sí que disponía de un conocimiento sobre el funcionamiento de la máquina de vapor, así no fuese lo suficientemente sistemático, como el que lograron articular Carnot, Lord Kelvin y Clausius.

17 Mitcham y Mackey dirigen una objeción en esta línea a la definición de conocimiento tecnológico como habilidades, defendida por Feibleman. Para un análisis más detallado, véase: Mitcham y Mackey (1983). Introduction: Technology as a Philosophical Problem. En *Philosophy and Technology: Readings in the Philosophical Problems of Technology*. The Free Press.

de que en la ciencia básica los científicos recurran a modelos para representar ciertas estructuras no se sigue que el conocimiento que se pretende expresar mediante estas ayudas no sea proposicional o no pueda expresarse de manera proposicional, como puede verse claramente si reparamos en que los modelos o diagramas se pueden explicar prolijamente.

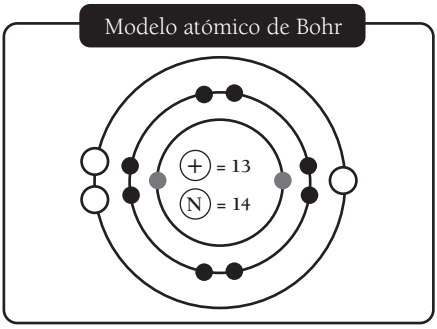

Figura 2. Modelo atómico de Bohr
Fuente: elaboración propia.

Lo anterior no significa que los modelos o gráficas —*qua* visualizaciones— en las ciencias naturales o en las ciencias aplicadas —como la ingeniería— presenten, en sí mismos, un entramado de proposiciones. Expresar proposicionalmente lo representado en un modelo, en una gráfica o en un boceto, y conducir a visualizaciones a través de estos, tiene funciones diferentes. Pensemos, por ejemplo, en la proposición —o en la ecuación— del movimiento parabólico que tiene una función distinta a la presentación visual del mismo. La graficación de funciones de una parábola tiene una función diferente a mostrar en una pantalla la trayectoria de un proyectil disparado. Mientras la expresión proposicional tiene una función descriptiva y explicativa, la función de la visualización gráfica tiene como propósito, mediante la intuición visual de las figuras, hacer comprensible el contenido proposicional. De manera que, mientras el contenido proposicional es la base de toda *demostración* en las ciencias, el contenido visual —que es una de las caracerísticas del conocimiento intuitivo— sirve para *mostrar*[18].

18 Agradezco profundamente a uno de los evaluadores anónimos por llamar mi atención sobre la distinción entre las funciones que desempeñarían las representaciones proposicionales y las visualizaciones, además de sugerirme los ejemplos que aquí menciono.

Por otro lado, en todas las disciplinas científicas, lo que se perciba depende de la formación y el entrenamiento. Las diferencias perceptivas entre un novato y un experto, a lo sumo, sólo prueban que lo que percibimos depende, en cierto grado, de nuestro conocimiento previo, de los marcos conceptuales desde los cuales realizamos las observaciones y de nuestra formación. Sin embargo, las premisas anteriores no apoyan la tesis de que dicho conocimiento sea de naturaleza no-proposicional. En efecto, en los estudios filosóficos sobre la naturaleza de las ciencias empíricas se ha examinado con detenimiento esa cualidad de la percepción científica (*i.e.*, que lo que un científico percibe depende, en parte, de su formación y entrenamiento[19]), por lo que no es en modo alguno una cualidad de la percepción científica exclusiva de los ingenieros. En sus estudios sobre el progreso de la ciencia natural, Kuhn (1962/1996) —siguiendo a Hanson (1958)— recurre a los siguientes casos en defensa de la tesis de la carga teórica de las observaciones:

> Al mirar el contorno de un mapa, el estudiante ve líneas sobre un papel, mientras que el cartógrafo ve una fotografía de un terreno. Al examinar una fotografía de una cámara de burbujas, el estudiante ve líneas interrumpidas que se confunden, mientras que el físico ve un registro de sucesos subnucleares que le son familiares. (Kuhn, 1996, p. 177)

Con base en lo anterior, lo que quiero sugerir es que, si tanto científicos puros como aplicados disponen de un conocimiento que requiere ser visualizado, y que en el camino a la preparación científica hay diferencias perceptivas entre novatos y expertos, ello no prueba que se trata de un conocimiento no-proposicional, ya que tales diferencias también tienen lugar en las ciencias básicas y, como es bien sabido, el conocimiento que las caracteriza es principalmente de naturaleza proposicional.

Adicionalmente, recordemos la imagen del circuito eléctrico indicada antes (figura 1): lo que la imagen representa sí que puede ser expresado —y articulado— a partir de proposiciones. Por ejemplo, los puntos A, B, C, D y E son nodos (un nodo es un punto donde dos o más componentes tienen una conexión común). R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 y R_6 son resistencias (una resistencia es un componente electrónico que se opone al flujo de corrien-

---

Este, sin lugar a dudas, es un asunto que requeriría un análisis posterior más detallado en otro manuscrito.

19 En la literatura se le conoce como *tesis de la carga teórica de las observaciones* y fue defendida por Popper (1972), Hanson (1958) y Kuhn (1962/1996).

te; su unidad de medida es el Ohmio). I es una fuente de corriente directa o continua e indica hacia qué sentido se dirige la corriente. E_1 y E_2 son fuentes de voltaje de corriente directa o continua[20].

Ahora, pese a que, en efecto, lo que la imagen representa puede ser expresado en proposiciones, *una versión más fuerte del argumento* podría reclamar que la imagen en sí misma no contiene proposiciones, y que así como el cuadro del pintor francés Géricault, "La balsa de la Medusa", representa un naufragio, esta en sí misma no contiene proposiciones.

Para ofrecer una réplica a la versión fuerte del argumento del conocimiento visualizado, podemos señalar que, en la literatura filosófica, se ha reconocido —y examinado— el papel que juega este *qua* conocimiento intuitivo en los descubrimientos científicos.

En el análisis de los descubrimientos en las ciencias, no es infrecuente encontrar alusiones a "la iluminación súbita", o a la "intuición", gracias a la cual se realizan de golpe rápidas conquistas en la ciencia, que se produce generalmente, no durante una fase de trabajo asiduo, sino más bien durante un período de reposo o distensión —y que es una suerte de reorganización espontánea de las ideas—.

A partir de lo anterior, podemos señalar que sí hay variantes de conocimiento no-proposicional, *e.g.*, el conocimiento intuitivo (o tácito, para emplear el término del epistemólogo Polanyi) y el conocimiento visualizado[21]. Sin embargo, de ahí no se sigue que *todo* el conocimiento tecnológico es no-proposicional. A lo sumo, es lógicamente admisible concluir que una parte del conocimiento tecnológico es no-proposicional. Pero incluso lo mismo se puede concluir de las ciencias básicas. Dicho en otras palabras, el conocimiento intuitivo —o aquel que se aprehende con los ojos de la mente— no es propio —o *sui generis*— de la tecnología. De hecho, Kuhn ya había reparado, en su célebre *The Structure* (1962/1996), en el "cono-

20 Agradezco al estudiante de Administración de Sistemas Informáticos, Carlos Esteban Gaviria, este análisis en términos proposicionales.

21 Podríamos decir que, si bien todo conocimiento intuitivo-visualizado (*e.g.*, la iluminación súbita en un descubrimiento) puede corresponder a lo que en la literatura se conoce como "contenido no conceptual o proposicional", no todo conocimiento visualizado intuitivo es no conceptual, dado que el conocimiento que una ingeniera electrónica visualiza al representar un circuito eléctrico sí que está precedido —como vimos— de un conocimiento proposicional sofisticado, o de un *saber qué*. Podríamos considerarla como una visualización con carga teórica.

cimiento intuitivo" o visualizado que tiene lugar en los descubrimientos científicos —en las ciencias básicas—:

> Scientists then often speak of the "scales falling from the eyes" or of the "lighting flash" that "inundates" a previously obscure puzzle, enabling its components to be seen in a new way that for the first time permits its solution. On other occasions the relevant illumination comes in sleep. (Kuhn, 1996, pp. 122-123)

De lo anterior, se sigue que si también hay conocimiento intuitivo (tácito) y visualizado en las ciencias básicas, entonces resulta apresurado concluir que, en aquellos dominios donde hay conocimiento intuitivo, tácito o visualizado, dicho conocimiento no puede ser explicado por la fórmula de Platón. Tal vez haya que advertir que dicha fórmula no lo explica en *su totalidad*, ya que el conocimiento tecnológico contiene —al igual que las ciencias básicas— otras variantes de conocimiento no-proposicionales.

Consideremos, a continuación, los argumentos que De Vries ofrece para sostener que el conocimiento tecnológico no se puede evaluar en términos de verdad o falsedad. Recordemos que, según *el argumento de los juicios de valor*, De Vries sostiene que si los juicios que profiere un ingeniero no tienen como condiciones de adecuación la verdad o la falsedad, porque son fundamentalmente juicios valorativos, entonces la definición tripartita falla porque demanda dos condiciones que el conocimiento tecnológico no satisface, a saber: la verdad y la justificación.

Una manera de formular caritativamente lo que De Vries quiere defender allí podría ser expresándolo en los términos evidentemente realistas en los que Bunge aboga por una idea similar. En su opinión, la tecnología tiene una orientación hacia los valores que contrasta con la falta de color axiológico de la ciencia básica. En esta última no se evalúan los objetos de estudio sino las herramientas de investigación (*e.g.*, técnicas de medición o de cálculo) y sus resultados (*e.g.*, datos y teorías). Una teoría sobre la luna puede ser mejor (más verdadera) que otra, pero la luna no es buena ni mala. En cambio, para el técnico espacial, la luna, por estéril que sea, es buena (Bunge, 1980, p. 221). Lo anterior significa que hay una valoración inherente en el dominio de la tecnología, de la que carece, en opinión de Bunge, la ciencia básica.

Por supuesto, esta es una tesis muy discutible. En mi opinión, es falso que la ciencia básica "carezca de color axiológico". A partir de la afirmación anterior, tal vez lo que Bunge quiere decir es que el conocimiento puro es

en sí mismo benigno o es esencialmente beneficioso para la humanidad, es decir, sus intenciones son ostensiblemente benignas. Si este es el planteamiento, podría defenderse con base en un argumento que discurriría así —y que no está exento de réplicas—:

Argumento: Si el fin de la ciencia es en sí mismo bueno (dado que la ciencia busca nuestra ampliación del conocimiento de la realidad), entonces el científico puro no es responsable ni social ni moralmente de las aplicaciones potencialmente adversas de dicho conocimiento. El fin de la ciencia es en sí mismo bueno. Por lo tanto, el científico puro no es responsable ni social ni moralmente de las aplicaciones potencialmente adversas de dicho conocimiento.

Sin embargo, en contra del argumento anterior podríamos ofrecer las siguientes réplicas:

Réplica 1: Es falso que la ciencia carezca de color axiológico, dado que en la ciencia no sólo operan valores epistémicos, tales como la precisión, la simplicidad, el poder predictivo y explicativo, sino que además operan valores morales, entre ellos, que los científicos deban atenerse estrictamente a la evidencia, incluso si contradice algunas de sus creencias más queridas. Hay muchos ejemplos paradigmáticos en la historia de la ciencia: Kepler es uno de los científicos que mejor encarnó el espíritu crítico del científico pese a sus convicciones religiosas.

Réplica 2: Entre 1945 y 1970 los científicos puros reconocieron las implicaciones potencialmente adversas de algunos de sus trabajos, entre ellas, las aplicaciones militares del conocimiento derivado de la física y la química teóricas. Consideremos, por ejemplo, la participación de Oppenheimer en el proyecto Manhattan, o de Fritz Haber quien a partir de sus investigaciones con gases venenosos se hizo merecedor del no honroso título de ser el "padre de la guerra química". De manera que, si el conocimiento puro es aplicable al dominio de la acción tecnológica, podemos retrotraer la evaluación moral que se exige a la ciencia aplicada al dominio de la ciencia básica de cuyos principios es la aplicación.

Ahora bien, tanto en el dominio del conocimiento tecnológico como en el dominio de la ciencia pura podemos distinguir el nivel ontológico del evaluativo o valorativo. Si aceptamos que, en el nivel ontológico, la ciencia pura busca la explicación de los fenómenos naturales, mientras que la tecnología busca el modo de interferir y modificar el mundo natural, creo que ello nos permite conceder también que en la tecnología es posible proferir afirmaciones libres de valoraciones, con base en las cuales se trata de expre-

sar, de hecho, cómo tiene lugar dicha intervención en el mundo natural. Por ejemplo, es perfectamente posible decir: "El martillo es una herramienta diseñada para percutir y golpear una pieza causando su desplazamiento…", en lugar de decir que el martillo *es una buena* herramienta para clavar una puntilla en un trozo de madera —tal y como lo sugiere De Vries en su ejemplo—. En el dominio de la tecnología aeroespacial hay numerosas afirmaciones que describen —sin juicios de valor— cómo las aeronaves, por ejemplo, son puestas en órbita: "El cohete cruza la atmósfera a través de todas sus capas hasta llegar a un punto en que la densidad es tan baja que se acerca al vacío".

Finalmente, De Vries sostiene que el conocimiento tecnológico no es compatible con la definición canónica del conocimiento ya que el tipo de actitudes proposicionales que caracterizan el conocimiento tecnológico no son las *creencias*, sino las *aceptaciones*, las cuales desempeñan un rol importante en el razonamiento práctico. Con base en lo anterior, tenemos que el conocimiento tecnológico no satisfaría la primera condición estipulada en la definición canónica, *i.e.*, que el sujeto tenga *creencias*.

Sin embargo, hay características bastante problemáticas en el contraste entre creencias y aceptaciones. En particular, resulta controversial la afirmación de que, a diferencia de las creencias, que son involuntarias, las aceptaciones son voluntarias, ya que una vez percibimos una grieta en la superficie de un aparato, tenemos que creer que *hay una grieta en la superficie*. Sin embargo, aceptar o rechazar una regla que dice cuándo debe ser reparada la grieta para evitar posibles accidentes es un asunto de decisión. Sobre esto, De Vries (2016) afirma:

> Beliefs are involuntary, acceptances are voluntary. Once you have perceived a crack in the surface of a device, you must believe there is a crack in that surface. But accepting or rejecting a rule that says when the crack needs to be repaired in order to prevent possible accidents is a matter of your own decision. (p. 27)

Si bien es prolija la literatura en la que se defiende que las aceptaciones se distinguen de las creencias, el tratamiento de De Vries sobre el asunto conduce, *prima facie,* a las siguientes dos dificultades. La primera dificultad estriba en que no distingue entre el contenido de la percepción, del contenido de las creencias y del contenido de las aceptaciones. La segunda, que aun suponiendo que se distinguiera el contenido de las percepciones, del de las creencias y de las aceptaciones, si es cierto que para evaluar lo apropiada que pueda ser o no una creencia recurrimos a consideraciones pragmáticas (*e.g.*, la apuesta de Pascal), no habría una distinción sustantiva

entre creencias y aceptaciones. Si ello es así, la diferencia entre normas de evaluación epistémica y pragmática no implica una diferencia correspondiente entre estados mentales, dado que la evaluación de creencias también involucraría criterios pragmáticos (Horwich, 1991, pp. 7-8).

Para desarrollar con algo más de detalle este reparo, retomemos el ejemplo al que De Vries apela. Según el autor, un hecho que apoya la tesis de que las creencias son involuntarias estriba en que una vez percibimos una grieta en la superficie de un aparato, estamos obligados a creer que *hay una grieta en la superficie*. Sin embargo, esto podría ser controvertido, en virtud de que el contenido de las percepciones no necesariamente tiene que ser idéntico al contenido de mis creencias. Supongamos, por ejemplo, que percibo que el color de la corbata que usa el maniquí es rojo carmesí —pero me resisto a creer que realmente ese es su color, ya que por ciertas variaciones en mi ubicación y por las condiciones de luz, considero que podría ser *realmente* rojo carmín—. Tal parece ser que para creer que tal y tal es el caso, sobre la base de lo que se percibe, primero consideramos el contexto en el que se desarrolla la percepción y procuramos determinar si ella tiene lugar en condiciones normales.

Nótese, adicionalmente, que con base en su ejemplo, De Vries parece atribuir características que son propias de la percepción a las creencias. Entre ellas, que el modo como le presenta a uno la experiencia perceptual de cómo son las cosas no es algo que esté bajo nuestro control, y, en este sentido, las percepciones son sucesos sobre cuyas ocurrencias no tenemos control alguno y que la naturaleza simplemente causa. Así como no somos culpables, ni responsables de que, por nuestras condiciones fisiológicas, el espectro visible en la percepción humana no nos permita —a diferencia de las abejas y otros animales— percibir la luz ultravioleta. Las creencias, por contraste, sí que se caracterizan por ser libres. De suerte que si bien no soy responsable de percibir el remo quebrado cuando lo sumerjo dentro del agua, sí que soy responsable de creer que el remo está o no quebrado (McDowell, 1994).

De manera que no es cierto que todas las creencias sean involuntarias, dado que hay numerosos ejemplos que muestran que nuestras creencias dependen de la deliberación racional y de lo que decidimos creer, como lo ilustra el caso del remo quebrado. Sé por las leyes de la refracción que el agua es un medio más denso por el que pasa la luz, de suerte que, aunque percibo el remo como si estuviese quebrado, no está realmente quebrado, por lo cual no resulta racional creer *que esté quebrado*. Lo mismo ocurre cuando tenemos la ilusión geométrica que ocurre al percibir las líneas Müller-Lyer. Es bien

sabido que, por la disposición de las puntas, una se percibe como si tuviese mayor longitud que la otra; sin embargo, una vez hago las medidas necesarias para comparar su longitud, y me aseguro de que tienen exactamente la misma longitud, corrijo mi conclusión inicial y no creo que una mida más que la otra.

Tampoco es cierto que todas las creencias se formen a partir de la evidencia. Muchas de nuestras creencias ordinarias se derivan de prejuicios. Por ejemplo, podemos suponer que el señor Raco tiene el prejuicio de que individuos de la raza A son proclives a adquirir la enfermedad B. También podemos suponer que el señor Raco se convierte en doctor y descubre a partir de evidencia concluyente que, en efecto, sólo los miembros de la raza A adquieren la enfermedad B. Tenemos, con base en ello, que lo que *causó* su creencia original de que "los individuos de la raza A son proclives a adquirir la enfermedad B" no es lo que *justifica* dicha creencia. De igual modo, las razones que justifican su creencia inicial no la explican causalmente, ya que dicha creencia era el resultado de un prejuicio, no de la evidencia de la que pudo disponer posteriormente (un ejemplo así es ofrecido por Keith Lehrer, 1990, p. 169).

Algunas otras creencias se adquieren por ósmosis social, o se derivan de la instrucción; por ejemplo, la mayoría de mis estudiantes creen —pues así se lo enseñan la mayoría de sus profesores— que el propósito primordial de la ingeniería es la producción eficiente. Muchas de ellas no sobreviven al escrutinio riguroso de la razón.

Ahora bien, aun si los reparos anteriores no tuvieran éxito, podríamos objetar todavía que no es cierto que haya una distinción genuina entre creencias y aceptaciones, dado que para evaluar lo apropiada que pueda ser o no una creencia, recurrimos a consideraciones pragmáticas, como se puede advertir en la célebre apuesta de Pascal. Además, si es cierto que las consideraciones epistémicas son también relevantes en las aceptaciones, entonces —tal y como lo ha argumentado Horwich (1991)—, la diferencia entre normas de evaluación epistémicas y normas de evaluación pragmáticas no implica una diferencia correspondiente entre estados mentales que son evaluados. Según Horwich (1991):

> My quarrel with this reasoning is that, contrary to first appearances, no property has in fact been specified that applies to belief but not to acceptance, or *viceversa*. Beliefs are subject to various forms of evaluation. They are commonly appraised with respect to epistemic norms and are judged appropriate or not in relation to the available evidence. In addition we sometimes consi-

> der the pragmatic value of having certain beliefs. It is in this practical sense that, according to Pascal, one ought to believe in God. (pp. 7-8)

Este argumento se puede reformular de un modo más esquemático así:

(P1) Si las creencias están sujetas a varias formas de evaluación (*e.g.*, las evaluamos con base en normas epistémicas para estimar qué tan apropiadas son o no en relación con la evidencia disponible), pero a veces también consideramos su valor pragmático (*e.g.*, cuando pensamos que en virtud de su sentido práctico uno debería creer en Dios, como es la apuesta de Pascal), entonces la diferencia entre normas de evaluación epistémica y pragmática no implica una diferencia correspondiente entre estados mentales que son evaluados.

(P2) Las creencias están sujetas a varias formas de evaluación.

Por lo tanto, la diferencia entre normas de evaluación epistémicas y normas de evaluación pragmáticas no implica una diferencia correspondiente entre estados mentales que son evaluados.

El argumento de Horwich —con base en el cual se propone rebatir algunas de las tesis de van Fraassen, en el dominio de la filosofía de la ciencia— se puede dirigir con igual fuerza en contra de la propuesta que De Vries plantea: puesto que en el dominio del conocimiento tecnológico no se evalúan los estados mentales de acuerdo con normas epistémicas —como la verdad—, sino más bien sobre la base de consideraciones pragmáticas, entonces es mucho más apropiado considerar que el tipo de estados mentales que caracterizan al conocimiento tecnológico se corresponde con lo que, en la literatura, algunos han llamado *aceptaciones*. Sin embargo, si la extensión del argumento de Horwich aquí es exitoso, la conclusión que De Vries infiere no se sigue.

Para concluir, en el presente capítulo he analizado los argumentos que Marc De Vries ofrece para mostrar por qué la definición tripartita del conocimiento no logra explicar la naturaleza del conocimiento tecnológico. Argumenté que, aunque quizás su planteamiento es correcto, las razones que esgrime en su defensa no son concluyentes. De manera que todavía podríamos demandar mejores argumentos para sostener que la tecnología no es: *creencia+verdad+justificación*. Ahora bien, aun suponiendo que disponemos de argumentos sólidos para defender que el conocimiento tecnológico no puede ser explicado a la luz de la definición tripartita, todavía precisaríamos una respuesta positiva a la pregunta: *¿Qué es el conocimiento tecnológico?* Esto es lo que me progongo ofrecer en el próximo capítulo.

Capítulo 2

¿Es la tecnología una forma de conocimiento?

Puede parecer apenas obvio que la tecnología es una forma de conocimiento, no sólo por el hecho de que algunas de las subáreas más reputadas de la tecnología, como las ingenierías, exigen hoy a quienes quieran dedicar sus mejores esfuerzos a estas disciplinas un entrenamiento especializado en distintas áreas del saber, sino también porque las ingenierías se cultivan (se enseña e investiga en estas áreas) en instituciones de educación superior en todo el mundo, y resulta muy difícil captar adecuadamente el valor de sus realizaciones tangibles, sin suponer que tras ellas subyace un acervo epistémico considerable que se materializa en teorías, principios, hipótesis, conceptos y afirmaciones.

Como ya lo indiqué, en este libro suscribo la tesis de Bunge (1980) y Raynaud (2018) de que las ingenierías *son parte* de la tecnología. Dicho en otras palabras, dentro del conjunto que podemos denominar *conocimiento tecnológico* está, como una de sus subáreas, la ingeniería. Sin embargo, este no es el punto de vista defendido por todos los ingenieros. El ingeniero Pablo Grech, por ejemplo, sostiene: "La práctica de la ingeniería se basa en el conocimiento de las ciencias naturales y exactas, así como en la aplicación de la tecnología. Si bien esta última está íntimamente ligada con la ingeniería, no son lo mismo" (Grech, 2001, p. 42). En contra de esta perspectiva de que habría, *prima facie*, tres dominios de conocimiento, según Grech, a saber: ciencias naturales, ingenierías y tecnología, podemos recurrir a la navaja de Ockahm

que no sólo recomienda no multiplicar los entes de manera innecesaria, sino que además señala que entre dos hipótesis explicativas es probable que la más simple sea la correcta: como Grech parece tener en mente la idea de que la tecnología es lo que los ingenieros producen, con ello terminaría por suscribir la prespectiva artefactual de la tecnología, de acuerdo con la cual la tecnología corresponde a la totalidad de artefactos. Sin embargo, dicha identificación falla porque la tecnología, como actividad compleja, también involucra a los procesos y a los agentes que intervienen en ellos.

Bunge, por su parte, sí distingue, con la precisión conceptual que caracteriza sus trabajos, entre "tecnología" e "ingeniería" al indicar: "La mayoría de los diccionarios igualan la tecnología moderna con la ingeniería. Si aceptamos esta identidad no sabremos dónde ubicar la bioingeniería, la tecnología educacional y otras disciplinas que no participan de la producción" (Bunge, 1980, p. 206). El lector advertirá que, según Bunge, la diferencia entre tecnología e ingeniería estriba, al parecer, en que la ingeniería tiene como propósito la producción industrial, mientras que no todas las ramas de la tecnología apuntan a ello. Sin embargo, creo que esto puede tener implicaciones morales desastrosas, como el mismo Bunge advierte en su análisis sobre la naturaleza de la tecnología. Si confundimos los medios y los fines en la tecnología (y yo agregaría, en la ingeniería —como una de sus partes—), ello podría servir para "justificar el lado oscuro de la tecnología" y, por extensión, "el lado oscuro de la ingeniería". De manera que bien vale la pena adoptar como ideal regulativo universal de *toda la tecnología* (y con ella, de todas las ramas de la ingeniería) la búsqueda denodada del bienestar de la humanidad, mientras que la producción industrial es sólo un medio para lograr, *inter alia,* el crecimiento económico.

Por otro lado, en un esfuerzo tímido por esclarecer la naturaleza epistemológica de subáreas de la tecnología como la ingeniería química, a partir del perfil que ofrece la Universidad Nacional de Colombia, advertimos que el ingeniero (o la ingeniera) debe estar en condiciones de *aplicar* conocimientos matemáticos, y de las ciencias físicas, químicas y biológicas, en el proceso de transformación de materias primas[22] (página web de la Universidad Nacional de Colombia; las cursivas son mías).

22 Una definición similar la ofrece Wright (2007). En su opinión: "La ingeniería química trata de *la aplicación* de la química, la física y la ingeniería en el diseño y operación de plantas para la producción de materiales que experimentan cambios químicos durante su manufactura" (p. 33) (las cursivas son mías). En la definición de los siguientes campos de la ingeniería es claro que también se suscribe *la tesis aplicacionista*: *la ingeniería*

De acuerdo con la anterior descripción, la ingeniería química es fundamentalmente *conocimiento aplicado*, de lo que se seguiría que el conocimiento, al menos en este dominio de la ingeniería, es un conocimiento parasitario de otras ciencias como la matemática, la química, la física, entre otras. Suscribir una definición como esta implica mantener lo que Raynaud (2018) denomina *tesis aplicacionista.* Sin embargo, esta tesis requiere una evaluación cuidadosa, dado que sí que hay conocimiento propio en distintas áreas de la ingeniería (y en la tecnología en general), tal y como lo sostienen algunos de los filósofos de la tecnología más conspicuos. Si ello es así, entonces la tecnología —y con ella, la ingeniería— *es más* que conocimiento aplicado. De hecho, Bunge fue uno de los primeros filósofos de la tecnología en reconocer este rasgo del conocimiento tecnológico, y por ello afirma: "La tecnología no es ajena a la teoría y no es la mera aplicación de la ciencia pura" (Bunge, 1980, p. 195). Raynaud también suscribe este punto de vista. En su opinión, "hay conceptos, leyes y teorías específicas de la tecnología" (Raynaud, 2018, p. 35).[23]

Pieter Vermaas también se muestra inclinado por esta tesis. Según él, "los ingenieros hacen más que usar o aplicar conocimiento científico. […] En la ingeniería se desarrollan formas propias de conocimiento" (Vermaas, 2013, p. 55). En este orden de ideas, Vermaas rechaza la tesis de que el conocimiento de los ingenieros se limite a encontrar aplicaciones prácticas del conocimiento acumulado por otros, y que el resultado de este esfuerzo no conduzca hacia nuevo conocimiento sobre el mundo. En otras palabras, rechaza la idea de que los ingenieros sean meros consumidores de conocimiento y no productores de formas genuinas de conocimiento.

Para apoyar sus planteamientos, Vermaas ofrece dos casos que ilustran dos formas de conocimiento propias de la ingeniería. El primer caso

---

física le brinda al estudiante una sólida formación en ciencias básicas para *aplicarlas* a la tecnología desde una perspectiva científica, a fin de buscarles solución a problemas de ciencias e ingeniería empleando métodos y procedimientos propios de la física; y de *la ingeniería eléctrica*. La ingeniería eléctrica es la rama de la ingeniería que fundamenta su análisis en los fenómenos electromagnéticos *aplicados* en la generación, transporte, distribución y uso final de la energía eléctrica, reflejado en el desarrollo de la vida moderna y el progreso del país (página web de la Universidad Nacional de Colombia; las cursivas son mías).

23 Entre los conceptos propios de la tecnología, Raynaud señala las nociones de "servomotor", "máquina", "información", entre otros. Yo agregaría conceptos como "datos", "vigas", "palancas", "organizaciones". En el lenguaje de la tradición estructuralista de la ciencia, estos términos serían T-teóricos (*i.e.*, propios de las teorías).

proviene del análisis del volumen de control, que es un método de cálculo propio de las ingenierías con aplicaciones tan versátiles como las máquinas de vapor, las hélices y las turbinas. El segundo caso se deriva de la ingeniería aeronáutica[24].

Sin embargo, este no es el punto de vista ampliamente mantenido por los filósofos de la tecnología, como bien lo reconoce Jarvie (1967): "A pesar de que nuestra era es una era tecnológica, curiosamente la tecnología no es ni generalmente reverenciada, especialmente por los intelectuales, ni es bien comprendida, ni bien estudiada" (p. 54). Como lo indiqué en la introducción a este trabajo, el hecho de que los epistemólogos hayan descuidado el análisis de la naturaleza del conocimiento tecnológico[25] se podría explicar aduciendo que no se ha considerado a la tecnología como una forma genuina de conocimiento, sino más bien como una manera de aplicarlo. Es más, el propio Jarvie, a pesar de que se esfuerza por reclamar para la tecnología un lugar en el dominio del conocimiento, no logra deshacerse del sesgo purista (*i.e.*, de la creencia con base en la cual se sostiene

24 El análisis de volumen de control es un método de cálculo ampliamente usado por ingenieros y diseñadores. A partir de este método, se puede elegir cualquier volumen espacialmente bien definido a través del cual se transmite un fluido, un flujo de calor o un trabajo. Al aplicar las leyes de la física a ese volumen y su superficie, se calculan tanto cambios internos en el volumen como en el transporte de líquidos, calor o trabajo a través de sus límites. Como se trata de un método en el que se aplican las leyes de la física, se podría pensar que no conduce a un conocimiento nuevo. Sin embargo, para Vermaas sí que conduce a nuevo conocimiento, dado que la elección en el control del volumen es de importancia crucial para los propósitos de los ingenieros, y enteramente irrelevante desde la perspectiva de la física. La importancia de dicho conocimiento se puede apreciar en las aplicaciones del método (Vermaas, 2013, p. 57). El segundo caso proviene de la ingeniería aeronáutica. Entre las especificaciones técnicas en el proceso de diseño, los ingenieros enfrentaron varios desafíos, entre ellos, convertir las percepciones subjetivas de los pilotos en especificaciones concretas, especialmete las concernientes a la sensación de estabilidad y maniobrabilidad de la aeronave. Los ingenieros lo resolvieron a partir de la introducción de una especificación técnica: e*l gradiente de fuerza de adherencia* (*stick-force per g*), que es la fuerza requerida para cambiar el factor de carga de la aeronave en una cantidad determinada. Este conocimiento no es simplemente deducido del conocimiento físico sobre el diseño. Dicha especificación no es física, *es técnica* (Vermaas, 2013, p. 59).

25 Conviene hacer una aclaración, ya que aquí me refiero categóricamente a *la tecnología* y no a *la técnica*. La técnica sí ocupó la atención de los filósofos antiguos. Platón y Aristóteles adelantaron las primeras reflexiones sobre la distinción entre ***epistêmê*** (o ciencia) *y* ***technê*** (o arte). Remito al lector interesado al libro VII de *Republic* (514b-540c) de Platón, y a la *Nichomachean Ethics* (6.15-6.71) y a *Metaphysics* (Book A (I) de Aristóteles.

que el conocimiento más excelso proviene exclusivamente de la actividad intelectual, por lo que aquel que esté íntimamente involucrado en asuntos prácticos corresponde a una categoría inferior y ha de ser despreciado) que se mencionó en la introducción, ya que sorprendentemente no le concede estatus de conocimiento a *la ingeniería*:

> […] Por el momento no quiero hablar de ingeniería ni de mantenimiento, ya que parecen asuntos tan puramente prácticos que no suscitan la pregunta sobre su estatuto como conocimiento. (Jarvie, 1967, p. 56)

Con todo, aquí podemos recurrir al análisis que ofrece Bunge, ya que muestra con claridad el vínculo entre tecnología e ingenierías. De acuerdo con el filósofo argentino, si bien toda ingeniería es una tecnología, no toda tecnología es una ingeniería. Justamente por ello, Bunge considera equivocada la identificación que hacen los diccionarios —tal y como lo indiqué en la nota 19— de la tecnología moderna con la ingeniería. Para soslayar estas dificultades[26], Bunge propone la siguiente clasificación (tabla 2), de acuerdo con los distintos tipos de tecnología.

Ahora bien, como estoy convencida de que no debemos excluir la tecnología —y con ella, por supuesto, a la ingeniería— del dominio del conocimiento, en este acápite explicaré las razones que permiten caracterizar la tecnología como una actividad compleja que tiene la siguiente estructura epistémica: (i) involucra un *saber qué* (*i.e.*, comprende conocimiento proposicional o teórico), y un *saber cómo* (conocimiento práctico); (ii) aunque el conocimiento tecnológico es la combinación de estos dos tipos de saberes, ellos son distintos en naturaleza y son dependientes; (iii) el conocimiento tecnológico es metódico, *i.e.*, se caracteriza porque tiene la estructura típica de la investigación racional; (iv) finalmente, la tecnología es, al igual que la ciencia, un producto cultural y falible.

26 Además, propone la siguiente definición de la tecnología: "Un cuerpo de conocimiento es una tecnología si y solamente si:

(i) Es compatible con la ciencia coetánea y controlable por el método científico, y

(ii) Se lo emplea para controlar, transformar o crear cosas o procesos, naturales o sociales" (Bunge, 1980, p. 206).

Tabla 2. Ramas de la tecnología

Materiales	Sociales	Cognitivas	Generales
Físicas (ingeniería civil, eléctrica, electrónica, nuclear y espacial) **Químicas** (inorgánica y orgánica) **Bioquímicas** (farmacología, bromatología) **Biológicas** (agronomía, medicina, bioingeniería)	**Psicológicas** (psiquiatría, pedagogía) **Psicosociológicas** (psicología industrial, comercial y bélica) **Sociológicas** (sociología y politología aplicadas, urbanismo, jurisprudencia) **Económicas** (ciencias de la administración, investigaciones operativas) **Bélicas** (ciencias militares)	**Informáticas** (*computer sciences*) **Inteligencia artificial**	**Teorías de sistemas** (teorías de autómatas, teoría de la información, teorías de los sistemas lineales, teoría del control, teoría de la optimización, etc.)

Fuente: elaboración propia.

Para defender esta propuesta, voy a examinar la posición que mantiene Ian Jarvie (1967) sobre la naturaleza del conocimiento tecnológico, motivada por el hecho de que, entre los filósofos de la tecnología, él es quien con mayor agudeza argumenta a favor de un lugar para la tecnología en la estructura lógica de nuestro conocimiento. A pesar de que comparto el planteamiento central de Jarvie, considero que su postura desemboca en la defensa de un *intelectualismo* que enfrenta serias objeciones epistemológicas. Por esta razón, no me limitaré a evaluar las virtudes de su propuesta, sino que además ofreceré un defensa *anti-intelectualista* de la naturaleza del conocimiento tecnológico, que no adolezca de las debilidades que afectan sus planteamientos.

La estructura del conocimiento tecnológico: intelectualismo vs. anti-intelectualismo

En su obra *Technology and the Structure of Knowledge* (1967), Ian Jarvie sostiene la tesis de que la tecnología forma parte de la estructura lógica de nuestro conocimiento, en conjunción con la tesis más controversial de que

el *saber cómo* es mucho más intelectual de lo que le parece a Ryle (1949). En su opinión, el conocimiento tecnológico, entendido como un tipo de *saber cómo*, consiste, además, en *saber qué funciona*.

Para comprender la fuerza de este planteamiento, es necesario remontarnos, nuevamente, a la célebre distinción que hace Gilbert Ryle en su *The Concept of Mind* entre *saber qué* y *saber cómo*, de acuerdo con la cual estos saberes corresponden a dos tipos de conocimiento de distinta naturaleza e independientes. Mientras el *saber qué* se refiere a nuestro conocimiento proposicional, el *saber cómo* se instancia a partir de nuestras habilidades y disposiciones. A la tesis que plantea que el *saber qué* y el *saber cómo* son dos tipos de conocimiento distintos e independientes se le conoce en la literatura epistemológica como *anti-intelectualismo*. Por contraste, la tesis que plantea que el *saber cómo* es solo una forma de conocimiento proposicional se suele clasificar bajo la etiqueta, acuñada por el propio Ryle, de *intelectualismo*.

Jarvie no se declara a sí mismo explícitamente como un partidario ni del intelectualismo ni del anti-intelectualismo. Incluso pareciera, *prima facie*, suscribir la distinción de Ryle, cuando afirma:

> El profesor Gilbert Ryle de la Universidad de Oxford ha trazado una distinción entre dos sentidos de la palabra *saber: saber como* hacer algo y *saber que* algo es el caso. Sabemos *que* vivimos en un plantea ovoide a millones de km del sol, con ciertos períodos de rotación, junto con muchos otros planetas, etc. Podemos saber como atar un nudo, nadar de pecho o conducir una motocicleta, sin ser capaces de articular este conocimiento o explicar qué es lo que sabemos cuando sabemos cómo hacer estas cosas. (Jarvie, 1967, p. 54)

Aunque en este pasaje Jarvie (1967) parece admitir que la distinción está bien motivada, un par de párrafos más adelante sostiene:

> Argumentaré que el *saber como* ciertamente no es suficiente por sí mismo, aunque tampoco puede ser despreciado. Me parece que el *saber como* es más intelectual de lo que Ryle reconoce. Pero lo que es esencial es que el *saber como* sin el *saber que*, o el *saber que* sin el *saber como* es seriamente deficiente. Tanto el saber que, como el saber como, son partes indispensables del conocimiento humano. (p. 54)

Más adelante sostiene: "El *saber como* es, en cambio, *saber lo que funciona*, saber cómo hacer cosas en una pequeña parte de ese mundo" (Jarvie, 1967, p. 54; las cursivas son mías). De acuerdo con los pasajes anteriores —y aplicando plenamente el principio de caridad—, encuentro que los planteamientos de Jarvie son compatibles con el intelectualismo por dos razones.

La primera razón estriba en que considera que el *saber cómo* es una especie de *saber qué*, *i.e.*, saber qué cosas funcionan. Con ello suscribe lo que todo intelectualista típicamente mantiene: el *saber qué* y el *saber cómo* no son dos tipos de conocimiento radicalmente distintos. La segunda es que Jarvie se propone unificar el *saber qué* y el *saber cómo*. La vía que parece adoptar aquí es la de hacer del *saber cómo* un tipo de *saber qué*.

Para esclarecer la naturaleza de este vínculo, consideremos uno de los argumentos que Jarvie ofrece para justificar la tesis de que la tecnología es una forma genuina de conocimiento:

(P1) Si la tecnología es un *saber cómo* que se refiere a lo que funciona en el mundo, entonces la tecnología es una forma genuina de conocimiento.

(P2) La tecnología es un *saber cómo* que se refiere a lo que funciona en el mundo. Por lo tanto, la tecnología es una forma genuina de conocimiento.

Este no es el único argumento que Jarvie ofrece para justificar la tesis de que la tecnología es una forma genuina de conocimiento. En su defensa, ofrece dos argumentos más. A partir de una vía indirecta, responde a dos argumentos que apoyarían la tesis contraria, *i.e.*, la tesis que afirma que la tecnología no es conocimiento. El primer argumento parece partir del supuesto —por demás correcto, según la tradición filosófica— de que todo conocimiento genuino es conocimiento de lo verdadero, y puesto que en la tecnología no interesa la verdad sino la efectividad, la tecnología no es —como consecuencia— una forma genuina de conocimiento. Es más, el argumento que Jarvie ataca recurre a una variante del argumento que consideraremos en el siguiente capítulo y en el que se arguye que lo efectivo no está necesariamente vinculado a la verdad. Pensemos, por ejemplo, en la efectividad[27] de una astronomía basada en la tierra para el agricultor o para el navegante a mar abierto —sin instrumentos— y cuya guía son las estrellas y las constelaciones[28]. De manera que X puede ser efectivo en su capacidad de resolución de problemas, por ejemplo, sin ser necesariamente verdadero. Si ello es así, la tecnología realmente no proporciona conocimiento. Jarvie (1967) sostiene:

---

27 Es necesario aclarar que es Jarvie quien pasa indistintamente del término "efectivo" a la noción de "efectividad", por lo que parece legítimo suponer que, a su juicio, no hay una distinción substancial entre estos dos términos.

28 Pero incluso podemos considerar el caso de instrumentos tecnológicos (completamente funcionales) diseñados con base en teorías falsas. Acá, nuevamente la astronomía nos suministra los mejores ejemplos: astrolabios, sextantes, esferas armilares, relojes de sol, entre otros.

> Este argumento se propone mostrar las diferencias tajantes que se derivan de una actividad cuyo propósito es la efectividad, mas no la verdad. Lo que es efectivo puede ser verdadero, o puede ser falso. La mecánica celeste newtoniana es una herramienta de navegación muy efectiva que ha sido superada en la ciencia por la mecánica relativista einsteniana. (p. 55)

La réplica que Jarvie ofrece a este argumento también revela sus compromisos con el intelectualismo. En su opinión, en el dominio de la tecnología farmacéutica, por ejemplo, el conocimiento tecnológico no sólo consiste en *saber cómo* hacer que X medicamento sea efectivo para curar una enfermedad Y, sino que también es *conocimiento de lo que es efectivo*. Ahora, puesto que *saber qué* X medicamento es efectivo puede ser verdadero o falso, Jarvie deriva la conclusión de que el conocimiento de *lo que* es efectivo es también conocimiento de la verdad así sea en un nivel lógico distinto. El conocimiento tecnológico es conocimiento verdadero de *lo que* es efectivo, aún cuando no indique *por qué* es efectivo, *i.e*, aunque no sea explicativo (Jarvie, 1967, p. 55).

El segundo argumento que Jarvie rechaza, y que pretende establecer que *la tecnología no tiene lugar en el conocimiento*, se puede formular como sigue:

(P1) Si la tecnología es una herramienta (ya sea que la identifiquemos con los artefactos que el inventor inventa, ya sea que corresponda a lo que el científico aplicado hace para mostrar como una teoría explica), entonces la tecnología no tiene lugar en el conocimiento.

(P2) La tecnología es una herramienta. Por lo tanto, la tecnología no tiene lugar en el conocimiento.

Sin embargo, según sus planteamientos, un argumento así falla irremediablemente porque si bien es cierto que, por ejemplo, un cincel no puede ser conocimiento (porque es una cosa o un objeto[29]), una pieza de

29 Otra manera de responder a este argumento sería recurriendo a la teoría de los tres mundos de Popper, según la cual hay un sentido en el que herramientas y artefactos podrían ser considerados como "conocimiento incorporado", en tanto están respaldados por datos y teorías. También la epistemología material de Baird (2004) plantea que los artefactos tecnológicos no sólo generan, sino que también *expresan* conocimiento. En opinión de Baird, se trata de un conocimiento basado en objetos, no en creencias, tal y como lo plantea la teoría canónica. La epistemología material de Baird es, sin lugar a dudas, y en comparación con esta última, tremendamente heterodoxa: los instrumentos tecnológicos (*e.g.*, el motor eléctrico de Faraday) son conocimiento *syss* funciona: "I call this kind of knowledge 'working knowledge'. When we have

conocimiento sí puede ser una herramienta. Un ejemplo que ilustra la idea anterior es la célebre ecuación de Einstein, $E=mc^2$, la cual se usó para diseñar una bomba atómica. De hecho, es una herramienta que el hombre usa para incrementar su poder sobre el entorno (Jarvie, 1967, p. 60).

En el análisis del lugar de la tecnología en la estructura del conocimiento, Jarvie considera que la tecnología es: (i) un *saber cómo* que corresponde a un tipo especial de conocimiento dado que no sólo involucra la invención de artefactos[30], además consiste en *saber qué funciona*; (ii) aunque el propósito de la tecnología es la efectividad, esta también guarda un vínculo con la verdad; (iii) la ciencia y la tecnología son saberes de distinta naturaleza: las leyes de la ciencia establecen los límites de lo que es físicamente posible. Dentro de estos límites hay variaciones contingentes conectadas estrechamente con la tecnología. Lo que la tecnología hace es explorar y explicar los detalles finos de los hechos de nuestro mundo. Ello significa que la tecnología abarca —o subsume— a la ciencia aplicada, la invención y la ingeniería (Jarvie, 1967, p. 58).

El análisis que Jarvie ofrece sobre la naturaleza del conocimiento tecnológico tiene varios méritos. En primer lugar, concede un lugar a la tecnología dentro de la estructura del conocimiento humano. En segundo lugar, rechaza la identificación de la tecnología con los artefactos y con el *saber-cómo simpliciter.* Finalmente, hay otro planteamiento con el que estoy de acuerdo, y que motiva la tesis que defenderé en el siguiente capítulo, a saber: que la tecnología sí guarda un vínculo con la verdad.

Para apreciar la originalidad del análisis de Jarvie, examinemos con más detenimiento sus planteamientos. En lo que concierne a (1), este es, sin lugar a dudas, un planteamiento provocador, dado que cuando los fi-

---

made an instrument to do something in a particular way and it does it successfully and reliably, we say the instrument works. It is *working knowledge"* (p. 12).

30 En su opinión, "inventar" es descubrir la manera de hacer algo que sabemos que es posible. Esta definición es bastante discutible, dado que no es claro que supieramos que *era posible* viajar a velocidades supersónicas o comunicarmos en tiempo real con personas ubicadas en otras partes del planeta, y sin embargo, inventamos dispositivos que permitieron hacer realidad ambas cosas; podemos conceder, por supuesto, que la invención es, como acertadamente lo afirma Jarvie, producto del ingenio y la intuición. Los inventos no se restringen al dominio de la tecnología, también hay invención en la ciencia pura, la cual consiste en el diseño de experimentos para evaluar teorías (Jarvie, 1967, p. 56). Voy a adelantar un análisis más detallado sobre la naturaleza de la invención (o de los descubrimientos técnicos) en el último capítulo de este trabajo.

lósofos de la tecnología recurren a la distinción de Ryle entre *saber qué* y *saber cómo* para esclarecer la naturaleza del conocimiento tecnológico, suelen identificar a la tecnología con el saber-cómo *simpliciter*[31]. Sin embargo, Jarvie sostiene que la tecnología *qua saber-cómo* es más intelectual de lo que comúnmente se cree. El conocimiento tecnológico consiste además en *saber qué funciona*. Como Jarvie no ofrece ningún ejemplo que sirva para ilustrar lo que tiene en mente, recurramos al diseño de la máquina de vapor.

Cuando James Watt diseñó la máquina de vapor, podemos afirmar sin temor a equivocarnos que no sólo *sabía cómo* combinar todos los elementos que componen la máquina, tales como la caldera, el cilindro, el pistón, las ruedas de transmisión, etc., sino que también *sabía que* su principio motriz funcionaba; *i.e.*, *sabía que* el vapor era un medio eficaz para elevar el agua de las galerías de las minas de carbón. En otras palabras, conocía el principio de expansión del vapor[32]. Además, *sabía que* su funcionamiento se daba a partir del calentamiento del agua gracias al fuego, y que el vapor del agua subía por las tuberías y empujaba el pistón hacia arriba y hacia abajo. *Sabía que* dicho movimiento generaba, a su vez, el movimiento de la rueda de transmisión que transfería el movimiento hacia otros mecanismos. En síntesis, *sabía que* era posible transformar la energía térmica del vapor del agua en energía mecánica. *Prima facie*, este conocimiento es proposicional. No es contraintuitivo imaginar que los ingenieros profirieran afirmaciones del siguiente tipo: si calientas el agua de la caldera y el vapor sube por las tuberías, entonces el vapor empuja el pistón hacia arriba y hacia abajo; y así sucesivamente, hasta lograr una descripción completa y detallada del

31 Tal y como lo vimos en el acápite anterior, esta es la posición de Marc De Vries (2016) y de De Vries y Meijers (2013); también aparece en Vermaas (Vermaas *et al.*, 2013). El lector recordará que en el primer capítulo argumenté que De Vries ofrece una suerte de caricaturización del conocimiento que requiere un ingeniero, ya que en su opinión el conocimiento que un ingeniero posee es equiparable al que tendría un carpintero: "There is technological knowledge that cannot be expressed properly in propositions. When a carpenter says that he knows how to hit the nail at exactly the right spot in order to make it go straight into the wood, he probably cannot tell that in words. He will rather say something like: 'well, I just know that; I do not know exactly how, but I just feel how to do it'. Gilbert Ryle, based on this sort of considerations, has defined a distinction between knowing-that and knowing-how" (De Vries, 2016, p. 25).

32 De hecho, según los registros históricos, el poder expansivo del vapor se conocía desde la antigüedad clásica. Aproximadamente en el siglo I a.C, el inventor Herón de Alejandría construyó la eolípila: una máquina constituida por una cámara de aire, con tubos por donde se expulsaba el vapor. La fuerza resultante de esa expulsión hacía que el mecanismo comenzara a girar (Hunt, 2010).

funcionamiento de la máquina[33]. Sin embargo, el análisis de Jarvie sobre este planteamiento es muy exiguo, de manera que no es claro cuál es su opinión sobre el vínculo entre el *saber cómo* y el *saber qué* funciona.

Por otro lado, es controversial la tesis que afirma que el conocimiento de la efectividad es también conocimiento de la verdad, aún cuando no indique por qué es efectivo (*i.e.*, no es explicativo). Como espero mostrar en el siguiente acápite, comparto la tesis de Jarvie de que la tecnología guarda un vínculo con la verdad; sin embargo, es muy discutible la afirmación de que no hay explicaciones en el dominio de la tecnología. En el próximo apartado argumentaré que la teoría de placas —que es formulada en el campo de la ingeniería estructural— explica, *inter alia,* las causas de la deformación de placas y láminas hasta formular un conjunto de hipótesis cinemáticas capaces de dar cuenta de las causas por las cuales se deforma una placa o una lámina bajo flexión. La teoría de placas no es la única teoría en el dominio de la tecnología, el ingeniero ruso Jourawski también empleó una fórmula para calcular tensiones en vigas de madera, con base en la cual se podía predecir que:

- La tensión en el cordón superior y el inferior es cero.
- La tensión cortante en la línea neutra de la pieza (coincidente con el centro de gravedad) suele ser máxima.

33 Creo que es necesario clarificar aquí el alcance de mi planteamiento, ya que, aunque sostengo que Watt conocía muy bien el poder expansivo del vapor, y que ello corresponde a un *saber qué funciona*, no estoy afirmando que tenía el conocimiento articulado de las leyes que gobiernan el funcionamiento de la máquina y que décadas después proporcionarían Carnot, Lord Kelvin y Clausius con la formulación de la termodinámica. Este hecho histórico es el que justamente ha motivado el rechazo de la identificación de la tecnología con la ciencia aplicada. No considero que este caso brinde razones contundentes para rechazar el conocimiento científico como una *conditio sine qua non* de la tecnología, valdría la pena considerar el conocimiento científico del que se disponía cuando Watt patentó la máquina de vapor (1769) dado que, para entonces, los llamados químicos pneumáticos habían acumulado un conocimiento bastante fecundo sobre la presión atmosférica y el vacío. Adicionalmente, resulta muy llamativo que Watt consultara —durante el tiempo en que estuvo en la Universidad de Glasgow— al médico y químico Joseph Black acerca de sus investigaciones sobre "el calor latente" que parecía ser absorbido cuando el agua se evaporaba (Hunt, 2010, p. 9). Por otro lado, en otros trabajos de mi autoría (Flórez, 2019; Flórez, 2024, *forthcoming*) argumento que Watt sí que disponía de una teoría científica articulada, previa al diseño de la máquina de vapor, a saber: la teoría material del calor, que suscribió junto a su maestro Joseph Black.

Como es bien sabido, las explicaciones desempeñan una doble función en la ciencia. Por un lado, establecen conexiones causales entre fenómenos. Por otro lado, indican las condiciones bajo las cuales ocurriría un fenómeno. De manera que no sólo es posible hacer predicciones en el dominio de la tecnología, sino que es perfectamente razonable pensar que las condiciones que anticipa (por ejemplo, las tensiones a las que se puede someter una viga de madera) también explican por qué se deforman dichas vigas.

Adicionalmente, según Jarvie la tecnología comprende la ciencia aplicada, la invención y la ingeniería (Jarvie, 1967, p. 58). Semejante afirmación es muy llamativa por dos razones. La primera es que en la literatura filosófica hay quienes distinguen entre tecnología y ciencia aplicada. Entre ellos, Feibleman (1983) y Skolimowski (1966). La segunda razón es que la tecnología subsumiría a la ciencia aplicada, a la invención y a la ingeniería. A juicio de Jarvie, *la ciencia aplicada* consiste en hacer deducciones de las teorías científicas con la ayuda de enunciados auxiliares. De manera que comprende las observaciones deducibles de las teorías (*e.g.*, que la configuración de las estrellas conforma tal o cual patrón). Esta definición no difiere radicalmente de la que ofrece Feibleman, quien considera que la ciencia aplicada es un sistema concreto de interpretaciones de las proposiciones científicas dirigido a algún fin humano. Sin embargo, mientras para Feibleman la tecnología y la ciencia aplicada son distintas en naturaleza, Jarvie subsume la ciencia aplicada en la tecnología.

Una vez ponderados los méritos de los planteamientos de Jarvie sobre el lugar de la tecnología en la estructura lógica de nuestro conocimiento, argumentaré por qué es filosóficamente más promisorio caracterizar la estructura del conocimiento tecnológico en términos de la combinación de un *saber qué* y un *saber cómo*. Estas dos formas de saber son distintas en naturaleza, pero dependientes, *i.e.*, el saber cómo (diseño) depende del saber qué (teorías, leyes). Dicho en otras palabras, aquí suscribo y defiendo, en conjunción con esta estructura epistémica, la célebre ecuación que identifica a la tecnología con la ciencia aplicada. Ello permite explicar por qué hay evidencia en la que los diseños tecnológicos son la aplicación de conocimiento científico previo. Por ejemplo, en el siglo XIX se aplicó por primera vez la primera ley de la termodinámica en el diseño del motor de combustión interna; la radio aparece mucho después de que Maxwell desarrollara las ecuaciones de propagación de las ondas electromagnéticas; la bomba atómica se diseñó después de que Einstein formuló su famosa ecuación: $E=mc^2$ (Grech, 2001, p. 43).

¿Qué es la tecnología?

Una de las dificultades con la que tropieza el epistemólogo de la tecnología en su tarea de examinar la naturaleza de la tecnología consiste en que hay un número abigarrado de definiciones del término *tecnología*. Raynaud (2018) contrasta algunas de las definiciones que se han ofrecido, remontándose a 1777, cuando Johann Beckmann define *la tecnología* como "la ciencia de las técnicas, estudio sistemático de los procesos, métodos, instrumentos o herramientas específicos para uno o varios campos técnicos, artes y profesiones". Para Haudricourt es "el estudio científico del conjunto de técnicas en tanto que estudio de la vida material de las poblaciones". Borgman, por contraste, afirma que "la tecnología es el conjunto de dipositivos que responden a un patrón medios-fines de alcance universal"[34].

No voy a ofrecer un análisis crítico de todas las definiciones que podemos encontrar en la literatura. En lugar de ello, quisiera proponer una definición que promete brindar una comprensión de la estructura misma del conocimiento tecnológico. Consideremos cada uno de los tipos de saber que componen dicha estructura:

(i) La tecnología es una actividad compleja que involucra un *saber qué*, el cual comprende conocimiento teórico o conocimiento proposicional, que bien puede ser formulado a partir de *teorías propias* en

34 Uno de los aportes más recientes que agrupa un buen número de definiciones del concepto de "tecnología" es el ensayo de Richard Li-Hua. Allí, Li-Hua cita la definición que ofrecen Dean y Le Master (1995), quienes concuerdan en que la tecnología es "la información específica concerniente a las caracteríticas y realización de propiedades de procesos de producción y diseño de un producto". Contractor y Sagafi-Nejad (1981) describen la tecnología simplemente como "un haz de información, derechos y servicios". Maskus (2004) define la tecnología en términos de "la información necesaria para lograr cierta producción que resulta de un medio particular mediante la combinación o procesamiento de *inputs* seleccionados". Para completar estas opiniones, Karatsu (1990) considera que la tecnología es la combinación de la comprensión humana de las leyes de la naturaleza y de los fenómenos acumulados desde tiempos antiguos para hacer que las cosas se ajusten a nuestras necesidades y deseos o para desempeñar ciertas funciones. En esa misma dirección, Miles (1995) define la tecnología como el conjunto de medios por los cuales aplicamos nuestra comprensión del mundo natural a la solución de problemas prácticos. Para el propio Li-Hua (2013), la tecnología involucra cuatro elementos interrelacionados: la técnica, el conocimiento, la organización de la producción y el producto. Un análisis similar se encuentra en *What is Technology* de Stephen Kline (2007).

la tecnología, o bien, puede estar basado en el conocimiento teórico que proviene de las ciencias puras (*e.g.*, la ingeniería agronómica[35]).

(ii) Además, involucra un *saber cómo* o conocimiento práctico que comprende, *inter alia,* las habilidades para diseñar. Esta, por supuesto, no parece ser una característica distintiva de la tecnología, ya que la actividad científica también involucra *un conjunto de prácticas* que se pueden identificar con el *saber cómo*, entre ellas: contrastar y experimentar; y *entidades*, constructos o productos, tales como leyes, teorías, conjeturas, hipótesis, que parecen muy bien corresponder con *el saber qué* (o conocimiento proposicional).

Con base en lo anterior, es claro que aquí no identifico a la tecnología, en la línea que sigue la tradición filosófica, con el *saber-cómo simpliciter*. Lo que sostengo es que la tecnología involucra tanto un *saber cómo* (*i.e.,* un conocimiento práctico, como el involucrado en las operaciones de diseño, que exigen de los ingenieros todo tipo de habilidades), como un *saber qué*. Ahora bien, el *saber cómo* no se refiere solamente a las actividades de diseño. En el dominio de la ingeniería también hay experimentación[36], simulaciones, cálculos, medidas. Aunque no es controversial que se identifique a la tecnología con un *saber cómo*, sí que lo es que se identifique en su estructura el *saber qué*, o un conocimiento teórico. Ello porque se suele identificar a la tecnología como una actividad exclusivamente dirigida al diseño, mientras se identifica a la ciencia como una actividad fundamentalmente teorizadora (*i.e.*, es propiamente en el dominio de la ciencia básica donde se formulan teorías). Sin embargo, basta con mostrar que hay teorías genuinas en el dominio de la tecnología —tal y como lo haré en el siguiente apartado— para rebatir esta creencia.

Así las cosas, propongo la siguiente definición de tecnología:

X corresponde a un conocimiento tecnológico syss:

(i) involucra un *saber cómo, i.e.*, un conjunto de habilidades y destrezas necesarias para las actividades de diseño, además de las que exigen las simulaciones y los experimentos en ingeniería. En otras

35 Sobre esta ingeniería, dice Bunge (1980): "No incluiríamos en la tecnología actual una agronomía que prescindiese de la genética y de la teoría de la evolución" (p. 207).

36 Para un análisis más detallado de la experimentación en ingeniería, remito al lector interesado al texto *Introduction to Engineering Experimentation* (Wheeler y Ahmad, 1996).

palabras, la tecnología comprende un conjunto de acciones (intencionadas y no intencionadas[37]) capaces de transformar la naturaleza o la sociedad con el propósito de satisfacer nuestras necesidades o deseos. Lo anterior es posible gracias a la creación o modificación de objetos (*e.g.*, artefactos, dispositivos), estructuras o procesos.

(ii) Involucra un *saber qué*; esto es, comprende conocimiento proposicional que se caracteriza por tener distintos niveles de complejidad. Puede corresponder a: (1) saber qué funciona —teorías tecnológicas— (*e.g.*, la teoría de Pambour sobre la máquina de vapor); (2) o bien, puede ser la aplicación de los principios explicativos de una teoría formulada en una ciencia básica (por ejemplo, en el diseño de la bomba atómica se aplica, *inter alia*, el conocimiento derivado de la física de la fisión del uranio)[38]; (3) un conjunto de proposiciones tecnológicas que se formularían en las teorías o leyes tecnológicas. De estas últimas me ocuparé con más detenimiento en el tercer capítulo de este trabajo.

(iii) Aunque el conocimiento tecnológico es la combinación de estos dos tipos de saberes, ellos son distintos en naturaleza y dependientes.

Aunque en la historia de la tecnología abundan aparentemente ejemplos que ilustran que ha sido posible diseñar artefactos sin disponer de una teoría sistemática y articulada que explique su funcionamiento, lo que motiva el rechazo de la ecuación que identifica a la tecnología con la ciencia aplicada, lo cierto es que quienes han recurrido a esta supuesta evidencia histórica abrumada, o bien confunden "técnica" con "tecnología", o terminan por incurrir en anacronismos que les hace desdeñar el conocimiento científico —por muy incipiente que fuese— que precedió al diseño de tal o cual artefacto.

En mi artículo "La naturaleza de la tecnología y sus vínculos con la ciencia: una perspectiva realista y analógica" (Flórez, 2017) examiné de

37 *E.g.*, los descubrimientos serendípicos en tecnología, tales como la botella de Leyden. De este descubrimiento me ocuparé en el último capítulo de este libro.

38 Son abundantes los casos que apoyarían la tesis de que la tecnología moderna no podría progresar sin el beneficio de la ciencia (*i.e.*, sin los principios explicativos que se formulan en la ciencia básica), entre ellos la telefonía, ya que está basada en las propiedades de las ondas electromagnéticas; el motor de un auto, cuyo diseño se guía por las leyes de la termodinámica; el transporte aéreo, basado en la ley de la conservación de la energía; la televisión digital, en las leyes de la mecánica cuántica.

manera crítica la tesis que afirma que, en el desarrollo histórico de la tecnología, hay evidencia contundente que muestra que el conocimiento técnico y tecnológico precede —incluso en siglos— a las teorías y a las leyes científicas que explicarían el funcionamiento de un artefacto o que establecerían las causas del éxito de una técnica. Feibleman, por ejemplo, argumenta[39] que en la práctica médica se conocían las propiedades curativas de la efedrina[40], de la coca y de la quinina[41] mucho antes de que se desarrollara la bioquímica como una disciplina científica consolidada (Feibleman, 1983, p. 36). El argumento histórico anterior muestra que la técnica, *e.g*, la medicina empírica, va un paso adelante de la ciencia.

Feibleman nos recuerda también que el diseño de la máquina de vapor precedió en más de medio siglo a la teoría que explica su funcionamiento: "Carnot descubrió la ciencia pura de la termodinámica como resultado de sus esfuerzos por mejorar la eficiencia del vapor" (1983, p. 39). Justamente por ello es común encontrar en la literatura filosófica la afirmación de que "es más lo que la ciencia le debe a la máquina de vapor, que lo que la tecnología le adeuda a la ciencia" (Don Idhe, 2013, p. 54)[42].

En el artículo de mi coautoría, "Is Technology (still) Applied Science" (Flórez *et al.*, 2019a), examino dos casos históricos adicionales: el diseño de los molinos de viento y la técnica de los pigmentos. Los molinos de viento

39 Para un análisis crítico de este argumento y otros, véase Flórez y García (2017, pp. 63-78).

40 Que se conocía en extremo oriente como *Ma huang* y era ampliamente utilizada en la medicina tradicional china.

41 La quinina era conocida por sus propiedades curativas por los nativos americanos, pero no se incorporó al acervo cultural europeo hasta que no fueron descubiertas sus propiedades antimaláricas. Cuando los europeos trajeron la malaria a América, los nativos se dieron cuenta de que una de sus medicinas tradicionales, la quina o corteza del quino, ofrecía alivio a los síntomas de esta enfermedad. Los incas conocían las propiedades medicinales de las plantas que crecían en los Andes y en la selva amazónica, entre ellas había un árbol que producía la amarga corteza que podía curar muchas dolencias, calambres, resfríos y arritmias. La palabra quechua *quina* significa corteza, pero esta corteza de propiedades extraordinarias se conoció con el nombre de quina-quina, *corteza de cortezas*, dando así origen al nombre *quinina* (Wikipedia).

42 Derry y Williams concuerdan con Idhe. Para ellos, la máquina de vapor convierte la energía térmica en energía mecánica, y su rendimiento se rige por las leyes de la termodinámica. Estas leyes, no obstante, no fueron establecidas hasta mediados del siglo XIX y, por lo tanto, hasta entonces, en modo alguno había sido entendida la naturaleza del calor. Esta circunstancia nos recuerda una vez más que tecnología no es, de ninguna manera, sinónimo de ciencia aplicada (Derry y Williams, 1977, pp. 494-495).

se extendieron por toda Europa alrededor del siglo XII; sin embargo, algunos de los principios científicos que explican su funcionamiento, entre ellos, la dinámica de fluidos, no fueron formulados sino hasta el siglo XVIII, específicamente en 1738, cuando Daniel Bernoulli publicó sus estudios sobre hidrodinámica.

Adicionalmente, es un hecho histórico que mientras la técnica de los pigmentos es milenaria, la teoría científica que explica la estructura química de algunos pigmentos (ya que no todos son compuestos de coordinación) es relativamente reciente. La *teoría química de los compuestos de coordinación* fue formulada en 1893 por Alfred Werner, a partir de cuyas contribuciones teóricas la química inorgánica dispuso, desde entonces, de una nomenclatura sistemática de los compuestos de coordinación, entre ellos, algunos de los pigmentos sintetizados en el siglo XVIII (Flórez *et al.*, 2019a)[43].

Los casos históricos anteriores también motivan mi rechazo del intelectualismo que Jarvie suscribe. El lector recordará que Jarvie sostiene que el *saber cómo* "es mucho más intelectual de lo que Ryle creía" (Jarvie, 1967, p. 55). Dicho en otras palabras, *el saber cómo* es una forma de *saber-qué*: *saber qué funciona*. Sin embargo, Jarvie no indica a qué se refiere con la locución "saber qué funciona"; *i.e.*, no explica si se trata de un conocimiento teórico articulado y explícitamente formulado; o si se refiere al conocimiento de reglas, tal y como lo plantea típicamente el intelectualista. Para el intelectualista, el *saber cómo* es una forma de *saber-qué*, dado que, por ejemplo, saber cómo jugar al ajedrez no es otra cosa que saber usar las reglas involucradas en el juego, un conocimiento que es, en todo caso, conocimiento proposicional.

43 De ser necesario, podríamos ofrecer casos históricos de la misma naturaleza, *ad nauseam*. Con todo, uno de los ejercicios reflexivos más interesantes que he llevado a cabo en mis clases consiste precisamente en retar a mis estudiantes de ingeniería y administración a que identifiquen un caso histórico distinto de los que examinamos en la literatura, que pueda usarse para apoyar la tesis de que la tecnología avanza sin el beneficio de la ciencia. El caso histórico de los pigmentos fue planteado por el estudiante de Ingeniería Química Anthony Arango. Paula Tatiana Pantoja, estudiante de Administración de Sistemas Informáticos, propuso el siguiente caso: la brújula fue inventada mucho antes de que dispusiéramos de una teoría científica que explicara su funcionamiento. Los chinos la inventaron en el siglo IX con el propósito de ubicarse a mar abierto. Sin embargo, es bien sabido que los estudios científicos sobre el magnetismo se adelantaron siete siglos después por varios científicos destacados, entre ellos William Gilbert en su reconocida obra *De Magnete*. La explicación más sofisticada fue formulada en el siglo XIX por Maxwell en su teoría electromagnética.

Por contraste, en la caracterización que ofrezco del conocimiento tecnológico, todo lo que (ii) demanda es que sea un *conocimiento proposicional*, que bien podría ser del tipo involucrado en (a), *i.e.*, saber qué funciona, por ejemplo, separar el condensador es la solución técnica audaz que Watt propone en su diseño para aumentar su eficiencia. No obstante, dicho conocimiento no equivale a los principios científicos que explicarían exhaustivamente y de manera sistemática el funcionamiento del artefacto. Dicho en otras palabras, saber que el condensador evitaba que se tuviese que calentar y enfriar el cilindro, y que esto era justamente lo que generaba un gran gasto de vapor y de agua fría, no equivale a disponer del conocimiento científico más sofisticado del principio de conservación de la energía.

Consideremos ahora la caracteristica (iii): el conocimiento tecnológico es metódico, *i.e.*, se distingue porque tiene la estructura típica de la investigación racional.

Hay una perspectiva generalizada sobre la estructura lógica de la investigación tecnológica. Tanto filósofos como ingenieros coinciden en que la estructura lógica es hipotético-deductiva. Bunge (1980) sostiene que "la investigación tecnológica no difiere de la investigación científica". En ambos casos un ciclo de investigación tiene las siguientes etapas:

> Discernir el problema;
>
> Tratar de resolver el problema con ayuda del conocimiento (teórico o empírico) disponible;
>
> Si falla la tentativa anterior, inventar hipótesis o técnicas (o aún sistemas hipotético-deductivos) capaces de resolver el problema;
>
> Obtener una solución (exacta o aproximada) del problema con ayuda del nuevo instrumental conceptual o material;
>
> Poner a prueba la solución (p. ej., con ensayos de laboratorio o de campo)
>
> Efectuar las correcciones necesarias en las hipótesis o técnicas, o incluso en la formulación misma del problema original. (Bunge, 1980, p. 211)

Ahora bien, aunque en las universidades se suele distinguir entre las actividades dirigidas a la investigación en ingeniería —y que de acuerdo con Bunge tendría una estructura hipotético-deductiva—, de las operaciones de diseño, es llamativo que en la literaura filosófica y en los manuales de ingeniería se sostenga que la estructura lógica propia de los diseños es también deductiva. Esta perspectiva es defendida por Krick (1991) y por Quintanilla (2017).

Para Krick (1991), por ejemplo, diseñar consiste en "resolver problemas prácticos que surgen del reconocimiento de una necesidad o deseo que, en apariencia, se puede satisfacer mediante un dispositivo, una estructura o un proceso (p. 85). Un ejemplo que ilustra cómo las operaciones de diseño tienen como punto de partida un problema práctico. Por ejemplo, el diseño de un nuevo tipo de lavadora, que no mida más de 80 cm de ancho, 80 cm de fondo y 100 cm de altura. Además, debe funcionar con corriente alterna de 60 ciclos y 115 voltios, debe sobrepasar con éxito los tests de protección al usuario, y el costo no debe sobrepasar los 125 dólares. Ese nuevo prototipo tiene que poder lavar telas naturales y sintéticas. Con base en estas restricciones, Krick examina la siguiente estructura en el diseño, en el que podemos discernir desde las variables de entrada (o *inputs*) hasta las restricciones planteadas al ingeniero (por ejemplo, la seguridad para el usuario):

- *Variables de entrada*: peso de la carga (no mayor de 8 kg), tipo de tela (naturales y sintéticas).
- *Salida*: limpieza, suciedad, grado de encogimiento.
- *Variables de solución*: materiales de construcción, forma de la pieza, métodos para desprender la suciedad.
- *Criterios en el diseño*: costo, facilidad de manejo, seguridad, efectividad de limpieza, peso, ruido (Krick, 1991, pp. 85-88).

Para Quintanilla, la estructura de los diseños tecnológicos también es deductiva. De hecho, el filósofo español aprovecha la analogía entre la estructura deductiva de los decubrimientos científicos para examinar la estructura propia de los diseños. En su opinión:

> El problema del diseño técnico consiste en descubrir sistemas de acciones que nos permitan conectar situaciones de partida con objetivos deseables, de forma semejante a como en la ciencia se conectan hechos a través de estructuras teóricas (*i.e.*, se deducen hechos a partir de leyes). (Quintanilla, 2017, pp. 106-107)

No voy a controvertir aquí si hay o no una suerte de "sesgo deductivista" en el análisis de la estructura de la investigación o de las operaciones de diseño en ingeniería que han adelantado ingenieros y filósofos, ya que por los propósitos que me he trazado en este trabajo; por lo pronto, basta con mostrar que la búsqueda de soluciones técnicas en ingeniería tiene la estructura propia de la investigación racional. Sin embargo, no sobra decir

que, para trabajos posteriores, bien valdría la pena examinar si la investigación en ingeniería y las operaciones de diseño involucran otro tipo de patrones de razonamiento (*e.g.*, inductivos y abductivos).

(iv) Finalmente, la tecnología es, al igual que la ciencia, un producto cultural y falible.

Puede parecer un truismo afirmar que la tecnología es parte de nuestra cultura. Sin embargo, para algunos filósofos, la tecnología moderna es la causa de la "crisis de la cultura" dado que, en su opinión, la cultura que promueve la tecnología es deshumanizante y alienante. Dicho en otras palabras, para algunos pensadores la tecnología es irreconciliable con los intereses humanos. Quienes suelen mantener una actitud excesivamente hostil hacia la tecnología son considerados por Krick (1991) y Raynaud (2018) como *tecnófobos*[44]. Yo me referiré a esta actitud hacia la tecnología simplemente como *pesimismo tecnológico*.

El *pesimismo tecnológico* podría derivarse de un razonamiento que discurre a grandes rasgos así:

(P1) Si hay suficiente evidencia histórica para mostrar que la tecnología no ha mejorado ni a los seres humanos, ni la calidad de vida, entonces es sensato considerar a la tecnología como el agente causal principal de los problemas, las penurias y las barbaries de nuestro tiempo.

(P2) En efecto, hay suficiente evidencia histórica que permite establecer la verdad de la cláusula antecedente.

(C) Luego, es sensato considerar a la tecnología como el agente causal principal de los problemas, las penurias y las barbaries de nuestro tiempo.

44 En su curso de *Fundamentos de Ingeniería* Krick (1991) afirma: "Hay un patrón en los escritos de los tecnófobos: hablan de la deshumanización del hombre a manos de las máquinas, del estímulo y de la gratificación de una compulsión materialista, de la confusión del hombre en un mundo técnico y de la subversión y de la supresión de los valores tradicionales" (p. 374). Raynaud, por contraste, distingue entre "tecnófobos metafísicos" y "tecnófobos críticos". La primera posición se caracteriza por "denunciar 'la catástrofe de la técnica', es decir, la destrucción de la humanidad por una técnica liberada de control" (Heidegger, 2007; Ellul, 1964; Mumford, 1967). La segunda "se aplica a describir los efectos nefastos de la técnica sobre la sociedad, centrándose en los intereses capitalistas de quienes la propagan y sus vínculos, reales o supuestos, con los promotores de un proyecto de sociedad totalitaria" (Habermas, 1986).

Entre la evidencia histórica y los hechos se pueden mencionar accidentes nucleares (Chernóbil, en la antigua Unión Soviética[45], uno de los hitos negativos de la historia nuclear, y Windscale en Inglaterra), derramamientos de petróleo (Torry Canyon en Inglaterra), el uso de la talidomida en seres humanos y el uso de plaguicidas sintéticos (DDT) en el medio ambiente. Otro de los hechos que se emplea como evidencia consiste en señalar el considerable deterioro ambiental que da origen a la llamada "crisis ambiental", la cual se caracteriza porque a diferencia del período previo a la Revolución Industrial en el que los problemas ambientales se daban localizadamente, después del surgimiento de la tecnología moderna los problemas ambientales se tornaron globales[46].

Un ejemplo que ilustra lo anterior estriba en la contaminación del aire y el agua a causa de la producción de energía y el funcionamiento de las máquinas de combustión interna. A nivel ambiental también se aduce que a raíz de la acelerada industrialización se ha generado una sobreproducción de dióxido de carbono, gas que tiene un impacto significativo sobre el clima mundial y la composición de la atmósfera:

> [De hecho,] si comparamos el estado actual de la atmósfera con el de 1750, nos encontramos con notables aumentos en la concentración de ciertos gases de efecto invernadero: el metano (150%), el óxido nitroso (63%) y el CO_2 (43%). Este último ha pasado de una concentración de 280 partes por millón (ppm) a comienzos de la Revolución Industrial a las 400 ppm de 2013, […] el resultado es que la temperatura media del planeta ha aumentado 0,8 grados desde la mitad del siglo XIX. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático prevé para finales del siglo XXI un incremento por lo menos de 1,2 grados. (Arias Maldonado, 2018, p. 37)

Una razón adicional proviene del hecho de que los países más industrializados dedican un porcentaje significativo de sus recursos a la finan-

45 "Es sabido que, a causa de la contaminación radiactiva provocada por el accidente, 116.000 personas tuvieron que abandonar sus hogares, creándose una amplia zona de exclusión liberada de toda presencia humana: 4200 kilómetros cuadrados situados en la frontera enre Bielorrusia y Ucrania" (Arias Maldonado, 2018, p. 14).

46 Hay quienes incluso mantienen que vivimos en una nueva era geológica: *el Antropoceno,* "cuyo rasgo central es el protagonismo de la humanidad —en virtud principalmente del desarrollo tecnológico—, que la convierte en agente de cambio medioambiental a escala planetaria". Paul Crutzen —químico galardonado con el premio Nobel por sus trabajos sobre la capa de ozono— acuñó este término en el 2000, como una hipótesis científica en la revista *Nature* (Arias Maldonado, 2018, pp. 14-16).

ciación de proyectos en ingeniería militar en detrimento de otros sectores de investigación tecnológica como el transporte, la salud y otras áreas de importancia social. Además, se podría argumentar que una rápida industrialización contribuye al aumento del desempleo y a agudizar la brecha entre naciones ricas y pobres. Lo primero se da como consecuencia de sustituir las técnicas tradicionales por las técnicas industriales, aunque ello no quiere decir que, a causa de la automatización, por ejemplo, el desempleo solo haya afectado a la clase obrera, dado que durante los primeros años de la década de los 70 este problema afectó tanto a científicos como a ingenieros cualificados. Lo segundo se da a causa de la centralización de los recursos en el sector industrial, mientras un porcentaje importante de la población en los países en vías de desarrollo sigue viviendo todavía del campo (Kneller, 1981)

Sin embargo, esta evidencia no parece tan concluyente ya que para rebatir la tesis de que la tecnología moderna es el agente causal de lo que algunos denominan "la crisis de la modernidad" o "la crisis de la cultura", podemos ofrecer igualmente una considerable evidencia empírica a favor de algunos de los logros más espléndidos de la tecnología moderna, entre los cuales se destaca el diseño de artefactos en campos como la medicina que han permitido duplicar el horizonte promedio de vida de los seres humanos. Cabe agregar que, si bien es cierto que "la energía nuclear hace posible un holocausto nuclear, es una alternativa de producción de energía cuando se acaben los combustibles fósiles" (Kneller, 1981, p. 192). Así mismo, los medios de transporte y comunicación han facilitado el intercambio no sólo comercial, sino también cultural, entre muchas otras realizaciones importantes. Considero que con los hechos que se ofrecen como contraejemplos es suficiente para mostrar que una actitud hostil frente a los desarrollos tecnológicos no resulta sensata.

No obstante, supongamos que los hechos a los cuales apelo como contraejemplos no resultan convincentes o no son suficientemente concluyentes. Podemos remediar esta debilidad mediante una especie de "argumento por extensión" con base en el cual es posible proporcionar una razón adicional a favor de la tesis de que la tecnología no promueve una cultura deshumanizante. Así como la ciencia, en tanto empresa humana, es limitada —esto es, no ha podido, no puede y seguramente no podrá en ningún momento histórico proporcionar respuestas completamente satisfactorias a todas nuestras preguntas—, de igual modo la tecnología y los diseños tecnológicos, que han sido elaborados con algún propósito o finalidad, en algunas ocasiones no

cumplen con dicho objetivo. En suma, la tecnología es, al igual que la ciencia, falible y limitada. Seguramente, ni el científico ni nosotros esperamos que la ciencia nos proporcione un conocimiento absoluto acerca de todos los fenómenos naturales y humanos; entonces, ¿por qué habríamos de esperar que la tecnología resuelva todos nuestros problemas? La tecnología, al igual que la ciencia, padece de las mismas imperfecciones que esta.

Así como la historia de la ciencia nos muestra suficiente evidencia histórica para darnos cuenta de que el conocimiento humano es falible, como lo ilustra el número asombroso de ideas falsas que hemos sostenido en el pasado y que seguramente hoy defendemos sin mucha reticencia; y así como nos ha enseñado a abandonarlas una vez descubrimos su falsedad, la historia de la tecnología nos enseña igualmente que los diseños tecnológicos en camino hacia la eficiencia deben ser abandonados también, debido a que no son factibles (realizables), o no son fiables, o "simplemente no son interesantes para ningún grupo humano, o son muy costosos, poco útiles, excesivamente perturbadores de la estructura social o del entorno natural, o demasiado arriesgados" (Quintanilla, 2017).

Con base en lo anterior, podemos advertir un problema adicional que se plantea a la luz de la valoración moral de la tecnología, a saber: el rechazo de la tesis según la cual el progreso material y el progreso moral son dos caras de una misma moneda. Dicho de otra manera, lo que se pretende negar es que haya una relación directamente proporcional entre el mejoramiento de las condiciones de vida de los seres humanos y su talante moral. Concedo que hay suficiente evidencia histórica que confirma que el "triunfo del hombre sobre la naturaleza" no significa necesariamente un "triunfo sobre su propia naturaleza." Sin embargo, ello no quiere decir que la ciencia y la tecnología no propicien el bienestar de la humanidad, como también pueden hacerlo las virtudes morales derivadas del ejercicio de la racionalidad o del cultivo de las emociones.

Para negar lo anterior, se podría apelar a los mismos fracasos de la tecnología con base en los cuales se cuestiona la compatibilidad entre este ideal y los hechos o la evidencia histórica disponible. Para responder a esta posible objeción, advierto que se deben considerar las dos razones que he expuesto arriba. La primera nos lleva a sostener que en aquellos casos en los cuales la ciencia y la tecnología no han propiciado de manera inequívoca el bienestar de la humanidad, el principal agente causal parece radicar en el carácter limitado y falible de ambas —después de todo son productos humanos y culturales—, aunque también podría estructurarse una expli-

cación satisfactoria con base en razones políticas o morales estrechamente ligadas a la naturaleza humana. La segunda razón consiste en ofrecer algunos contraejemplos más o menos contundentes mediante los cuales se pueda mostrar al pesimista tecnológico que hay mejores razones para que nuestra fe en el desarrollo tecnológico permanezca incólume, y esa es la vía que me propongo explorar con base en el tercer argumento.

La falacia de composición

Recordemos que se incurre en esta falacia o error de razonamiento cuando pretendemos atribuirle a un todo ciertas propiedades que sólo son aplicables a sus partes. Un ejemplo que puede ilustrar lo anterior consiste en pretender inferir, sobre la base de que las partes de una máquina (consideradas individualmente) son livianas, que la máquina es liviana. El error de razonamiento salta a la vista porque si bien es cierto que una biela o un pistón pueden ser consideradas piezas livianas, tal cualidad no puede ser atribuida, por ejemplo, a la máquina de la cual hacen parte, como la máquina de vapor. En este error suelen incurrir quienes pretenden atribuirle una naturaleza intrínsecamente perversa a la tecnología sobre la base de que algunas máquinas (como las armas) no tienen otro fin o propósito que la aniquilación. Con base en lo anterior, podemos reconstruir el argumento como sigue:

Las armas están diseñadas para aniquilar la vida y son dispositivos tecnológicos; todo dispositivo diseñado para aniquilar la vida tiene una naturaleza inherentemente perversa. Por lo tanto, la tecnología es perversa.

Aún concediendo que algunos de los propósitos de la tecnología militar son moralmente reprochables, es incorrecto atribuir una propiedad predicable de una parte de la tecnología a la tecnología como un todo (es decir, es incorrecto confundir las tecnologías militares o las ciencias bélicas con *toda* la tecnología). Adicionalmente, sobre la base de semejante tesis se desconoce la naturaleza intrínsecamente "buena" de tecnologías como la medicina, cuyo propósito no es otro que elevar el promedio de vida de los seres humanos o salvar vidas, o de una tecnología como la agronomía que apunta al mejor aprovechamiento de los recursos agrícolas para satisfacer las demandas alimenticias de los seres humanos.

Los *pesimistas tecnológicos* suelen mantener su rechazo —moderado o exagerado— del progreso de la tecnología moderna sobre la base de una razón adicional. Arguyen que ha sido la guerra la que mayor impulso ha dado

al desarrollo tecnológico, por lo que se puede inferir que la naturaleza de la ciencia y la tecnología no es contemplativa como se suele creer entre los más optimistas, sino que es aterrorizadoramente agresiva. Los trabajos de Richard Weaver (1983) y Hans Jonas (2006) plantean un punto de vista que discurre en estas líneas. Sin embargo, creo que esta conclusión resulta de un análisis excesivamente fragmentario, pues su pretendida verdad solo puede aplicarse (y de manera parcial) a muy pocos dominios de la tecnología como la ingeniería electrónica o la medicina. En efecto, algunos desarrollos interesantes en la medicina se dieron gracias a las necesidades de la guerra; no obstante, es ilegítimo inferir sobre este factor social —que influye en el diseño de soluciones tecnológicas en algunos campos de la tecnología— que su naturaleza es intrínsecamente agresiva. De hecho, aquí parece haber una confusión que mezcla burdamente los fines que se le atribuyen a la tecnología con las situaciones fácticas que desencadenan un proceso de invención, y que hacen parte de lo que se denomina "contexto de descubrimiento".

Hay un defecto adicional en la argumentación del pesimista cuando aduce que uno de los principales errores de la tecnología moderna consiste en que ha elevado los valores económicos por encima de las necesidades sociales. El defecto estriba en presuponer que el propósito de la tecnología es la producción industrial. Sin embargo, hay tecnologías como la medicina o la psiquiatría cuyo propósito no es la producción. Como lo indiqué al comienzo de este capítulo, si sostenemos que el propósito de la tecnología —o de alguna de sus subáreas (*e.g.*, las ingenierías)— es la producción, ello podría tener implicaciones morales desastrosas, dado que terminaríamos por confundir los medios (*i.e.*, la producción) con los fines (o ideales), relacionados con promover el bienestar de la humanidad. Como bien lo señala Bunge (1980), ello podría servir para "justificar el lado oscuro de la tecnología" y, por extensión, el lado oscuro de la ingeniería.

El lector recordará que en este capítulo me propuse mostrar por qué podemos reclamar legítimamente para la tecnología —y con ella, para la ingeniería, a pesar de Jarvie— un lugar en el dominio del conocimiento. Su lugar en la estructura de nuestro conocimiento no se da única y exclusivamente en razón de que la tecnología y la ingeniería *aplican* algunos de los conocimientos que transfiere la ciencia básica, mostré además que hay formas propias de conocimiento en la tecnología, como lo ilustran algunas de las teorías tecnológicas —a las que volveré con más detenimiento en el siguiente capítulo—. Dicho en otras palabras, si hay teorías, leyes —incluso métodos— propios de la tecnología, entonces es posible decir que

también hay conocimiento tecnológico, que no es parasitario de las ciencias básicas. La tecnología como conocimiento es una actividad compleja que no se puede identificar con el *saber-cómo simpliciter*, tal y como se ha planteado en la literatura filosófica. También debe involucrar un *saber-qué* —como bien lo defiende Jarvie—. Sin embargo, a diferencia de Jarvie, he sostenido que estos dos tipos de saberes que componen la estructura del conocimiento tecnológico son distintos en naturaleza y dependientes. La virtud de un planteamiento así estriba en que no sólo se puede responder a aquellos casos en los que —supuestamente— ha sido posible diseñar artefactos "sin el beneficio de la ciencia" (*e.g.*, la máquina de vapor), sino también a aquellos en los que es indiscutible que el diseño es una aplicación de las leyes de la ciencia (*e.g.*, la radio).

Capítulo 3

¿Hay un vínculo entre tecnología y verdad?

Averiguar si hay o no un vínculo entre tecnología y verdad es una cuestión digna de plantearse *prima facie* por dos razones. La primera de ellas es que una respuesta a este interrogante permitiría esclarecer la naturaleza de lo que podríamos denominar *el espacio normativo* de la tecnología; *i.e.*, qué tipo de criterios evaluativos son funcionales en el dominio del conocimiento tecnológico. En otras palabras, busca determinar si la verdad es un criterio normativo operativo en el dominio del conocimiento tecnológico. La segunda razón consiste en que podemos discernir qué tipo de relación hay entre tecnología y realidad, y con ello establecer si la realidad de la que se ocupa la ciencia y la realidad de la que se ocupa la tecnología son de distinto orden.

En el dominio de la filosofía de la tecnología hay quienes mantienen que la tecnología no guarda ningún vínculo con la verdad: Skolimowski (1966), Vermaas *et al.* (2011), Meijers y De Vries (2013). Otros filósofos como Jarvie (1966, 1967) sostienen justamente lo contrario. En este acápite reconstruiré y evaluaré los principales argumentos que se ofrecen en esta contienda. Entre ellos, me ocuparé de las razones que esgrimen Skolimowski (1966), De Vries (2006) y Meijers y De Vries (2013) para apoyar la tesis de que no hay un vínculo epistemológicamente relevante entre tecnología y verdad.

Para adelantar este análisis, examinaré cuatro argumentos. El primer argumento que consideraré es el que denomino *argumento*

desde la perspectiva de sentido común. Con base en este se podría defender que si los productos tecnológicos son artefactos (y los artefactos no son ni verdaderos ni falsos), entonces la tecnología no tiene ningún vínculo con la verdad. En el segundo y tercer argumentos (planteados por Skolimowski y De Vries, respectivamente) se cuestiona que la verdad sea la condición primaria en la que los ingenieros están interesados cuando emprenden sus búsquedas, ya que la eficiencia es una condición mucho más apropiada para sus intereses. El cuarto argumento es ofrecido por De Vries. En su opinión, cuando un ingeniero civil diseña un nuevo puente, por ejemplo, sabe que la mecánica cuántica es una teoría verdadera sobre los materiales y las fuerzas en el puente, pero es inútil tratar de usarla para tales efectos, pues resulta mucho más útil la mecánica clásica, la cual, aunque en sentido estricto no es verdadera, demuestra ser mucho más eficiente en el proceso de diseño.

No me limitaré a hacer una reconstrucción de los argumentos que acabo de mencionar, sino que adelantaré una evaluación crítica de cada uno de ellos, para lo cual voy a oponer dos argumentos. Con base en el primero mantengo que si en el lanzamiento del Challenger —en 1986— los ingenieros de la *Morton Thiokol* advirtieron a la NASA que las juntas tóricas podían fallar por la sobrecompresión y las bajas temperaturas, entonces es claro que se pueden hacer predicciones en tecnología. Esta posibilidad permite inferir que la tecnología no está completamente desvinculada de la verdad (ni de la dinámica general de la ciencia empírica). A partir del segundo, mostraré que hay genuinos enunciados tecnológicos, expresados ya sea en la forma de leyes o teorías. De suerte que, si hay enunciados en la tecnología, estos son susceptibles de ser evaluados como verdaderos o falsos.

Intuiciones iniciales: el argumento de la perspectiva de sentido común

Nuestro sentido común nos indica que hay un vínculo entre tecnología y verdad, dado que la tecnología o bien es *un medio* para llegar a la verdad, como lo ilustra el uso del polígrafo —un instrumento que se usa para determinar si una persona miente—, o el uso de instrumentos de tortura en el Medioevo, como los empleados en los juicios de ordalías[47]. También se podría mantener

47 Los juicios de ordalías o juicios de Dios se caracterizaban por emplear distintos mecanismos para administrar la justicia; *e.g.*, las ordalías de agua o de fuego. Se obligaba al acusado a sujetar hierros candentes, introducir las manos en una hoguera o en

que ciertos artefactos tecnológicos permiten revelar la verdad. Por ejemplo, gracias al uso del telescopio no sólo logramos tener acceso a una imagen más detallada y completa de la verdadera naturaleza de las manchas de la luna, sino que, durante el Renacimiento, descubrimos que el modelo cosmológico que mejor describía cómo era realmente el universo era el modelo heliocéntrico. Del mismo modo, algunos artefactos tecnológicos nos permiten corroborar la verdad: gracias a la máquina de Atwood, se logró la primera demostración inequívoca de la segunda ley de Newton.

Con todo, no es esta la relación que me preocupa en este escrito. Me interesa, más bien, aquella a partir de la cual también podemos mantener que la verdad juega un papel preponderante en la tecnología; *i.e.*, es un criterio normativo que también se puede atribuir o aplicar al conocimiento tecnológico. Dicho en otras palabras, en el espacio normativo del conocimiento tecnológico es legítimo incluir la verdad.

Como es bien sabido, de acuerdo con la teoría correspondentista, la verdad es una propiedad de los enunciados y no de los objetos o hechos del mundo. Tradicionalmente, a la correspondencia entre nuestra imagen del mundo (que se expresa a partir de enunciados) y la realidad es a lo que milenariamente le hemos llamado "verdad"[48]. Precisamente por ello vale la pena averiguar si hay una relación entre tecnología y verdad. Si la verdad es una propiedad que también se puede atribuir al conocimiento tecnológico, entonces la realidad de la que se ocupa la ciencia y la realidad de la que se ocupa la tecnología no son, después de todo, de distinto orden.

Sin embargo, este no es un punto de vista ampliamente mantenido entre los filósofos de la tecnología. De hecho, se podría argumentar que puesto que los artefactos tecnológicos son objetos y los objetos no son ni verdaderos ni falsos, entonces la tecnología no tiene ningún vínculo con la

---

agua hirviendo. Si alguien sobrevivía o no resultaba demasiado dañado, se entendía que Dios lo consideraba inocente y no debía recibir castigo alguno. El acusado debía meter la mano en el agua hirviendo hasta la muñeca. En otras ocasiones, debía sumergir el brazo hasta el codo y se envolvía la mano. El juez colocaba un sello y al tercer día examinaba el resultado de la prueba. Si la quemadura sanaba, el acusado era inocente; si había gangrena, era culpable.

48 Como es bien sabido, hay distintas teorías de la verdad. Aquí hago alusión a la conocida teoría correspondentista de la verdad, la cual logró una formulación articulada gracias al trabajo de Alfred Tarski. De acuerdo con esta teoría, el enunciado "la nieve es blanca" es verdadero si y solamente si la nieve es blanca; *i.e.*, si el estado de cosas descrito en el enunciado se corresponde con ese estado de cosas en el mundo.

verdad, al menos en el sentido arriba señalado. Este argumento que suele articularse desde la *perspectiva del sentido común* se puede reconstruir del siguiente modo:

(P1) Si los productos tecnológicos son artefactos (y los artefactos *qua* objetos materiales no son ni verdaderos ni falsos), entonces la tecnología no tiene ningún vínculo con la verdad. (P2) Los productos tecnológicos son artefactos. Por lo tanto, la tecnología no tiene ningún vínculo con la verdad.

Sin embargo, este argumento falla porque identifica la tecnología con los artefactos. Si bien es cierto que, desde la perspectiva del sentido común, los artefactos materializan nuestro encuentro inmediato con la tecnología, esta como una forma genuina de conocimiento es mucho más compleja, ya que involucra prácticas convencionales como diseñar —o incluso experimentar— y desarrollos tecnológicos como los artefactos (o entidades no empíricas, mucho más difíciles de clasificar, como los programas de computación o *software*). En este argumento que proviene de la *perspectiva del sentido común* se incurre, de hecho, en un error de razonamiento, comparable al que cometeríamos si identificáramos *simpliciter* la ciencia con las leyes o las teorías científicas. Si bien es cierto que entre los productos —o resultados— de la actividad científica se encuentra la formulación de leyes y teorías, la ciencia es mucho más que eso. Como actividad compleja, la ciencia no sólo involucra *prácticas* convencionales, sino también esencialmente *entidades*, constructos científicos (Díez y Moulines, 1999, p. 23).

El error de razonamiento que acabo de identificar en el argumento anterior configura una *falacia de composición*. Recordemos —tal y como se indicó en el capítulo previo— que este error consiste en transferir una propiedad de las partes al todo, o un atributo de los miembros de un grupo al grupo: *e.g.*, cada una de las partes de esta máquina está bien hecha, por lo tanto, esta máquina (como un todo) está bien hecha. En este ejemplo se transfieren ilegítimamente propiedades de la parte —particularmente de las piezas de las que se predica que están bien hechas— al todo, por lo cual se concluye que toda la máquina está bien hecha. El argumento desde la *perspectiva del sentido común* incurre en este mismo error de razonamiento pues transfiere una particularidad de uno de los productos del conocimiento tecnológico —la imposibilidad de atribuir a objetos (en este caso a los artefactos) la propiedad semántica de la verdad— al todo, y la conclusión que deriva es que es erróneo atribuirle verdad a la tecnología.

Se podría objetar que mi réplica al argumento que se basa en la *perspectiva del sentido común* se apoya en una premisa que requiere una justificación

independiente, a saber: que la tecnología es una forma de conocimiento. Por supuesto que desde la definición canónica del conocimiento (a la luz de la definición tripartita del conocimiento, tal y como se discutió en el primer capítulo de este trabajo) difícilmente la tecnología podría satisfacer las condiciones necesarias y suficientes estipuladas por Platón en el *Teeteto*: creencia+verdad+justificación, dado que se trata de una definición que presume que toda forma genuina de conocimiento es proposicional y torna la verdad en una de sus condiciones esenciales. Sin embargo, como espero haberlo mostrado en el capítulo anterior, la definición canónica del conocimiento no es la única opción disponible, y podemos explorar otras alternativas para caracterizar el conocimiento tecnológico. Como se recordará, ya mostré que la estructura del conocimiento tecnológico —que cultivan, entre otros, los ingenieros— se caracteriza por comprender tanto un *saber-qué* como un *saber-cómo*.

Como el argumento desde la *perspectiva del sentido común* es defectuoso, examinemos si las razones que ofrece el filósofo polaco Henryk Skolimowski tienen éxito. En su *The Structure of Thinking in Technology* (1966), como lo sugiere el título de su célebre ensayo, el autor propone la estructura del pensamiento tecnológico. En su opinión, distintas subáreas de la tecnología exhiben determinados patrones que explican el progreso tecnológico. Por ejemplo, en la topografía, el patrón de pensamiento tecnológico es la precisión. En la ingeniería civil, la durabilidad; en la ingeniería mecánica, la eficiencia. Estos patrones corresponden a los singulares mecanismos que explican el progreso tecnológico en dichos dominios. Pero tales patrones no coinciden con los mecanismos que explican el progreso científico, y es por ello que, según Skolimowski, la realidad de la que se ocupan la ciencia y la tecnología, respectivamente, es de distinto orden[49].

49 Jarvie formula varios reparos en contra de algunas de las tesis mantenidas por Skolimowski, entre ellos, critica justamente la idea de que los patrones de pensamiento tecnológico que Skolimowski identifica sean los únicos mecanismos que intervienen en el progreso de áreas como la ingeniería civil. Entre los argumentos que ofrece consideremos los dos siguientes: (P1) Si en la ingeniería civil se pueden diseñar casas a prueba de inundaciones, terremotos, incendios, pero lo que desalienta su construcción es *el costo*, entonces el patrón de pensamiento en la ingeniería civil no es la durabilidad. (P2) En la ingeniería civil se pueden diseñar casas a prueba de inundaciones, terremotos, incendios, pero lo que desalienta su construcción es *el costo*. Por lo tanto, el patrón de pensamiento en la ingeniería civil no es la durabilidad. El error aquí radica en que, en efecto, disponemos de edificaciones a prueba de terremotos, entre otros. Por lo cual el argumento de Jarvie no parece rebatir de manera contundente el plan-

Al examinar los mecanismos con base en los cuales progresa la ciencia, Skolimowski declara una abierta simpatía por el modelo popperiano de la ciencia de acuerdo con el cual el progreso científico resulta del mejoramiento continuo de las teorías científicas mediante la sustitución de teorías por otras más simples, más universales y con mayor poder explicativo (Skolimowski, 1966, p. 44). A la luz de esta perspectiva, la ciencia se caracteriza por investigar la estructura íntima de la realidad y por buscar la verdad. La tecnología, por contraste, no se propone investigar la realidad sino *crear* una de acuerdo con los diseños. Para Skolimowski, el progreso tecnológico exhibe propiedades epistemológicas bastante distintas de las de la ciencia, porque en su desarrollo la tecnología produce artefactos con características muy interesantes por su grado de eficiencia, de lo que se sigue que no hay interés alguno por la verdad.

Para ilustrar mejor el punto, comparemos los mecanismos del progreso científico y tecnológico que sugiere Skolimowski (tabla 3).

Tabla 3. Mecanismos de explicación del progreso en la ciencia

Mecanismos de explicación del progreso en la ciencia	Mecanismos de explicación del progreso en la tecnología
T1 y T2 (donde T1 y T2 son teorías científicas)	A1 y A2 (donde A1 y A2 son artefactos)
T2 es mejor T1 syss T2 es más simple, más universal, es más detallada, tiene mayor poder predictivo que T1	A2 es mejor que A1 porque: es más durable, es más fiable, más potente, más veloz, o porque satisface todos los criterios anteriores.

Fuente: elaboración propia.

Para analizar críticamente el planteamiento de Skolimowski, reconstruyamos el argumento con base en el cual apoya su tesis de que la tecnología está desvinculada de la verdad:

teamiento de Skolimowski. El segundo argumento luce más prometedor: (P1) Si uno de los desafíos que enfrentaron los ingenieros civiles en la construcción de los puentes Bailey y Pontoon fue *la rapidez* en su construcción, entonces el patrón de pensamiento en la ingeniería civil no es la durabilidad. (P2) Uno de los desafíos que enfrentaron los ingenieros civiles en la construcción de los puentes Bailey y Pontoon fue *la rapidez* en su construcción. Por lo tanto, el patrón de pensamiento en la ingeniería civil no es la durabilidad (cf. Jarvie, 1966). Sin embargo, un argumento así resulta también muy controversial, pues, de qué sirve que un ingeniero civil diseñe y construya un puente en tiempo récord, si el puente no es seguro o si presenta fallas estructurales.

(P1) Si la ciencia se caracteriza por investigar la realidad, mientras que la tecnología *crea* una a partir de los diseños, entonces la tecnología está desvinculada de la verdad.

(P2) La ciencia se caracteriza por investigar la realidad, mientras que la tecnología *crea* una a partir de los diseños. Por lo tanto, la tecnología está desvinculada de la verdad.

El contraste (que está ilustrado en la tabla 3) y en el que se basa el argumento anterior falla, porque es claro que algunos de los mecanismos que explicarían —en el dominio de la ciencia— por qué una teoría es mejor que otra (*e.g.,* el *poder predictivo* o *la precisión*), también son funcionales en el dominio de la tecnología como lo muestra el siguiente caso histórico. Antes del lanzamiento de Challenger en 1986, los ingenieros de la compañía *Morton Thiokol*, encargada de fabricar las partes del impulsor, advirtieron a la NASA que las juntas tóricas fallaban por la sobrecompresión y las bajas temperaturas. Finalmente, por presiones para cumplir con las fechas de despegue estipuladas, la NASA ignoró las advertencias de los ingenieros con las consecuencias desatrosas que todos conocemos. Con base en lo anterior, es claro que los ingenieros previeron o pronosticaron que, bajo ciertas condiciones, las juntas tóricas podían fallar. De manera que, si se pueden hacer predicciones en tecnología, no sólo la tecnología no está desvinculada de la verdad, sino que además resulta evidente que el poder predictivo no es una cualidad epistémica reservada para la ciencia básica. Un argumento similar se podría ofrecer en torno a la "simplicidad". Un diseño en tecnología puede también ser más simple que otro. Pensemos, por ejemplo, en ciertas aplicaciones para teléfonos inteligentes. Las que gozan de mayor aceptación entre los usuarios son aquellas que resultan ser precisamente mucho más intuitivas o *simples* de usar. En conclusión, ni el poder predictivo, ni la simplicidad son mecanismos epistémicos que operan exclusivamente en el dominio de la ciencia.

En una línea similar al argumento que ofrece Skolimowski, De Vries y Meijers (2013) sostienen que la tecnología no tiene ningún vínculo con la verdad, debido a la diferencia entre los objetivos o propósitos que persiguen, respectivamente, la ciencia y la tecnología. Justamente por la naturaleza de las razones que aducen, podemos denominar a este como el argumento de la diferencia entre los objetivos:

Argumento de la diferencia entre los objetivos (De Vries y Meijers, 2013):

(P1) Si a diferencia de la ciencia —que es la exploración de lo real (natural)— la tecnología concierne a la creación de lo artificial, y la verdad

es un criterio que sólo se puede satisfacer en aquellos dominios en los que se hacen afirmaciones que describen un estado de cosas, entonces la tecnología no tiene ningún vínculo con la verdad.

(P2) La tecnología se propone la creación de lo artificial para interferir en la naturaleza, y no describir un estado de cosas.

Por lo tanto, la tecnología no tiene un vínculo con la verdad.

Los planteamientos de fondo en este argumento constituyen un verdadero reto para el filósofo de la tecnología, dado que nos fuerzan a mostrar que sí hay genuinos enunciados en el dominio de la tecnología. Si la tecnología guarda algún vínculo filosóficamente interesante con la verdad, se da justamente en razón de que el conocimiento tecnológico contiene enunciados. Recordemos que la verdad es una propiedad de los enunciados, y no de los objetos, ya sea naturales o aquellos que artificialmente crea el *Homo technicus*. Para resolver este desafío quisiera recurrir a una de las subáreas de la tecnología: la ingeniería civil, particularmente a la ingeniería estructural. Ello no quiere decir, por supuesto, que otras ramas de la ingeniería no contengan también genuinos enunciados: *i.e.*, enunciados que no toma prestados de ciencias básicas como la física o la química. Es más, la búsqueda de genuinos enunciados en cualquier rama de la ingeniería puede rendir frutos muy interesantes para la discusión que me ocupa en este acápite[50].

La ingeniería estructural es una rama de la ingeniería civil que se ocupa del diseño estructural aplicable a construcciones tales como edificios, puentes, muros de contención, entre otros. El ingeniero estructural tiene entre sus propósitos el diseño de estructuras seguras. El éxito de una tarea como esta ha sido posible gracias a que físicos e ingenieros han llevado a cabo un análisis teórico del comportamiento de las estructuras. Una de las teorías más reputadas para el análisis de estructuras es precisamente la teoría clásica de vigas que fue formulada en el siglo XVIII por los matemáticos

50 Como ya lo indiqué en el capítulo anterior, Raynaud (2018) y Bunge (1980) son partidarios de la tesis de que la tecnología *es más* que ciencia aplicada. Para apoyar este planteamiento, recordemos que Raynaud también ofrece varios ejemplos de genuinos conceptos tecnológicos: "máquina", "servomotor". Con base en el caso que aquí ofrezco, podemos añadir dos conceptos propios de la ingeniería estructural: "vigas" y "placas". Adicionalmente, Raynaud ofrece varios ejemplos de leyes tecnológicas: la ley de Erlang, la ley de Moore. Entre las teorías que menciona, está la teoría de colas o de espera. A estos ejemplos, podríamos añadir *la teoría de decisiones* en administración.

y físicos Leonhard Euler y Daniel Bernoulli[51]. La teoría de vigas juega un rol importante en el análisis estructural, dado que proporciona al ingeniero una herramienta simple para analizar numerosas estructuras. Se suele usar en la etapa de prediseño ya que proporciona información valiosa sobre el comportamiento de las estructuras (Bauchau y Craig, 2009).

Como toda teoría, la teoría de vigas contiene, *inter alia,* un conjunto de enunciados con base en los cuales se calculan no sólo las tensiones a las que se somete una viga, sino también sus desplazamientos. Es importante llevar a cabo dicho cálculo ya que con base en él se examina la resistencia de los materiales usados en la construcción.[52] Por otra parte, su uso no se restringe al dominio de la ingeniería civil, ya que muchas partes de algunas máquinas son estructuras en forma de vigas: brazos de palanca, ejes, entre otros. Algunas estructuras aeronáuticas, como las alas y el fuselaje, también pueden tratarse como vigas de pared delgada (Bauchau y Craig, 2009).

La teoría clásica de vigas que se usa para calcular las deformaciones en las vigas plantea los siguientes tres supuestos:

> Supuesto 1: la sección transversal es infinitamente rígida en su propio plano.
>
> Supuesto 2: la sección transversal de una viga permanece plana después de la deformación.
>
> Supuesto 3: la sección transversal permanece normal al eje deformado de la viga. Las mediciones experimentales muestran que estos supuestos son válidos para vigas largas y delgadas, hechas de materiales isotrópicos con secciones transversales sólidas. (Bauchau y Craig, 2009, pp. 174-175)

Si, de acuerdo con Blauchau y Craig, se pueden "validar" dichos supuestos a partir de mediciones experimentales es justamente porque sí guardan una relación con la realidad. De manera que no se trata solo de un modelo matemático para calcular las deformaciones de las vigas, sino de una genuina teoría que permite conocer la resistencia de determinados materiales y estructuras e incluso predecirla. Un argumento adicional se podría esgrimir a partir del estudio de la resistencia de materiales. Allí podemos recurrir a otra teoría propia de la ingeniería estructural como la teoría de placas, formulada por el ingeniero mecánico Raymond Mindlin

51 Aunque no es la única que se ha formulado en ese campo. El lector puede remitirse a la teoría de vigas más reciente formulada por el ingeniero ucraniano Timoshenko.

52 De hecho, la teoría de vigas hace parte del campo dedicado al estudio de la resistencia de materiales, que ocupa no sólo a los ingenieros civiles (especialmente a los estructurales), sino también a los ingenieros mecánicos e ingenieros industriales.

(1951) y el ingeniero civil Reissner (1945). Ambos dedicaron sus mejores esfuerzos al estudio de la deformación de placas y láminas hasta formular un conjunto de hipótesis cinemáticas sobre cómo se deforma una placa o una lámina bajo flexión.

En contra de los dos casos que ofrezco (la teoría de vigas y la teoría de placas) se podría oponer el argumento que De Vries plantea, y con base en el cual sostiene que, cuando un ingeniero civil diseña un puente, sabe que la mecánica cuántica es una teoría verdadera sobre los materiales y las fuerzas en el puente, pero sería inútil que tratara de usarla para tales efectos, porque la mecánica clásica es mucho más útil aunque, en sentido estricto, no sea verdadera. De hecho, la mecánica clásica resulta ser mucho más eficiente en el proceso de diseño (Marc De Vries, 2016, p. 26)[53].

No obstante, este argumento falla por dos razones. La primera razón consiste en que De Vries sugiere que la mecánica cuántica es una teoría verdadera sobre los materiales, lo cual es impreciso dado que la mecánica cuántica como parte de la física teórica proporciona una descripción fundamental de la naturaleza a escalas espaciales ínfimas tales como la estructura atómica, su núcleo y las partículas elementales, de manera que no es cierto que sea una teoría verdadera sobre los materiales —ubicados en un nivel bien distinto al de las partículas elementales—. Las disciplinas que se ocupan del estudio de los materiales son la ciencia de materiales y la ingeniería de materiales, las cuales estudian todo tipo de materiales, desde aquellos que usamos diariamente, hasta aquellos que son utilizados en las exploraciones espaciales.

La segunda razón estriba en que la afirmación de que la mecánica clásica no es verdadera es imprecisa. Hay una creencia generalizada según la cual la mecánica clásica fue refutada por la mecánica cuántica. Sin embargo, aun aceptando esta afirmación, de ello no se sigue que la mecánica clásica sea comprehensivamente falsa. Se puede decir que la mecánica clásica es —si recurrimos a la terminología de Popper y otros realistas— una buena aproximación a la verdad (verosimil)[54]. La teoría de la verosimilitud proporciona un sucedáneo funcional de la verdad y contiene criterios para

53 Para Bunge se trata de una concepción oportunista de la verdad: el ingeniero preferirá a menudo una semiverdad (Bunge, 1980, pp. 214-215).

54 Y si las teorías sobre las cuales descansan los desarrollos tecnológicos son verosímiles, entonces no hay manera de defender eficazmente la ausencia de criterios y valores epistémicos en la tecnología ni su independencia con respecto a ellos. Para una exposición detallada de la teoría de la verosimilitud de Popper, véase García (2006).

distinguir y elegir entre teorías rivales falsas que se encuentran a distancia de la verdad. Pero también hay interpretaciones de la verosimilitud en términos de una subclase de enunciados en una teoría o un residuo compuesto por enunciados verdaderos. En esta perspectiva, los enunciados verdaderos de la mecánica clásica son, justamente, los que hoy por hoy aún usamos para predecir la trayectoria de una pelota de *soft* o el aterrizaje de una nave espacial en la luna, ya que hay leyes genuinas que empleamos para la explicación y predicción de eventos que suceden a velocidades menores que la velocidad de la luz. Por ello, podemos decir que, en el dominio de aplicaciones que De Vries admite como exitosas para la labor del ingeniero, resulta suficiente aplicar la mecánica clásica. Adicionalmente, tareas como el diseño de un puente, si se realizan adecuadamente, parecen ubicarse en un dominio en el cual la teoría que las sustenta es verdadera. De hecho, para defender la tesis de que la tecnología sí está vinculada con la verdad, Jarvie (1966)[55] ofrece un argumento que va en esa dirección, y que podemos reconstruir como sigue:

(P1) Si las naves espaciales navegan basadas en la mecánica newtoniana, entonces la tecnología no está desvinculada de la verdad.

(P2) En efecto, las naves espaciales navegan basadas en la mecánica newtoniana. Por lo tanto, la tecnología no está desvinculada de la verdad.

Otro de los argumentos interesantes que Jarvie plantea consiste en aducir que, si en el diseño de aeronaves el ingeniero debe considerar la tensión a la que están sujetas las estructuras del fuselaje, para poder así calcular la fatiga y evitar accidentes áereos por esta causa, entonces la tecnología guarda un vínculo con la verdad. La fatiga metálica es un fenómeno que, para ser más precisos, se comenzó a estudiar mucho antes del desarrollo tecnológico de la aviación y de la exploración espacial. Por lo menos

55 Jarvie no es el primero en defender la tesis tremendamente heterodoxa de que la tecnología sí guarda un vínculo con la verdad. En la tradición continental, Heidegger, de hecho, fue el primero en sostener que la técnica era un modo de desocultamiento del ser: la técnica es un modo de conocimiento, pues pone de manifiesto lo que estaba escondido. Al respecto, el filósofo sostiene: "El producir hace pasar, haciendo presente, desde lo oculto a lo no-oculto. El producir sólo acontece en tanto que lo escondido llega a lo no-escondido. Este llegar (*Kommen*) descansa y se agita en aquello que nosotros llamamos el desvelamiento (*das Entbergen*). Los griegos tenían para esto la palabra αλέθεια. Los romanos la tradujeron por 'veritas'. Nosotros decimos 'verdad' y la entendemos habitualmente como la corrección de la representación" (Heidegger: *DieTechnik und die Kehre*. Traducción y notas, Salvador MasTorres, p. 135).

desde 1800[56], el fenómeno de la fatiga ya había sido identificado por físicos e ingenieros:

> Fatigue was initially recognized in early 1800 in Europe from the observed fact that bridge and railroad components were cracking subjected to repeated loading. Three basic factors to cause fatigue are: (1) a sufficiently high tensile stress, (2) a large variation in the applied stress, and (3) a sufficiently large number of repetitions in loading and un-loading. (Singal *et al.*, 2017)

Nótese que (1)-(3) son las causas que se asociaron a la fatiga de materiales, y se trata, por supuesto, de un estudio teórico. Singal *et al.* (2017) ofrecen, de hecho, un listado exhaustivo de las contribuciones teóricas más significativas para la comprensión de la fatiga mecánica (realizadas entre 1837 y 1968), las cuales se deben a ingenieros de todo el mundo. Entre ellas vale la pena destacar que en 1837 se publicó el primer artículo sobre fatiga en las cadenas transportadoras utilizadas en las minas Clausthal. Dicho artículo fue escrito por Wilhelm Albert. En 1839, Jean Victor Poncelet describió la fatiga como el cansancio en los metales y en 1842 William John Macquorn Rankine reconoció la importancia de las concentraciones de estrés en las fallas de los ejes de los ferrocarriles.

Encuentro que el argumento de Jarvie es persuasivo porque muestra que el conocimiento tecnológico no es, exclusivamente, un conocimiento práctico. Como lo ilustra el ejemplo del estudio de la fatiga de materiales, en la comprensión de dicho fenómeno los ingenieros también han investigado las causas que la originan y han desarrollado métodos de cálculo para el diseño de materiales más resistentes y confiables. Como es bien sabido, la búsqueda de las causas de un fenómeno es una actividad típica del saber teórico. Tal vez, por este rasgo del conocimiento tecnológico, no debe sorprendernos que Jarvie sostenga que la tecnología como un *saber-cómo* es más intelectual de lo que parece (Jarvie, 1967, p. 55).

El lector habrá advertido que la teoría de la verdad por la cual me incliné, en este capítulo, para defender que la tecnología sí guarda un vínculo filosófico substancial con la verdad es la teoría clásica de la verdad correspondentista, cuyo criterio de evaluación se basa en el célebre esquema de T de Tarski: el enunciado "la nieve es blanca" es verdadero *syss* la nieve es blanca. Dicho en otras palabras, lo que hace a un enunciado verdadero es su correspondencia con el estado de cosas que describe.

56 Así lo muestro con más detenimiento en artículo de mi autoría (Flórez *et al.*, 2019).

Lo anterior no significa que, para discusiones posteriores, se pueda explorar el vínculo con otra noción de verdad, como la "verdad práctica" aristotélica. Como bien lo señala el profesor Alfredo Marcos, "la verdad práctica tiene dos dimensiones: concordancia entre deseo e intelecto (por ello se trata de un tipo de verdad) y creación de un bien objetivo (por ello es práctica)" (Marcos, 2010, p. 136). Y aunque, si bien, en su propósito original Aristóteles planteó la verdad práctica en estrecha conexión con la prudencia (*i.e.*, se da en el dominio de la ética), el propio Marcos sugiere extender esta noción al dominio de la ciencia y la técnica: "¿Podríamos extender esta noción de verdad práctica, como descubrimiento creativo, a la ciencia y a la técnica? En mi opinión así es. Para eso necesitamos reconocer los aspectos prácticos de la ciencia y los aspectos cognoscitivos de la técnica. [...] Necesitamos integrar definitivamente el conocimiento y la acción humana" (Marcos, 2010, p. 143). Este autor incluso llega a afirmar que el artefacto tecnológico es un modo de adecuación —y recordemos que la teoría correspondentista evoca precisamente la verdad por *adequaetio*— entre las necesidades humanas y las disponibilidades (p. 146).

En virtud de lo que argumenté en este capítulo, la noción de verdad es un criterio normativo que también es operativo en el conocimiento tecnológico. Para defender este planteamiento, combiné una estrategia crítica y propositiva, dado que no sólo evalué críticamente los argumentos de quienes suscriben que no hay relación alguna entre tecnología y verdad, sino que además he asumido el desafío de mostrar que hay genuinos enunciados tecnológicos, como los que el lector puede identificar en la teoría de vigas y en la teoría de placas, los cuales pueden ser evaluados tal y como se valoran típicamente los enunciados, *i.e.*, con base en la verdad o la falsedad.

Capítulo 4

La naturaleza de los descubrimientos tecnológicos

¿Hay descubrimientos tecnológicos?

La tesis de que hay descubrimientos en el dominio de la tecnología es filosóficamente desafiante, entre otras razones, porque el uso mismo del término *descubrimiento* puede parecer desafortunado. Se podría aducir, por ejemplo, que *descubrir* significa hallar algo que estaba oculto o que desconocíamos en *la naturaleza*, y puesto que los artefactos[57] —que son los objetos que creamos en el dominio de la tecnología— no son el tipo de objetos que están propiamente ocultos en la naturaleza, podría inferirse que el

57 Como muy bien lo señala De Vries (2016), los artefactos tecnológicos constituyen nuestro encuentro inmediato con la tecnología. Las características propias de los artefactos son: (i) su naturaleza física y funcional. La "función" en sentido matemático tiene que ver con las transformaciones de un número en otro; aplicado a la tecnología, podemos decir que una máquina de café *transforma* la materia prima en deliciosas y calientes tazas de café. Una *función técnica* consiste en provocar un cambio de una situación o un estado en otro estado. Las funciones están estrechamente relacionadas con las intenciones humanas; (ii) un artefacto permite ejecutar una acción que es necesaria para satisfacer un estado deseado; (iii) en los artefactos están involucradas, por lo menos, dos personas: el diseñador, quien es la persona responsable de hacer las modificaciones en aquello que alguna vez fue un objeto natural, y el usuario; (iv) el diseñador tiene la intención de que el artefacto satisfaga algún propósito práctico, y para ello debe considerar las intenciones de los usuarios.

uso del término *descubrimiento* en este contexto resulta impropio. Adicionalmente, se podría argumentar que incurrimos en un error categorial cada vez que insistimos en que hay *descubrimientos* en tecnología, dado que los artefactos tecnológicos o bien ayudan a descubrir lo que estaba oculto en la naturaleza (recuérdese el uso de instrumentos de observación o medición en la ciencia), o bien hacen posible la transformación de la realidad; pero no son algo que los ingenieros *descubran* propiamente en la naturaleza.

Para responder a estos reparos, encuentro que podemos conservar la intuición realista[58] con base en la cual *descubrir* significa hallar algo que estaba oculto en la naturaleza y simultáneamente mantener que hay genuinos descubrimientos técnicos.

Antes de adelantar un contraste entre aquello que se descubre en las ciencias puras (o básicas) con aquello que se descubre en la ciencia aplicada, creo que resulta conveniente indicar algunas de las diferencias que se han señalado en la literatura filosófica entre la naturaleza de la ciencia pura (y la investigación pura) y la ciencia aplicada (e investigación aplicada). Quintanilla, por ejemplo, sositene:

> El objetivo de la investigación básica es el incremento del conocimiento científico en general. Sus resultados característicos son el descubrimiento de nuevas teorías, hechos y regularidades legales y la explicación o predicción de fenómenos de cierta clase. […] El objetivo de la investigación aplicada, por contraste, se considera, por definición, orientado a objetivos específicos, pero estos pueden ser de interés estrictamente científico y objetivos de interés tecnológico. En el primer caso, hablamos de investigación científica aplicada. En el segundo, se suele hablar de investigación tecnológica. La diferencia estriba en los criterios de valoración de los resultados que en uno y otro caso se utilizan. En el primer caso, lo que interesa es obtener conocimiento verdadero acerca de la realidad estudiada (la descripción completa del genoma humano, por ejemplo). En el segundo, conocimiento útil con vistas a la resolución de problemas prácticos, es decir, el diseño de sistemas tecnológicos (el diseño de un sistema para curar el cáncer, por ejemplo). (Quintanilla, 2017, p. 130)

58 Devitt (2010) mantiene que el realismo tiene *dos dimensiones*. La primera dimensión, o *dimensión de existencia*, compromete al realista tanto con la existencia de entidades de sentido común, como árboles, piedras y gatos, como con la existencia de entidades científicas, como electrones, muones y el espacio curvilíneo. La segunda dimensión, o *dimensión de independencia*, se caracteriza por comprometer al realista con la tesis de que esas entidades existen con independencia de nuestras mentes, nuestras capacidades cognitivas, nuestros estados mentales, el poder sintetizador de la mente, las teorías o el lenguaje.

Para Feibleman, por contraste, las diferencias entre ciencia pura y ciencia aplicada son sutiles, los dos términos connotan diferencias importantes y reconocibles. Algunas de sus caracteristicas distintivas substanciales se pueden resumir en la tabla 4.

Tabla 4. Cuadro comparativo entre ciencia pura y ciencia aplicada

Ciencia pura	Ciencia aplicada
La ciencia pura sirve a dos propósitos humanos: *saber* y *hacer.* Es un método para investigar la naturaleza y aumentar nuestra comprensión de ella. El propósito cognitivo primario es satisfacer nuestro deseo de saber.	La ciencia aplicada es simplemente ciencia pura aplicada. Es un sistema concreto de interpretaciones de las proposiciones científicas dirigido a algún fin humano.
Usa el método científico que tiene más de un fin: *la explicación* y *la aplicación.* *Usa el método experimental aunque muchas de sus actividades no son experimentales.*	Usa el método científico.
Una adecuada explicación se logra a partir de la formulación de leyes.	Aplica las leyes descubiertas.
Propósito: aumentar nuestra comprensión de la naturaleza.	*Propósito:* controlar la naturaleza. Tiene como tarea emplear los hallazgos de la ciencia pura para fines prácticos (1983, p. 33).
Entre sus resultados está el suministrar las leyes que son aplicadas en la ciencia aplicada.	Tiene entre sus resultados estimular los descubrimientos en la ciencia aplicada.
	No hay ciencia aplicada sin ciencia pura.
	Estudio (de las teorías en las que descansa el trabajo de los ingenieros) de los metales o de la física de la lubricación…
El bioquímico puro explora los componentes del carbón. Física pura: es lo mismo que la física teórica. (Ejemplo propio adicional).	El bioquímico es aplicado cuando explora los efectos fisiológicos de alguna droga. Física aplicada: se basa en las leyes de la física para utilizarlas en sistemas prácticos, *e.g.*, el diseño de aceleradores de partículas para estudiar la materia.

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, por las características distintivas que contrasta Feibleman, no me parece que haya una línea nítida que las separe. Es más, hay límites notoriamente brumosos. La idea de que la ciencia aplicada es un sistema de interpretaciones de las proposiciones de la ciencia pura sugiere que en la ciencia aplicada no se formulan proposiciones propias. Incluso

parece sugerir que, mientras lo propio de la ciencia pura es teorizar, lo propio de la ciencia aplicada es, como su nombre lo indica, aplicar el conocimiento cultivado en la ciencia básica. La ciencia aplicada sería, así, un conocimiento parasitario de la ciencia pura. Sin embargo, como lo defendí en el capítulo anterior de este trabajo, en el dominio de las ciencias ingenieriles —*qua* ciencias aplicada— también se han formulado teorías, tal y como lo muestra la ingeniería estructural. En esta se han planteado —*inter alia*— *la teoría de vigas* y *la teoría de placas o láminas*.

Pasemos ahora a considerar el tipo de entidades y procesos que descubrimos en el dominio de la ciencia y en la clase de cosas que podríamos identificar en el dominio de la tecnología. Los descubrimientos en las ciencias (puras) son variados y distintos en naturaleza: mujeres y hombres de ciencia han descubierto, a lo largo de la historia de la ciencia, cuerpos celestes que no son visibles a ojo desnudo (*e.g.*, las lunas de Júpiter, identificadas por primera vez por Galileo, el descubrimiento del planeta Urano y de numerosas estrellas y nebulosas que se acredita a Caroline y William Herschel). En otras palabras, los científicos descubren objetos, fenómenos[59], regularidades (o simplemente leyes, como la ley de la gravitación), o conexiones causales (como la relación entre la combustión y el oxígeno). Desde una perspectiva realista, los fenómenos, las regularidades y las interacciones causales entre distintos fenómenos han estado allí en la naturaleza a la espera de ser descubiertos.

En el dominio de la tecnología también podemos hacer descubrimientos[60], y no me refiero a aquellos fenómenos que hallamos con la ayuda de instrumentos sino, *sensu estricto*, a los descubrimientos que tienen lugar a partir de los *diseños*[61]. Gracias al diseño de artefactos, los ingenieros descu-

59 Los fenómenos bien pueden denotar cosas, objetos (en nuestro ejemplo: cuerpos celestes) o procesos (Hacking, 1983).

60 Este punto de vista también es mantenido por Stephen Toulmin: "If, in physics, someone claims to have discovered something, what sort of demonstration will justify us in agreeing that, whereas this was not previously known, it can be regarded as known? It is like that required when an explorer discovers a new river […] or when an engineer discovers how to bridge a hitherto-ubridgeable river" (1953, p. 17).

61 Así como una de las actividades características de la ciencia pura es *teorizar*, lo propio de la tecnología (y muy especialmente de la ingeniería) es *diseñar*. De acuerdo con Quintanilla (2017), diseñar es concebir un sistema intencional de acciones capaces de transformar objetos concretos de forma eficiente para conseguir un objetivo que se considera valioso (p. 104). Para Krick, diseñar consiste en resolver problemas prácticos que surgen del reconocimiento de una necesidad o deseo que, en apariencia, se

bren nuevos y mejores materiales (*e.g.*, el grafeno) o nuevos usos de materiales ya conocidos, así como soluciones más eficientes para resolver un problema (*e.g.*, la separación del condensador en la máquina de vapor de Watt). Incluso podemos afirmar, sin temor a equivocarnos, que los ingenieros bien pueden descubrir (al diseñar) el principio de funcionamiento de un artefacto, como lo ilustra estupendamente el principio de trabajo expansivo descubierto por James Watt gracias a su prototipo de la máquina de vapor.

Lo propio cuando hay descubrimientos en tecnología es *inventar* una técnica. Dicho en otras palabras, *descubrir* en el dominio de la tecnología es, epistemológicamente, equivalente a *inventar*. Justamente por ello, el filósofo español Miguel Ángel Quintanilla (2017) plantea:

> Una invención es un diseño que introduce una novedad técnica, es decir, que supone *el descubrimiento de una nueva técnica*. La novedad puede afectar a los componentes, a los resultados o a la estructura de la técnica. Los inventos más radicales son aquellos que afectan a todas las partes de una técnica, como ocurre con la máquina de vapor, el motor eléctrico, la bombilla eléctrica, la cámara fotográfica, el aeroplano, el teléfono, la radio, la televisión, el transistor o el computador digital. Se trata de artefactos que tienen propiedades nuevas, que utilizan componentes que no habían sido nunca utilizados para funciones equivalentes y cuya estructura, por lo tanto, es completamente original. (p. 113; el subrayado es mío)

Por supuesto, se podría rechazar la identificación de los inventos con los descubrimientos tecnológicos a partir de las siguientes premisas: los artefactos, a diferencia de los objetos descubiertos en las ciencias puras (por ejemplo, fenómenos, procesos, entre otros), son creaciones humanas. Se podría alegar además que, aunque los materiales que se descubren en

---

puede satisfacer mediante un dispositivo, una estructura o un proceso (Krick, 1991, p. 37). Para Wright (2007), "los diseños de un ingeniero pueden ser tan pequeños e intrincados como un microchip para un sistema de computación, o tan grandes y complejos como un transbordador espacial. Realizar un diseño en ingeniería es concebir, imaginar, trazar y planificar un dispositivo, una estructura, un proceso o un sistema que beneficie a las personas" (pp. 121-122). Como las definiciones anteriores no me satisfacen completamente, propongo la siguiente: diseñar comprende un conjunto de acciones (intencionadas y no intencionadas) capaces de transformar la naturaleza o la sociedad con el propósito de satisfacer nuestras necesidades o deseos. Lo anterior es posible gracias a la creación o modificación de objetos (*i.e.*, artefactos, dispositivos), estructuras o procesos, cuyo resultado bien puede ser una técnica completamente nueva (invención); o la aplicación de una técnica ya disponible o incluso una modificación de esta (innovación).

la tecnología están integrados por componentes naturales (*e.g.*, el hormigón armado es una mezcla de cemento, agua, gravilla, que se refuerza con mallas de acero o fibra), el hormigón no tiene el mismo estatus ontológico que el planeta Urano. Mientras el hormigón armado es un objeto artificial creado por el hombre, el planeta Urano es un objeto natural. El primero no existía hasta que no fue inventado y patentada su técnica por el constructor William Wilkinson. El segundo, por contraste, existió siempre, incluso antes de que fuese descubierto por William Herschel[62]. Es un hecho indiscutible que los objetos tecnológicos se diferencian de los objetos científicos en que los primeros son artificiales, mientras que los segundos son naturales. Sin embargo, los ingenieros encuentran muchas aplicaciones fascinantes que estaban también ahí en la naturaleza a la espera de ser descubiertas, *inter alia*, la mejor combinación de esos elementos, o de los posibles usos de un material, o incluso la manera como podría funcionar un artefacto. Sin lugar a dudas, estos hallazgos son el resultado del ingenio aplicado a la solución de problemas prácticos, entre ellos, la construcción de obras o de dispositivos.

Para apoyar la tesis de que hay genuinos descubrimientos técnicos, consideremos el diseño de la máquina de vapor. Los ingenieros que trabajaron en los distintos prototipos de la máquina de vapor descubrieron no solo *el principio mismo de acción de la máquina*, a saber: que el vapor era un medio eficaz para elevar el agua de las galerías de las minas de carbón, además descubrieron el principio de funcionamiento de la máquina de vapor; *i.e.*, el principio de transformación de la energía térmica del vapor del agua en energía mecánica. Un principio que, como es bien sabido, luego inspirará la formulación de la ley de la conservación de la energía en la ciencia de la termodinámica. Su inventor, James Watt, se percató de que los diseños coetáneos desperdiciaban una gran cantidad de energía enfriando y calentando repetidamente el cilindro, por lo que se ingenió *un mecanismo* que consistía en separar el condensador. Con ello, no solo evitaba la pérdida de energía, sino que además mejoraba substancialmente la potencia y la eficiencia en comparación con otros prototipos.

62 De acuerdo con la teoría del mundo 3 de Popper y la tesis de la autonomía, los artefactos tecnológicos también serían habitantes del mundo 3 (en cuanto incorporan conocimiento objetivo). Desde esta perspectiva, tales artefactos están a la espera de ser descubiertos mediante los procesos de invención, diseño, fabricación de prototipos, prueba y ajuste típicos en este tipo de empresa. Para una discusión detallada de los objetos del mundo 3 y sus características, véase García (2019).

Este nuevo artefacto logró que el vapor se condensara en un recipiente especial (llamado *condensador*), el cual se conectaba al cilindro a través de un tubo que se cerraba en sus dos extremos, lo que permitía mantener el vapor caliente. Gracias a esta novedad técnica se ahorraba una gran cantidad de combustible. Es importante resaltar que antes de Watt la condensación se realizaba en el mismo recipiente y no en uno separado. La inyección de agua fría se realizaba a cada golpe en el cilindro mismo, lo cual obligaba a calentar y a enfriar el cilindro generando un gran gasto de vapor y de agua fría.

Watt introdujo otras novedades en su diseño, *inter alia*, el prototipo de doble efecto que empleaba el vapor alternadamente al obrar a cada lado del émbolo mientras se hacía vacío en el otro lado. Adicionalmente, empleó una barra dentada en lugar de cadenas en los extremos de los émbolos de la bomba y la balanza, con lo que podía llevar a cabo un movimiento circular alternativo (y no rectilíneo como el de la máquina de Newcome; véase figura 3). Watt introdujo también el *manómetro* para la caldera y el *indicador* para determinar el estado del vapor en la caldera[63].

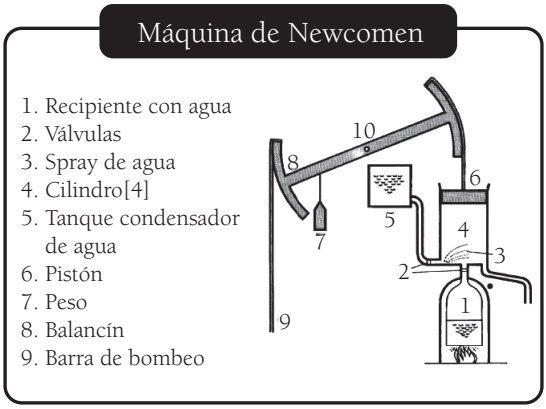

Figura 3. Máquina de Newcomen
Fuente: abertoroura.com

63 Agradezco a la estudiante graduada del programa de Maestría en Filosofía de la Universidad de Caldas, María Alejandra Rivillas, que haya llamado mi atención sobre algunas de las novedades descubiertas por Watt mencionadas aquí.

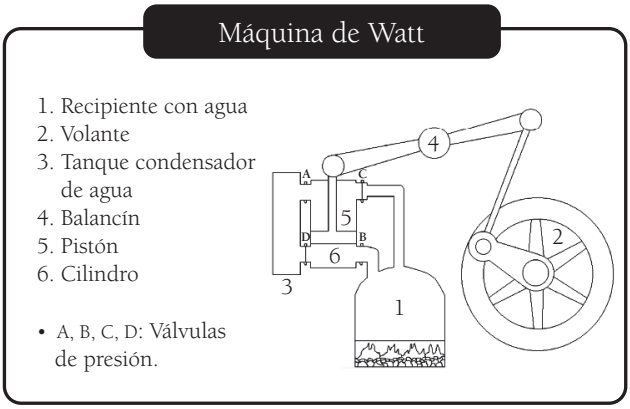

Figura 4. Máquina de Watt
Fuente: abertoroura.com

Pese a que el argumento histórico es persuasivo, todavía podría parecer inadecuada la identificación de los descubrimientos técnicos con los inventos, dado que es más preciso decir que Watt inventó el condensador, y no que lo descubrió. Esto es cierto en el argot popular; sin embargo, también es cierto que Watt descubrió una solución técnica muy audaz, con base en la cual evitaba el derroche de energía: como acabamos de verlo, su solución técnica consistió en diseñar un recipiente en el que se condensaba el vapor.

Con base en lo expuesto hasta aquí, resulta dable mostrar que hay genuinos descubrimientos en tecnología, y que además es legítimo identificar los inventos tecnológicos con los descubrimientos técnicos. En el apartado que sigue examinaré su estructura, o si se prefiere, las condiciones de posibilidad de los descubrimientos técnicos.

Sobre la estructura de los descubrimientos técnicos

La afirmación de que la ciencia progresa parece una verdad de perogrullo, especialmente cuando consideramos los asombrosos descubrimientos de las leyes (o conexiones causales) que gobiernan el mundo natural, de las entidades que pueblan el universo y de la naturaleza de variados fenómenos que las mentes más brillantes en la historia del pensamiento humano han llevado a cabo. De hecho, nuestra intuición básica sobre el avance de la

ciencia descansa en el supuesto de que los descubrimientos constituyen el motor del progreso científico. Con base en ello, parece apenas natural que, para una comprensión más completa de los peculiares mecanismos del progreso científico, examinemos la estructura misma de los descubrimientos científicos. Sin embargo, esta perspectiva no ha sido unánimemente sostenida. Mucho menos entre aquellos filósofos que comenzaron a cultivar, en el período de entreguerras, la por entonces joven filosofía de la ciencia. Aunque la tarea de investigar la relación entre descubrimientos científicos y el progreso resulta, sin lugar a dudas, fascinante, los filósofos ortodoxos de la ciencia —entre ellos, Popper (1935) y Reichenbach (1938)— la delegaron a historiadores y psicólogos de la ciencia, bajo el argumento de que la investigación de los factores psicológicos, históricos y sociológicos que intervienen en las prácticas científicas pertenecen al denominado *contexto de descubrimiento*. En este dominio, que no es de competencia del filósofo, se examinan aquellos factores extralógicos que juegan algún rol en el conocimiento científico; *e.g.*, los relativos a la génesis de las teorías que, por su naturaleza, escapan por completo al análisis formal. A partir de una perspectiva así, es claro que el examen de la estructura misma de los descubrimientos científicos debe quedar excluido de la filosofía de la ciencia.

Para los filósofos clásicos de la ciencia, un estudio detallado de la estructura lógica del conocimiento científico (una tarea que tiene lugar en *el contexto de justificación*[64]) es, por contraste, suficiente para comprender los mecanismos con base en los cuales progresa la ciencia. No obstante, esta tesis fue controvertida, a comienzos de los años sesenta, por los miembros de la conocida Revuelta Historicista. Este movimiento intelectual estaba conformado por un grupo de filósofos e historiadores de la ciencia como Thomas Kuhn, Paul Feyerabend, Imre Lakatos, Stephen Toulmin y Norwood R. Hanson, quienes reivindicaron el análisis diacrónico y pragmático de las teorías científicas y recuperaron el análisis de la ciencia como un fenómeno histórico y cultural. Este resultado fue posible porque "la revuelta historicista" promovió los estudios sobre el "contexto de descubrimiento". Los filósofos de la revuelta historicista cuestionaron, además, la hegemonía de los estudios del "contexto de justificación" promovidos por los filósofos clásicos de la ciencia, cuyos partidarios defendían la tesis de

64 La distinción entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación mantenida por Hans Reichenbach (la cabeza visible del célebre grupo intelectual *Círculo de Viena*) y Karl Popper tiene, entre sus antecedentes filosóficos, la distinción kantiana entre el *Quid Juris* y el *Quid Facti* (*Crítica de la razón pura*).

que el análisis exclusivamente lógico de las teorías científicas debía ignorar los factores relativos a su génesis.

Inspirada en las contribuciones de los filósofos de la concepción historicista, especialmente en el célebre trabajo *The Structure of Scientific Revolutions* de Thomas Kuhn, en este acápite argumentaré a favor de dos tesis. La primera tesis, que es la más controversial, plantea que los patrones históricos que Kuhn identifica en su análisis de la estructura de los descubrimientos científicos se pueden considerar como genuinas condiciones necesarias y suficientes de los descubrimientos. La segunda tesis que propongo plantea que los descubrimientos técnicos exhiben la misma estructura que Kuhn identifica en los descubrimientos científicos. Mi análisis no se limitará a completar la información histórica de aquellos acontecimientos que hicieron posible uno de los descubrimientos técnicos más publicitados durante el siglo XVIII: *el descubrimiento de la botella de Leyden* y sobre el que Kuhn ofrece un análisis muy exiguo, sino que procuraré determinar si la estructura de los descubrimientos científicos exhibe los mismos patrones del progreso científico: episodios de ciencia preparadigmática, ciencia normal y ciencia extraordinaria.

Condiciones necesarias y suficientes de los descubrimientos

Uno de los capítulos más complejos de *The Structure of Scientific Revolutions* (en adelante *SScR*) de Thomas Kuhn aborda el análisis de los descubrimientos científicos y se titula *Anomaly and the Emergence of Scientific Discoveries*. Es un texto desafiante en virtud de tres razones: la primera estriba en que Kuhn controvierte allí la distinción canónica entre "contexto de descubrimiento" y "contexto de justificación" mencionada arriba. Esta distinción resulta arbitraria si consideramos que los patrones históricos que Kuhn identifica en el análisis de algunos descubrimientos científicos bien conocidos podrían ser estimados igualmente como genuinas condiciones necesarias y suficientes de los descubrimientos. La segunda radica en que la teoría kuhniana de los descubrimientos científicos viola la intuición de sentido común que vincula los descubrimientos científicos con el cambio de teorías. Según el análisis kuhniano, no todos los descubrimientos conducen necesariamente a la *sustitución* de teorías. La tercera consiste en que, a partir de los casos históricos que Kuhn examina, podemos advertir que tales patrones se repiten no solo en los descubrimientos científicos (*e.g.*,

el descubrimiento del oxígeno o de la fisión del Uranio), sino que esta estructura es compartida tanto por los descubrimientos serendípicos (*e.g.*, el descubrimiento de los rayos X), como por los descubrimientos técnicos, tal y como se puede apreciar en el examen de la botella de Leyden.

Los patrones históricos que Kuhn identifica en su *SScR* y que pueden ser considerados, a su vez, como condiciones necesarias y suficientes son: (i) el reconocimiento de la anomalía, (ii) la exploración del fenómeno anómalo y (iii) el ajuste entre la anomalía y la teoría. Los dos primeros patrones los podemos considerar como *condiciones necesarias* de los descubrimientos, mientras que el tercer patrón constituye tanto una *condición necesaria*, como una *condición suficiente*. Veamos en detalle cada condición.

El reconocimiento (*awareness*) de una anomalía. Una anomalía es "un fenómeno que viola expectativas teóricas profundamente arraigadas" (Kuhn, 1996, pp. 52-54), se trata de un fenómeno que no se comporta según los pronósticos estipulados por el paradigma[65] vigente. Un ejemplo histórico que sirve para ilustrar el rol de las anomalías en los descubrimientos científicos es el fenómeno del aumento de peso en la combustión y en la calcinación de metales como el azufre y el fósforo. De acuerdo con el paradigma vigente en la química del siglo XVIII (el flogisto), durante la calcinación y la combustión los cuerpos que ardían liberaban flogisto, por lo que al liberarlo debían perder peso. Este paradigma fue mantenido por Stahl, y entre sus más afamados seguidores se contaban Priestley, Scheele y Cavendish. Sin embargo, en contra de lo que pronosticaba la teoría, cuando los metales eran calcinados, en lugar de perder peso, lo aumentaban. Esta anomalía, que no resultó apremiante para los seguidores del paradigma del flogisto, fue decisiva para proponer un nuevo sistema teórico en la química como el que ideó el químico francés Lavoisier.

Una experiencia similar relató el físico Röntgen cuando descubrió los rayos X. Röntgen interrumpió la investigación que adelantaba sobre la fluorescencia que producían los rayos catódicos cuando notó que, tras cubrir el tubo con un cartón negro para eliminar la luz visible, la pantalla de cianuro de bario resplandecía cuando se producía la descarga. La percep-

65 En razón del carácter polisémico del término *paradigma*, podemos inclinarnos por una definición funcional como la que propone Quintanilla (2017): "Un paradigma es una entidad híbrida compleja que comprende no solo un conjunto de teorías científicas, leyes y modelos, sino también un conjunto de compromisos ontológicos, conceptuales y metodológicos" (p. 171).

ción de dicho resplandor constituye el reconocimiento de que tiene lugar un fenómeno anómalo.

Si bien el reconocimiento de una anomalía es una *conditio sine qua non* de los descubrimientos científicos, no es, sin embargo, una condición suficiente, ya que la percepción de una anomalía por sí sola no garantiza que tenga lugar el descubrimiento. Justamente por ello, en muchas ocasiones, resulta difícil al historiador atribuir un descubrimiento a un solo individuo en un momento histórico determinado. El análisis del descubrimiento del oxígeno es una prueba de ello. Según Kuhn (1996):

> Al menos tres hombres de ciencia tenían el derecho legítimo de atribuirse el descubrimiento del oxígeno, dado que habían obtenido aire enriquecido en sus laboratorios sin saberlo. Entre ellos el farmacéutico sueco Scheele quien había preparado una muestra pura del gas en su laboratorio. Una historia similar le ocurrió al científico y clérigo británico Joseph Priestley, quien había adelantado distintos experimentos con el óxido de mercurio. En 1774 identificó las pruebas obtenidas como óxido nitroso, pero en 1775 lo identificó como "aire común" con una cantidad menor de flogisto. (p. 53)

De acuerdo con los registros históricos, entre 1771 y 1773 tres científicos tuvieron oxígeno en sus manos, Scheele, Priestley y Lavoisier; sin embargo, los dos primeros lo explicaron a la luz de la teoría del flogisto, mientras que el trabajo que emprendió Lavoisier, entre 1776 y 1777, no solo lo condujo a ver el gas, sino que lo condujo a ver *lo que* el gas era[66]. Kuhn ofrece un análisis similar sobre el descubrimiento de los rayos X por Röntgen. En dicho análisis se pregunta: ¿en qué momento de la investigación llevada a cabo por Röntgen se puede decir que fueron realmente descubiertos los rayos X? Su respuesta es que, naturalmente, no fue al comienzo mismo de la investigación cuando Röntgen había notado que la pantalla resplandecía, ya que con toda seguridad otros investigadores habían notado el mismo resplandor sin descubrir nada (Kuhn, 1996, p. 57).

El análisis de los dos casos históricos que Kuhn estudia rebate de manera contundente la definición ampliamente extendida del descubrimiento científico como "un acto simple y singular asimilable a nuestro concepto usual de ver, a partir del cual se puede atribuir el descubrimiento a un individuo en un momento específico determinado" (Kuhn, 1996, p. 55).

66 Lavoisier se consideró a sí mismo como un codescubridor del oxígeno, especialmente porque para Priestley este no era la causa de la combustión, sino solamente un soporte de ella. Véase al respecto: Agassi (2008, p. 391).

En su opinión, los descubrimientos son eventos complejos que involucran simultáneamente la observación y la conceptualización. Para ver cómo ello es así, consideremos los otros dos patrones (o condiciones) de los descubrimientos científicos.

Exploración del área de la anomalía. Una vez se ha detectado un fenómeno anómalo, los científicos se concentran en su estudio, y adelantan un examen gradual para lograr el reconocimiento observacional y conceptual. A este trabajo se dedicó Lavoisier entre 1776 y 1777. Así mismo, tras observar el resplandor de la pantalla de cianuro de bario, Röntgen trabajó durante siete agitadas semanas, en las que raras veces salió de su laboratorio. Gracias a la exploración de la zona de la anomalía *se da un reconocimiento tanto conceptual como observacional*. Este constituye, de hecho, *la segunda condición necesaria* de los descubrimientos científicos. El reconocimiento conceptual exige, de ordinario, abrazar un nuevo sistema de creencias. Lavoisier, por ejemplo, ideó un nuevo sistema conceptual. Como es bien sabido, introdujo los conceptos de "elemento" y "oxígeno" que aportaron una nomenclatura precisa a la denominada *Revolución Química* del siglo XVIII. Adicionalmente, condujo a un cambio significativo *en los procedimientos experimentales* que hicieron posible la cuantificación de la química, gracias al progresivo interés por el análisis cuantitativo y a la atención especial en la medida. Recordemos que el propio Lavoisier diseñó la balanza de brazos para medir el peso y el volumen de las sustancias sometidas a la combustión, así como el gasómetro.

Ahora bien, aunque la exploración de la anomalía es una condición necesaria, no es una condición suficiente para que haya un descubrimiento. La condición que por sí sola puede dar lugar a un descubrimiento científico consiste en explicar la anomalía a partir de una teoría. Veamos enseguida cómo.

El ajuste de la anomalía con la teoría. *Una condición necesaria y suficiente* para que tenga lugar un descubrimiento científico consiste en explicar satisfactoriamente la anomalía a partir de una teoría que adquiere, tras un período de crisis profesional[67], el estatus de paradigma. La teoría que Lavoisier puso a prueba tras anunciar el descubrimiento del oxígeno es, de hecho,

67 Los episodios de crisis en la ciencia son períodos de una profunda inseguridad profesional en una comunidad científica, que son provocados, *inter alia,* por el fracaso persistente en la resolución de los problemas tradicionales, lo cual conduce a un derrumbamiento de la actividad científica normal (Kuhn, 1996, pp. 66-76).

su teoría de la combustión del oxígeno expuesta en el *Tratado elemental de Química.* Allí Lavoisier (1743-1794/1864-1893) sostenía:

> He deducido todas las explicaciones de un principio simple: que el aire puro, el aire vital, está compuesto de un principio particular que le es propio, que forma su base y que yo he denominado "principio oxígeno", [...] una vez admitido este principio, las dificultades fundamentales de la química parecen desvanecerse y disiparse, y todos los fenómenos son explicados con sorprendente simplicidad. (Lavoiser, *Euvres.* t.II, p.p. 126-127)

En este orden de ideas, Kuhn (1996) afirma: "Lo que Lavoisier anunció en sus artículos de 1777 no fue tanto el descubrimiento del oxígeno como su teoría de la combustión del oxígeno. Dicha teoría era la pieza clave de una reformulación de la química, tan vasta que generalmente se conoce como revolución química" (p. 56). Ahora bien, el descubrimiento del oxígeno no tiene la naturaleza que tienen otros descubrimientos en la ciencia, como el descubrimiento de leyes experimentales; *e.g.*, la ley de Boyle o la ley de Hooke, que se pueden considerar propiamente como descubrimientos acumulativos, que tendrían lugar en la fase que ocupa la mayor parte del tiempo a los científicos, y que Kuhn denomina *Ciencia Normal*. La Ciencia Normal es, según Kuhn, un episodio que se caracteriza porque los científicos dedican la mayor parte de su tiempo a la resolución de problemas a partir de un paradigma. Recordemos que para Kuhn la *Ciencia Normal* es:

a* La investigación basada firmemente en uno o más logros científicos pasados, logros que una comunidad científica particular reconoce durante algún tiempo como el fundamento de su práctica ulterior (Kuhn, 1996, p. 10).

b* La investigación encaminada a las operaciones de retoque y mantenimiento (*v.g.,* que buscan ampliar el aumento y la precisión del paradigma).

c* La investigación encaminada a hacer encajar los fenómenos en el marco de los compromisos teóricos.

d* No está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos ni se inventan nuevas teorías.

e* Es una actividad de resolución de rompecabezas.

f* Las fallas en la investigación normal no se le atribuyen a la naturaleza sino al científico y a su labor.

Con base en lo anterior, la *Ciencia Normal* se caracteriza por ser un episodio en el que los científicos dedican la mayor parte de su tiempo a resolver problemas teóricos y experimentales (*puzzles*) a la luz de un paradigma. De manera esquemática tendríamos que:

X se halla en una fase de ciencia normal syss:

Hay al menos un paradigma que orienta la investigación teórica y experimental. En términos formales: Para todo X, si X ha cruzado el umbral de la madurez científica, *i.e.*, se halla en una fase de ciencia normal, entonces X tiene por lo menos un paradigma:

$\forall X\ [X \in CN \supset XP]$ (Flórez, 2022, pp 4-5).

De vuelta al análisis del descubrimiento del oxígeno, este puede ser estimado —tal y como lo plantea Bird (2000)— como *un descubrimiento guiado por una anomalía*. Este tipo de descubrimientos se caracteriza porque tienen un elemento destructivo, ya que conducen o bien a la revisión y abandono del paradigma vigente, o bien a la alteración de técnicas experimentales convencionales (*e.g.*, el descubrimiento de los rayos X).

A partir de lo anterior, podemos colegir que la estructura de los descubrimientos durante los episodios de ciencia normal y de *ciencia extraordinaria* (período en el que tienen lugar *las revoluciones científicas*, *i.e.*, es el período en el que un paradigma es sustituido por otro) inicia justamente cuando es necesario ofrecer una explicación alternativa sobre el fenómeno anómalo y difiere en los siguientes dos aspectos. El primero consiste en que mientras los descubrimientos en ciencia normal son acumulativos (*i.e.*, las proposiciones que los describen se añaden al sistema de creencias ya disponible), los descubrimientos en ciencia extraordinaria, por contraste, no se pueden añadir a las creencias existentes en virtud de su naturaleza destructiva. El segundo consiste en que los descubrimientos que conducen a cambios revolucionarios (*i.e.*, que conducen a la sustitución de una teoría por otra) están guiados por una anomalía, mientras que los descubrimientos en *Ciencia Normal* no. De acuerdo con Kuhn (2000):

> El cambio revolucionario se define en parte por su diferencia con el cambio normal, y este es, como ya se ha indicado, el tipo de cambio que tiene como resultado el crecimiento, aumento, o adición acumulativa a lo que se conocía antes. Las leyes científicas, por ejemplo, son usualmente productos de este proceso normal: la ley de Boyle ilustrará lo que está aquí en juego. Sus descubridores poseían previamente los conceptos de presión y volumen de un gas, así como los instrumentos requeridos para determinar sus magnitudes. El descubrimiento de que el producto de la presión y el volumen de una muestra dada de un gas era una constante a temperatura constante se añadía simplemente al conocimiento del modo como se comportaban estas variables ya comprendidas. (p. 14)

En el pasaje anterior podemos apreciar un ejemplo que ilustra un descubrimiento típicamente acumulativo y que tiene lugar en episodios de ciencia normal: l*a ley de Boyle*. Pero, ¿cuál es la naturaleza o estructura de este tipo de descubrimientos? Dos perplejidades surgieron cuando me formulé esta pregunta. La primera de ellas me llevó a averiguar si los descubrimientos en ciencia normal están guiados necesariamente por el paradigma vigente. La segunda me condujo a la pregunta, ¿por qué la ley de Boyle es un descubrimiento acumulativo?

Para responder a la primera perplejidad, debo decir que *algunos* de los descubrimientos que tienen lugar en los episodios de *Ciencia Normal* están guiados por un paradigma, mientras que otros no. Los primeros se dan como resultado de extender el campo de aplicaciones del paradigma a otros dominios, tal y como lo ilustra la ley de Coulomb. Por esta razón se considera que la ley de la atracción electrostática es el análogo perfecto de la ley de la gravitación universal. Como Newton no dijo nada sobre la electricidad o el magnetismo, la ley de Coulomb representa claramente una adición a las leyes de Newton (Bird, 2000, p. 35); y esto es algo que podemos apreciar al comparar las dos leyes:

- Ley de la gravitación universal de Newton: La fuerza ejercida entre dos cuerpos de masas m1 y m2 separadas por una distancia *r* es proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
- Ley de la electrostática de Coulomb: La magnitud de cada una de las fuerzas eléctricas con que interactúan dos cargas puntuales en reposo es directamente proporcional al producto de la magnitud de ambas cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa y tiene la dirección de la línea que las une.

Cuando se extiende el campo de aplicaciones de un paradigma a partir de la adición de nuevas leyes al *corpus teórico*, el descubrimiento de las leyes que se añade a dicho *corpus* se hace bajo el modelo del paradigma vigente. No ocurre así con la ley de Boyle. Históricamente, la ley de Boyle precede a la formulación misma de los *Principia* de Newton (1687), que es el paradigma al que habría que vincular la ley de los gases (1662) —como también se conoce a esta ley[68]—. La ley de Boyle no es una aplicación ni

68 Para ser más precisos, la ley de Boyle es solo *una* de las leyes de los gases. De ahí que la ley de los gases se denomine a veces como *ley de Boyle-Marriote*; o *ley Gay-Lussac*;

una extensión del paradigma vigente, sino que se trata de una ley experimental que estaba a la espera de ser explicada. En este caso, a la espera de ser explicada por la teoría cinética de los gases, cuyas presuposiciones teóricas son newtonianas (Bird, 2000, p. 36).

En lo que concierne al segundo interrogante, *i.e.*, por qué la ley de Boyle es un descubrimiento acumulativo, podemos decir que se añade al reconocido campo de la química pneumática del siglo XVII que estaba orientado a la comprensión de las propiedades físicas y químicas de los gases, incluyendo la atmósfera. Por eso, no debe resultarnos sorprendente que en el pasaje de Kuhn, arriba citado, se afirme que los descubridores de la ley ya poseían los conceptos de *presión* y *volumen*. En el argot de los filósofos de la ciencia estructuralista[69], estos términos son no teóricos; *i.e.*, corresponden a términos previamente disponibles.

---

o *ley de Charles*. Aunque esto puede dar lugar a confusiones en el análisis historiográfico, lo cierto es que la ley de Boyle es junto con la ley Gay-Lussac, *entre otras*, parte del *corpus* teórico que es subsumido en lo que se conoce como la *ley general de los gases*. Estas leyes se refieren a cada una de las variables que explican el comportamiento de los gases: presión, volumen y temperatura. La ley de Charles establece que el volumen y la temperatura son directamente proporcionales cuando la presión es constante. La ley de Boyle afirma que la presión y el volumen son inversamente proporcionales entre sí a temperatura constante. Finalmente, la ley de Gay-Lussac introduce una proporcionalidad directa entre la temperatura y la presión, siempre y cuando el volumen sea constante. Por otro lado, la ley de Boyle también se conoce como *ley de Boyle-Marriote* en razón de que fue formulada independientemente por Boyle (1662) y por Marriotte (1676).

69 Este nuevo enfoque en la filosofía de la ciencia se caracteriza por suscribir el lema de que "presentar una teoría no es presentar una clase de axiomas, las teorías no se identifican con un conjunto de enunciados. Presentar una teoría es presentar una clase de modelos". De ahí que se identifique a este enfoque como *concepción semántica,* al enfatizar la importancia de los modelos en el análisis de la ciencia (Díez y Moulines, 1999, p. 328). Entre los representantes más conspicuos de esta teoría están Sneed, Moulines y Stegmüller. La distinción que muy bien aprovechan los estructuralistas entre términos teóricos y términos no teóricos fue anticipada por Hempel bajo la locución "términos previamente disponibles" (*Aspects of Scientific Explanation*, 1965). Kuhn, de hecho, encuentra muy atractiva la propuesta de Hempel según la cual los términos teóricos deben ser relativos a una teoría en particular. Los términos son teóricos con respecto a una teoría concreta si sólo pueden ser aprendidos con la ayuda de esta teoría. Son términos previamente disponibles si primero tienen que ser aprendidos en otra parte, antes de que la teoría pueda aprenderse. Así pues, "fuerza" es teórico con respecto a la dinámica newtoniana y es un término previamente disponible con respecto a la teoría electromagnética. A juicio de Kuhn, reemplazar el concepto de "términos observacionales" por el de "términos previamente disponibles" tiene

Históricamente, los conceptos de *presión* y *volumen* están vinculados a los experimentos sobre la presión atmosférica. Los filósofos naturales de mediados del siglo XVII se esforzaron por producir un vacío artificial, y contradecir mediante un hecho así el postulado aristotélico de que la naturaleza aborrece el vacío (*horror vacui*). Esta preocupación dio lugar a un animado debate (en los inicios de la modernidad) entre plenistas y defensores del vacío (quienes revivieron el atomismo de Demócrito y redescubrieron el *De Rerum Natura* de Lucrecio). Entre los logros más celebrados en la historia de la ciencia asociados a los esfuerzos por comprender la naturaleza de la atmósfera y producir un vacío artificial están el descubrimiento del peso del aire de Torricelli (o lo que es lo mismo: de la presión atmosférica) y el experimento de Magdeburdo de Von Guerick. Estos dos descubrimientos inspiraron de manera significativa el trabajo experimental que Robert Boyle llevó a cabo en su laboratorio privado, con la ayuda de uno de los asistentes más notables en la historia de la ciencia: Robert Hooke.

Torricelli descubrió en 1644, en una época en la cual "los investigadores habían volcado su atención hacia la producción experimental del vacío" (Webster, 1965, p. 445), que la atmósfera tiene peso; o dicho en otras palabras, descubrió la presión atmosférica. Este descubrimiento es un logro que se derivó de un experimento muy elegante en el que Torricelli empleó un tubo con mercurio (de un metro de largo). El tubo estaba cerrado por uno de los extremos. Torricelli lo invirtió sobre una cubeta llena de mercurio. Inmediatamente la columna de mercurio bajó a los 76 centímetros (*i.e.*, 760 milímetros). La conclusión que derivó el más afamado discípulo de Galileo planteaba que la presión de la atmósfera era igual a la ejercida por una columna de mercurio, *i.e.*, 760 milímetros de altura. En otras palabras, la columna de mercurio caía porque la presión atmosférica ejercida sobre la superficie del mercurio equilibraba la presión de sus pesos.

Como los investigadores que se volcaron a producir un vacío artificial no tenían inhibiciones para apelar al concepto de *vacío* con el fin de estimar el peso del aire (Webster, 1965, pp. 446-447), se dieron a la tarea de repetir el experimento de Torricelli. Entre ellos se destaca Pascal, quien

---

tres ventajas, a saber: (i) acaba con la aparente equivalencia entre "observacional" y "no teórico", (ii) eventualmente permite que la distinción entre "términos teóricos" y "previamente disponibles" pueda llegar a convertirse en evolutiva y (iii) centra la atención en el proceso mediante el cual un vocabulario conceptual se transmite de una generación a la siguiente, al considerar la distinción como una distinción evolutiva. Véase: Kuhn (2000, p. 12).

sugirió a su cuñado Périer que subiera al Puy-de Dôme, una cima cerca de Clermont, con el propósito de evaluar si el mercurio en el barómetro[70] era menor en la cima que en el valle.

> De hecho, Pascal le pidió lo imposible a Périer: a saber, subir la montaña varias veces durante el día, para asegurarse de que no había variaciones accidentales en la altura del mercurio. Périer, sin embargo, fue mucho más allá de la sugerencia de Pascal al depender de dos barómetros —uno de ellos permanecía en un monasterio en la parte baja de la montaña— por lo que se denominó a este experimento 'un experimento continuo', el barómetro era revisado por un monje quien comparaba sus lecturas con el que era llevado a la cima de la montaña. El objetivo de Périer era claro: era concebible que la presión del aire cambiara durante el día. Es más, las lecturas del barómetro en la base de la montaña confirmaron que la altura de la columna de mercurio no había cambiado. La altura de la columna de mercurio en la cima de la montaña era, sin embargo, notablemente menor. (Buchwald y Fox, 2013, p. 213)

Así descubrieron las fluctuaciones barométricas a causa del cambio de las condiciones del clima (Agassi, 2008, pp. 401-402). En 1647, Pascal confirmó la predicción de Torricelli e incluso llegó a anticipar la relación entre el volumen del aire y la presión (Webster, 1965, p. 450). Otro de los experimentos que fue decisivo en los estudios que Boyle emprendió sobre las propiedades físicas y químicas de los gases fue el famoso experimento de Magdeburgo de Otto von Guerick (figura 5):

> Guerick hizo una espectacular demostración de la inmensa fuerza que la atmósfera podía ejercer, al mostrar que cuando dos hemisferios de 50 centímetros de diámetro perfectamente ajustados se unían de manera que formasen una esfera y se hacía el vacío en su interior, dos tiros de ocho caballos cada uno no podían separarlos. En efecto, como la atmósfera ejerce una presión de cerca de unos 985 gramos por centímetro cuadrado, se habría necesitado una fuerza de varias toneladas para lograrlo. (Derry y Williams, 1977, p. 453)

70 El barómetro fue inventado por Torricelli en 1643. Se trata de un artilugio formado por un tubo de vidrio de unos 850 mm de altura, cerrado por el extremo superior y abierto por el inferior. El tubo se llena de mercurio, se invierte y se coloca el extremo abierto en un recipiente lleno del mismo líquido. Al destaparse, el mercurio del tubo desciende unos centímetros, dejando en la parte superior un espacio vacío que se conoce como: "cámara barométrica" o "vacío de Torriecelli". A propósito de su descubrimiento, Torricelli dijo: "Vivimos en el fondo de un océano del elemento aire, el cual, mediante una experiencia incuestionable, se demuestra que tiene peso".

Figura 5. El célebre experimento con la bomba de aire de von Guerick
Fuente: elaboración propia.

Boyle estaba probablemente familiarizado con el experimento de Torricelli para el tiempo en que se introdujo en Inglaterra en 1647, pero no fue sino hasta 1658 que comenzó el estudio sistemático de las propiedades físicas y químicas del aire. El más grande estímulo para el trabajo de Boyle fue la bomba de aire de Otto von Guerick (Webster, 1965, p. 464). De hecho, Ernst Mach llegó a decir que los experimentos de Boyle con la bomba de vacío eran variaciones del experimento de Guerick (Agassi, 2008, p. 401). Inspirado en este artefacto y en el que diseña su asistente Robert Hooke, Boyle diseñó su propia bomba de aire o máquina pneumática para probar la hipótesis de la elasticidad del aire (que hoy denominamos presión), cuyos aspectos cuantitativos quedaron espléndidamente formulados en su texto *New Experiments Physico-Mechanical* (1662), en el que demostró la relación entre la elasticidad (o presión) y el volumen del aire.

Boyle presentó los resultados de sus experimentos en forma de tablas que contenían los valores numéricos de los resultados experimentales. Entre ellos, su experimento con un tubo en forma de J, el cual estaba abierto en la parte superior, más larga; y sellado en la parte más corta. El experimento consistía en verter mercurio en la parte larga y medir tanto la altura como la disminución del volumen en la parte más corta del tubo. Al verter el mercurio aumentaba la presión, mientras que el volumen del gas disminuía (Buchwald y Fox, 2013, p. 228) (figura 6).

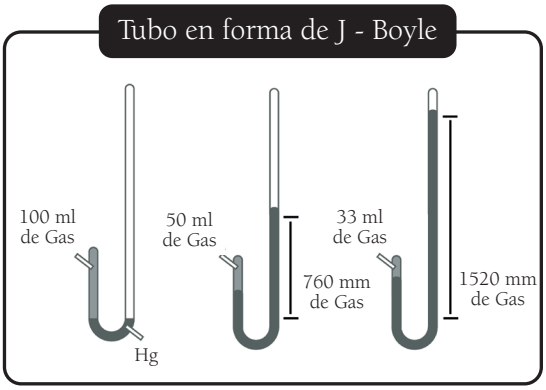

Figura 6. Tubo en forma de J empleado por Boyle para sus experimentos con gases
Fuente: elaboración propia.

Tal y como lo ilustran los antecedentes históricos del descubrimiento que relaciona presión y volumen, su descubridor, Robert Boyle, no sólo disponía de los términos que son cruciales para explicar el comportamiento de los gases, sino que gracias a que ya se habían realizado experimentos muy sofisticados para comprobar que el aire tenía peso (*e.g.*, los experimentos barométricos de Torricelli y las variaciones que hicieron, entre otros, Pascal y su cuñado Périer; los experimentos del vacío en el vacío por Auzot y Roberval[71]) y que ya se habían diseñado distintos tipos de instrumentos (el tubo de Torricelli; la vejiga de Roberval), este conocimiento acumulado resultó decisivo e inspirador para Hooke y Boyle, de manera que la ley que vincula presión y volumen se añade al sistema de creencias de los químicos pneumáticos de mediados del siglo XVII.

Con base en el análisis anterior, podemos comparar las diferencias en la estructura de los descubrimientos en ciencia normal y en aquellos episodios en los que los descubrimientos están guiados por una anomalía (a estos episodios, se les conoce como episodios de *ciencia extraordinaria*) (tabla 5).

71 El astrónomo Adrien Auzout llevó a cabo experimentos que se denominaron "experimentos del vacío en el vacío". El asunto en juego era similar al involucrado en el experimento en Puy-de Dôme, a saber: modificar las condiciones externas para determinar si se alteraba la columna de mercurio. (Buchwald y Fox, 2013, pp. 214-215). A Roberval también se le atribuye otra importante variante de los experimentos del vacío en el vacío. Remito al lector interesado en los detalles de estos experimentos al libro de Buchwald y Fox (2013).

Tabla 5. Descubrimientos en episodios normales y extraordinarios

Descubrimientos en episodios naturales	Descubrimientos en episodios extraordinarios
1. Condiciones necesarias: (i) el fenómeno hallados, bien puede ser uno que se esperaba se comportara así, en concordancia con el paradigma vigente (ley de Coulomb), bien puede ser uno que espera ser explicado a la luz del paradigma vigente (ley de Boyle); y que, en todo caso, no viola las expectativas que induce el paradigma vigente.	1.Condiciones necesarias: (i) *percepción de anomalías*, (ii) reconocimiento conceptual y observacional. *Caso histórico: el descubrimiento del oxígeno.*
2. Condición suficiente: articulación del experimento con el paradigma vigente.	2. Condición suficiente: articulación del experimento con la teoría.
Consecuencias: No conduce a la revisión del conocimiento previo, ni a la alteración de las técnicas experimentales convencionales, ni a la corrección de la manera como se interpretan los datos.	**Consecuencias:** Se sustituye un paradigma por otro.

Fuente: elaboración propia.

Ahora que ya hemos examinado la estructura de los descubrimientos en ciencia normal y ciencia extraordinaria, analicemos la estructura de los descubrimientos técnicos.

La estructura de los descubrimientos tecnológicos

Es curioso que Kuhn incluya el descubrimiento de la botella de Leyden en su análisis de la estructura de los descubrimientos científicos por varias razones. En primer lugar, se trata de un descubrimiento técnico, dado que la botella de Leyden es el primer capacitor del que se tiene conocimiento en la historia de la tecnología. En segundo lugar, de acuerdo con el modelo que Kuhn defiende, la botella de Leyden fue inventada antes de que se estableciera el primer paradigma en electrofísica, es decir, antes de que la teoría de Franklin adquiriese el estatus de paradigma. Con ello Kuhn sugiere que hay descubrimientos en los episodios preparadigmáticos de la ciencia. Estos estadios se caracterizan, *inter alia*, por la ausencia de paradigmas. Si esta interpretación es correcta, violaría la intuición de sentido común según la cual los descubrimientos científicos están siempre asociados al cambio de teorías. Sin embargo, de acuerdo con el análisis de Kuhn, los descubrimien-

tos no conducen necesariamente a la sustitución de teorías. Si hay descubrimientos en episodios preparadigmáticos, dado que en estos episodios no hay paradigmas, un descubrimiento puede hacer que triunfe una teoría sobre sus rivales[72], como lo ilustra el caso de la botella de Leyden, pero no constituye *sensu estricto* una sustitución de un paradigma por otro (*e.g.*, fenómeno que sí se da gracias al descubrimiento del oxígeno por Lavoisier).

Los patrones que Kuhn identifica en los descubrimientos científicos y que se pueden entender, a su vez, como sus condiciones necesarias y suficientes, también permiten explicar la naturaleza de los descubrimientos técnicos. Para apoyar esta tesis, examinaré el descubrimiento de la botella de Leyden, con base en los registros históricos ya ampliamente documentados por los historiadores de la tecnología. Lo primero que debemos buscar en los reportes históricos es el patrón o *conditio sine qua non* de los descubrimientos y que Kuhn denomina *reconocimiento de una anomalía*.

Reconocimiento de una anomalía. como es bien sabido, la botella de Leyden (figura 7) toma su nombre del más publicitado descubrimiento en la Universidad de Leyden y que estuvo asociado al laboratorio del afamado físico y diseñador de instrumentos Petrus van Musschenbroek. Uno de los visitantes asiduos al laboratorio de Musschenbroek era Andreas Cunaeus, un abogado fascinado con los experimentos eléctricos. Un día, en 1746, Cunaeus buscaba electrificar el agua de su casa, y sostuvo una botella de líquido en sus manos que conectó a un conductor primario. Al comprobar la carga del agua, se sorprendió de encontrarla considerablemente mayor de lo que pensaba. Cunaeus informó este resultado inesperado a Musschenbroek, quien realizó ese mismo experimento muchas veces los días subsiguientes, para lo cual empleó un globo de vidrio, en lugar de una botella. El resultado era el mismo: el gran profesor recibió una sacudida tan severa que sus efectos perduraron incluso horas después. Musschenbroek publicó rápidamente los resultados de sus experimentos y recibió todo el crédito a pesar de que el alemán Ewald Jurgen von Kleist había descrito el mismo efecto.

72 Se podría objetar que, puesto que un descubrimiento en ciencia pre paradigmática hace que triunfe una teoría sobre sus rivales, entonces conduce a la sustitución de una teoría por otra. Sin embargo, durante estos episodios realmente coexisten varias teorías rivales. En opinión de Kuhn, en la fase del desarrollo primitivo de la óptica coexistían, *prima facie*, tres teorías. De acuerdo con la primera, la luz está compuesta de partículas que emanan de los cuerpos. La segunda teoría estipula, por contraste, que la luz es una modificación entre el medio, el objeto y el ojo. La tercera, plantea que la luz se da a partir de la interacción entre el medio y una emanación del ojo. *The Structure of Scientific Revolutions,* particularmente en: *The Route to Normal Science.* (1996).

Con base en los reportes históricos anteriores es claro que la *anomalía* percibida fue la fuerte descarga que experimentaron Cunaeus, Musschenbroek y otros curiosos. Justamente por ello, la botella de Leyden causó estupor entre los electro-físicos: su funcionamiento y la causa de la descarga que producía les resultaba incomprensible (Schiffer *et al*., 2003, p. 46).

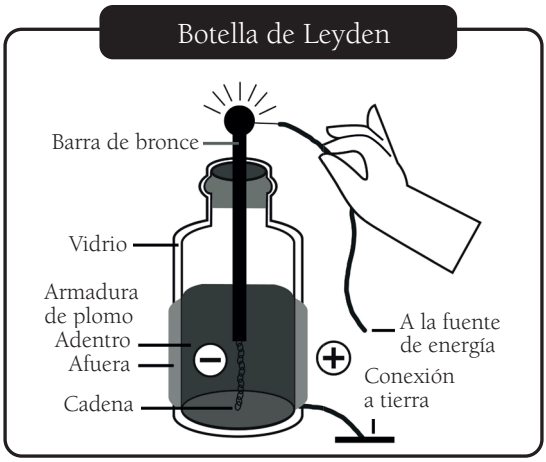

Figura 7. Botella de Leyden
Fuente: elaboración propia.

Tal y como acabamos de ver a partir del análisis de estos descubrimientos científicos, la percepción de una anomalía es una condición necesaria, mas no una condición suficiente de los descubrimientos. Se requiere, además del *reconocimiento conceptual y observacional, el ajuste del experimento con la teoría*. Consideremos cómo se cumple cada condición en el descubrimiento de la Botella de Leyden.

Reconocimiento conceptual y observacional. Aunque la botella la diseñó Musschenbroek, fue Franklin quien realmente consiguió explicar su funcionamiento. Esto, por supuesto, no debe sorprendernos, dado que quien diseña o inventa un artefacto no tiene que disponer necesariamente de una formulación explícita de los principios científicos que explicarían el funcionamiento de dicho artefacto. De hecho, históricamente ha sido posible diseñar numerosos artefactos sin depender de teorías científicas preexistentes, tal y como lo ilustra la invención de la máquina de vapor. Como ya se ha indicado en este trabajo, la máquina fue patentada por Watt

en 1769, mientras que la termodinámica (la teoría científica que explica su funcionamiento) fue formulada por Sadi Carnot en 1824, en sus *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. La primera y segunda ley de la termodinámica fueron formuladas en 1850 por Clausius y Lord Kelvin, casi un siglo después de que fue diseñada la máquina. Lo anterior ha motivado el rechazo de la identificación de la tecnología con ciencia aplicada.

En razón de lo anterior, no debe sorprendernos que hubiese sido otro científico (y, en nuestro caso, uno de la talla de Franklin) quien explicara la anomalía que Musschenbroek percibió. Para ello, el científico norteamericano propuso la teoría del fluido único, en oposición a los dos tipos de electricidad que se habían propuesto en su tiempo por du Fay y Nollet: la electricidad vítrea y la electricidad resinosa. Para Franklin sólo había un tipo de electricidad que podía manifestarse en dos estados: positivo o negativo. *La teoría única* de Franklin, junto con la realización de experimentos muy ingeniosos, le permitió resolver el misterio de la botella de Leyden. Primero observó que las cargas de la botella adentro y afuera de los conductores siempre eran opuestas e iguales. Enseguida notó que solamente la conexión externa de los dos conductores restablecía el "equilibrio" natural; la carga no pasaba a través del vidrio. Después de numerosas y variadas descargas de la botella de Leyden usando diferentes medios que incluían personas, alambres, corchos, libros aislantes de cera, entre otros, Franklin comenzó a contemplar la hipótesis de que la carga no residía en los conductores de la botella (agua adentro y metal afuera), sino en la botella misma (Schiffer, 2003, p. 49).

A la luz de lo anterior, el científico norteamericano propuso un *modelo mecánico* para explicar la botella de Leyden. En su modelo, cargar un objeto eléctricamente implicaba la transferencia de un *fluido eléctrico* que estaba presente en toda la materia. Cuando dos objetos se frotan entre sí parte del fluido eléctrico de uno pasa al otro. Como resultado, un objeto tiene una cantidad extra de fluido eléctrico y el otro un déficit de dicho fluido. Un exceso de fluido producía una clase de carga eléctrica, que Franklin llamó *positiva*. Un déficit del mismo fluido producía la otra clase de carga eléctrica, que denominó *negativa*.

Franklin no sólo reconoció o identificó a la botella de Leyden como un condensador; es decir, como un dispositivo capaz de almacenar electricidad que posee cargas iguales y opuestas; sino que adicionalmente lo hizo sobre la base de una teoría bien articulada, en la que explicaba la naturaleza misma

de la electricidad. De hecho, gracias a que Franklin disponía de un aparato conceptual y teórico apropiado, inventó la batería eléctrica (Schiffer, 2003, p. 49). Ahora podemos contrastar, a partir de la tabla 6, las diferencias entre los descubrimientos que tienen lugar en los episodios pre paradigmáticos, los que tienen lugar en los episodios de *Ciencia Normal*, y los que ocurren en los episodios revolucionarios.

Tabla 6. Condiciones necesarias y suficientes de los descubrimientos

Descubrimientos en episodios preparadigmáticos	Descubrimientos en episodios normales	Descubrimientos en episodios extraordinarios
1. Condiciones necesarias: (i) percepción de anomalías, (ii) reconcomiento conceptual y observacional. *Caso histórico: la botella de Lyden*	1. Condiciones necesarias: (i) el fenómeno hallado bien puede ser uno que se esperaba se comportara así, en concordancia con el paradigma vigente (ley de Coulomb), (ii) bien puede ser uno que espera ser explicado a la luz del paradigma vigente (ley de Boyle), y que, en todo caso, no viola las expectativas que induce el paradigma vigente.	1. Condiciones necesarias: (i) percepción de anomalías, (ii) reconcomiento conceptual y observacional. *Caso histórico: descubrimiento del oxígeno.*
2. Condición suficiente: articulación de la hipótesis y el experimento.	2. Condición suficiente: articulación del experimento con el paradigma vigente.	2.Condición suficiente: articulación del experimento con la teoría.
Consecuencias: Significa el triunfo de una teoría sobre sus rivales, por lo que da lugar al surgimiento de un paradigma El triunfo de la teoría de Franklin sobre la teoría del fluido de Nollet.	**Consecuencias:** No conduce a la revisión del conocimiento previo, ni a la alteración de las técnicas experimentales convencionales, ni a la corrección de la manera como se interpretan los datos.	**Consecuencias:** Se sustituye un paradigma por otro.

Fuente: elaboración propia.

Nótese que, en la fase del desarrollo pre paradigmático y de ciencia extraordinaria, las condiciones necesarias y suficientes (o patrones históricos) para los descubrimientos son las mismas. La única diferencia estriba en las consecuencias. Es decir, tanto en episodios preparadigmáticos como en episodios de ciencia extraordinaria, los descubrimientos tienen lugar gracias *al reconocimiento de una anomalía; i.e.*, gracias a la percepción de

un fenómeno que no se comporta como se esperaba. Una vez se percibe el fenómeno anómalo, los científicos se emplean a fondo para explicar dicho fenómeno, ya sea a partir de una teoría (*articulación entre el fenómeno/teoría)*, que bien puede triunfar sobre sus rivales, en cuyo caso se trata de un descubrimiento preparadigmático; o bien a partir de la formulación de una nueva teoría que sustituye al paradigma vigente (*articulación entre el fenómeno/paradigma*), en cuyo caso se trata de un descubrimiento extraordinario.

Se podría objetar que al identificar los patrones históricos de los descubrimientos científicos con las condiciones necesarias y suficientes que los hacen posibles, se incurre en la falacia naturalista; *i.e.*, que se traslada de manera ilegítima el dominio de los hechos (sucesos históricos) hacia el dominio de lo normativo (que es propio de la lógica). Como es bien sabido, incurrimos en la falacia naturalista cuando derivamos conclusiones evaluativas a partir de hechos; o incluso cuando reducimos propiedades normativas (*e.g.*, lo bueno) a propiedades naturales (*e.g.*, sentir placer). Sin embargo, no hay que temer a esta amenaza dado que la relación entre condiciones necesarias y suficientes también puede ser una relación de tipo causal: consideremos las condiciones necesarias para la vida. Sabemos muy bien que los ácidos nucleicos son condiciones necesarias para la vida; *i.e.*, estos son claramente agentes causales de la vida. De manera que la distinción entre condiciones necesarias y suficientes puede a su vez establecer una relación de tipo causal entre acontecimientos[73].

En este capítulo argumenté a favor de dos tesis. La primera de ellas plantea que hay genuinos descubrimientos en tecnología y que estos se pueden identificar conceptual y epistemológicamente con los inventos. A partir de la segunda tesis sostuve que los descubrimientos técnicos exhiben la misma estructura que Kuhn identifica en su teoría de los descubrimientos científicos. Con base en dicho análisis, el reconocimiento de una anomalía es una *conditio sine qua non*, tanto de los descubrimientos científicos, como de los descubrimientos técnicos. Para apoyar este planteamiento evalué uno de los casos históricos que el propio Kuhn propuso en su *The Structure of*

73 La relación entre condiciones necesarias y suficientes también puede ser conceptual, definicional, lógica o regulativa. Un ejemplo que ilustra la relación entre condiciones necesarias y suficientes como relación conceptual es el siguiente: una condición necesaria para ser un mamífero es ser homeotermo. Otro ejemplo que ilustra la relación definicional es el siguiente: una condición necesaria y suficiente para ser soltero es estar no casado. Finalmente, la relación regulativa se puede explicar a partir del siguiente caso: tener 18 años es una condición necesaria para ser mayor de edad.

Scientific Revolutions, a saber: *el descubrimiento de la Botella de Leyden*. La anomalía que causó estupor entre los electrofísicos del siglo XVII era la sacudida severa que experimentaron todos aquellos quienes, llenos de curiosidad, sostuvieron la botella en sus manos. Este caso histórico resulta decisivo en la formulación de una teoría filosófica de los descubrimientos técnicos dado que revela que los patrones que Kuhn identifica en su teoría de los descubrimientos son comunes a los descubrimientos científicos (*e.g.*, el descubrimiento del oxígeno o de la fisión del Uranio), a los descubrimientos serendípicos (*e.g.*, el descubrimiento de los rayos X), y a los descubrimientos técnicos, tal y como se puede apreciar en el examen del descubrimiento de la botella de Leyden. Las otras dos condiciones son: el reconocimiento observacional y conceptual; y el ajuste entre la teoría o paradigma con el fenómeno anómalo observado. En el caso histórico examinado, fue Franklin quien resolvió el llamado "misterio de la botella de Leyden" (*i.e.*, explicó las causas de las descargas eléctricas), a partir de la formulación de su *teoría del fluido único*.

Conclusiones

En las páginas anteriores defendí que no sólo podemos reclamar un lugar para la tecnología en el dominio del conocimiento, sino que adicionalmente la estructura que exhibe el conocimiento tecnológico es mucho más compleja que lo que se ha planteado de ordinario en la literatura filosófica. Cuando emprendí la tarea de analizar la estructura del conocimiento tecnológico, me tropecé con dos dificultades: la primera, que los epistemólogos han descuidado durante largo tiempo el análisis de la tecnología como una forma genuina de conocimiento; y la segunda, que cuando han dirigido su atención a aquella terminan por ofrecer una imagen increíblemente deflactada de la estructura del conocimiento tecnológico.

Lo anterior me motivó a mostrar en el primer capítulo que los argumentos que Marc De Vries ofrece para sostener que la tecnología no satisface las condiciones necesarias y suficientes del conocimiento, estipuladas en la definición tripartita de Platón, no son concluyentes. De hecho, en ese capítulo —y en los subsiguientes— ofrezco distintas razones para mostrar que el conocimiento tecnológico también es conocimiento proposicional, tal y como lo ilustran las teorías tecnológicas (*e.g.*, la teoría de vigas o la teoría de placas). De manera que parece apresurado concluir —como lo hace De Vries— que el conocimiento tecnológico no es proposicional. Ahora bien, si el conocimiento tecnológico también es proposicional, no es legítimo inferir que la

definición tripartita del conocimiento no consigue explicar la naturaleza del conocimiento tecnológico.

Aunque de cara a la literatura filosófica podría parecerle al lector que la tesis central que defiendo en este trabajo (*i.e.*, que la tecnología es una forma genuina de conocimiento) no es una tesis original (si se tiene en cuenta que el filósofo Ian Jarvie sostiene una postura similar), al menos se puede conceder que recurrí a argumentos nuevos y originales. Por ejemplo, en el segundo capítulo de este trabajo abogué por un tratamiento distinto del que ofrece el díscipulo de Popper. Mientras para Jarvie la tecnología *qua saber-cómo* es una forma de *saber-qué (saber qué funciona),* yo sostengo que estos dos tipos de saberes que componen la estructura del conocimiento tecnológico son distintos en naturaleza y son dependientes; es decir, que el conocimiento tecnológico involucra tanto un *saber-cómo, i.e.,* un conjunto de habilidades y destrezas necesarias para las actividades de diseño (además de las que exigen las simulaciones y los experimentos en ingeniería); e involucra un *saber-qué;* esto es, comprende conocimiento proposicional que se caracteriza por tener distintos niveles de complejidad. Puede corresponder: (i) a saber qué funciona, (ii) a la aplicación de principios explicativos de una teoría formulada en una ciencia básica (*e.g.*, la aplicación de teoría de la fisión del uranio para el diseño de la bomba atómica); (iii) a proposiciones tecnológicas (que se formularían en las teorías o leyes tecnológicas).

Un examen de la estructura del conocimiento tecnológico no sería completamente satisfactorio si desantendiésemos el análisis de la naturaleza del *espacio normativo del conocimiento tecnológico*. Justamente por ello, en lo que concierne a esta tarea me propuse defender —como se aprecia en el capítulo tercero— una tesis bastante controversial y que se aleja por completo del punto de vista estándar mantenido entre los filósofos de la tecnología, me refiero a la tesis que señala que no hay vínculo alguno entre tecnología y verdad. En contra de esta perspectiva, defendí que la tecnología sí guarda un vínculo filosófico substancial con la verdad. En otras palabras, argumenté que la verdad es un criterio normativo que también es operativo en el conocimiento tecnológico. Para defender este planteamiento, asumí el desafío de mostrar que hay genuinos enunciados tecnológicos, como los que el lector puede identificar en la teoría de vigas y en la teoría de placas, los cuales pueden ser evaluados tal y como se evalúan típicamente los enunciados, *i.e.*, con base en la verdad o la falsedad.

Finalmente, en el último capítulo examiné la estructura de los descubrimientos técnicos, en razón de que nuestra intuición básica sobre el

progreso descansa en el supuesto de que los descubrimientos constituyen el motor del avance científico o tecnológico. Como parece apenas natural que para una comprensión adecuada de los peculiares mecanismos del progreso científico o tecnológico debamos examinar la estructura misma de los descubrimientos, resulta sorprendente que esta empresa también haya sido descuidada por los filósofos. Es por ello que, sacando provecho de la teoría kuhniana de los descubrimientos científicos, no me limité a completar la información histórica de aquellos acontecimientos que hicieron posible uno de los descubrimientos técnicos más publicitados durante el siglo XVIII (*el descubrimiento de la botella de Leyden* y sobre el que Kuhn ofrece un análisis muy exiguo), sino que además argumenté que la estructura de los descubrimientos técnicos exhibe los mismos patrones que la de los descubrimientos científicos.

Naturalmente los planteamientos que he defendido en este trabajo deben considerarse como aproximaciones de solución provisionales a problemas que se han discutido durante las últimas décadas en el dominio de la filosofía de la tecnología, por lo que no sobra decir que todavía son susceptibles de mejoramiento. No obstante, el proceso de investigación para llegar a estas propuestas reveló otras cuestiones (no previstas en la formulación inicial de mi proyecto) que señalan el camino para futuras investigaciones. Entre estas se destaca la conveniencia de analizar con más detenimiento la naturaleza misma de las teorías tecnológicas.

Para evitar el riesgo de extraviarme en el camino, en varias ocasiones me limité a mencionar o sugerir, de manera escueta, ciertos problemas. Por ejemplo, mencioné —de pasada— algunas de las razones que se esgrimen para rechazar la tesis aplicacionista (*i.e.*, para rechazar la identificación de la tecnología como conocimiento científico aplicado). Suscribir la tesis aplicacionista *simpliciter* —tal y como se hace desde muchos de los perfiles profesionales de las ingenierías que ofrece nuestra Universidad Nacional de Colombia— podría incluso tener consecuencias indeseables en la misma formación del ingeniero, dado que si se prepara a los futuros profesionales con la creencia de que sólo se deben limitar a encontrar aplicaciones exitosas del conocimiento cultivado por otros, ello podría, en el mejor de los casos, limitar su potencial para hacer contribuciones propias al desarrollo de sus propias disciplinas.

Por supuesto, no pretendo ofrecer un listado exhaustivo de los numerosos temas y problemas que apenas quedaron mencionados en el desarrollo de mi proyecto, aunque espero que el lector comparta las razones

que invoco para mantener mi pesquisa en los estrechos límites establecidos por el análisis de la estructura del conocimiento tecnológico. Para finalizar estas páginas, debo reconocer las limitaciones de mi investigación, para cuyos defectos solicito la indulgencia del lector, e invitar a mis eventuales lectores a compartir sus impresiones y sugerencias conmigo, con la convicción de que mis futuros esfuerzos sobre estos temas se vean ricamente beneficiados por sus comentarios y críticas.

Bibliografía

Agassi, J. (2008). Who Discovered Boyle's Law? En *Science and its History. A Reassessment of the Historiography of Science*. Springer.

Arias Maldonado, M. (2018). *Antropoceno: La política en la era humana*. Editorial Taurus.

Aristóteles. (1995). *Metaphysics* (Book A (I). En *Aristotle Selections*. Translated, with Introduction, Notes, and Glossary by Terence Irwin & Gail Fine. Hackett Publishing Company, Cornell University.

Aristóteles. (1995) *Nichomachean Ethics* (6.15-6.71). En *Aristotle Selections*. Translated, with Introduction, Notes, and Glossary by Terence Irwin & Gail Fine. Hackett Publishing Company, Inc. Cornell University.

Asimov, I. (1980). *Introducción a la ciencia*. Plaza y Janés.

Baird, D. (2004). *Thing Knowledge*. Chicago University Press.

Bauchau y Craig. (2009). Euler-Bernoulli Beam Theory. En *Solid Mechanics and its Applications* (pp. 173-221; vol. 163). Springer

Broncano, F. (1996). *Nuevas meditaciones sobre la técnica*. Trotta.

Buchwald y Fox. (2013). *The Oxford Handbook of the History of Physics*. Oxford University Press.

Bugliarello, G. y D.B. Doner. (Eds.). (1976). *The History and Philosophy of Technology*. University of Illinois Press.

Bunge, M. (1979). Philosophical Inputs and Outputs of Technology. En *Philosophy of Technology: The technological condition. An Anthology*. Blackwell Publishing.

Bunge, M. (1980). Filosofía y tecnología. En *Epistemología*. Ariel.

Bunge, M. (2018). *Trabajo introductorio al libro: ¿Qué es la tecnología? de Dominique Raynaud*. Laetoli.

Davidson, D. (2001). A Coherence Theory of Truth and Knowledge. En *Subjective, Intersubjective, Objective*. Oxford University Press.

De Vries, M. (2009). Translating Customer Requirements into Technical Specifications. En *Philosophy of Technology and Engineering Sciences*. Elsevier.

De Vries, M. (2017). Technological Knowledge. En *Teaching about Technology: An Introduction to The Philosophy of Technology for Non-Philosophers*. Springer.

Dennett, D. (2015). *Bombas de intuición y otras herramientas de pensamiento*. Fondo de Cultura Económica.

Derry, T.K. y Williams, T.I. (1977). *Historia de la tecnología: Desde 1750 hasta 1900, II*. Siglo XXI Editores.

Devitt. (2010). Aberrations of the Realism Debate. En *Putting Metaphysics First*. Oxford University Press.

Díez y Moulines. (1999). *Fundamentos de filosofía de la ciencia*. Ariel.

Ellul, J. (1964). *The Technological Society*. Alfred Knopf.
Ellul, J. (2003). *La edad de la técnica*. Octaedro.
Fantl, J. (2017). *Knowledge How*. Stanford Encyclopedia of Philosophy.
Feibleman, J. K. (1983). Pure Science, Applied Science, and Technology: An Attempt at Definitions. En C. Mitcham y R. Mackey (Eds.), *Philosophy and Technology: Readings in the Philosophical Problems of Technology.* The Free Press.
Flórez, D. (2024). *A Defense of Technology as Applied Science*. (*Forthcoming*)
Flórez, D. y García, C. (2017). La naturaleza de la tecnología y sus vínculos con la ciencia: una perspectiva realista y analógica. *Discusiones Filosóficas*, *18*(30), 63-78. https://doi.org/10.17151/difil.2017.18.30.4
Flórez, D. (2012). ¿Exige el realismo científico un compromiso con la teoría correspondentista de la verdad? *Praxis Filosófica*, (34), 11-23, 7-16. https://doi.org/10.25100/pfilosofica.v0i34.3490
Flórez, D. (2019b). ¿Hay inconmensurabilidad tecnológica? *Cuadernos de Filosofía,* (38), 119-141. https://doi.org/10.29393/CF38-5DFHI10005
Flórez, D., García-Duque, C. E. y Ososrio, J. C. (2019a). Is Technology (still) Applied Science? *Technology and Society*, (59). https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.101193
Fórez, D. (2022) Paradigmas: ¿prisiones mentales? *Unisinos Journal of Philosophy*, *23*(1), 1-17. https://doi.org/10.4013/fsu.2022.231.02
Gettier, E. (2000). Is Justified True Belief Knowledge? En E. Sosa y J. Kim (Eds.), *Epistemology: An Anthology. Blackwell Publishers*.
Goldman, A. (2002). A Causal Theory of Knowing. En M. Huemer (Ed.), *Epistemology, Contemporary Readings*. Routledge.
Grech, P. (2001). *Introducción a la Ingeniería: un enfoque a través del diseño*. Pearson Educación.
Haack, S. (1997). *Evidencia e investigación: hacia una reconstrucción en Epistemología.* Tecnos.
Habermas, J. (1986). *Ciencia y técnica como "ideología"*. Tecnos.
Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge University Press.
Hanson, N. R. (1958). *Patterns of Discovery*. Cambridge University Press.
Heidegger, M. (2007). *La pregunta por la técnica*. Folio.
Heidegger, M. (1990). *Die Technik und die Kehre*.Traducción y notas, Salvador Mas Torres: https://revistas.ucm.es/index.php/ASEM/article/view/ASEM9090110129A/17845
Horwich, P. (1991). On the Nature and Norms of Theoretical Commitment. *Philosophy of Science*, *58*(1), 1-14. https://doi.org/10.1086/289596
Hunt, B. (2010). *Pursuing Power and Light: Technology and Physics: From James Watt to Albert Einstein*. The Johns Hopkins University Press.
Ihde, D. (2013). Technology and Science. En J. K. B. Olsen, S. A. Pedersen, V. F. Hendricks (Eds.), *A Companion to the Philosophy of Technology.* Wiley-Blackwell.
Jacques, E. (2003). *La edad de la técnica*. Octaedro.

Jarvie, I. (1966). The Social Character of Technological problems: Comments on Skolimowski's Paper. En Mitcham & Mackey (Ed.), *Philosophy of Technolgy: Readings in the Philosophical Problemas of Technology*. The Free Press.

Jarvie, I. (1967). Technology and the Structure of Knowledge. En C. Mitcham y R. Mackey (Eds.), *Philosophy of Technolgy: Readings in the Philosophical Problems of Technology*. The Free Press.

Jonas, H. (2003). Toward a Philosophy of Technology. En *Philosophy of Technology: The Technological Condition, An Anthology*. Blackwell Publishing.

Kant, I. (1998). *Crítica de la razón pura*. Alfaguara.

Kline, S. (2003). What is Technology. En *Philosophy of Technology: The technological Condition, An Anthology*. Blackwell Publishing.

Kneller, G. (1981). *La ciencia en cuanto esfuerzo humano.* Noema Editores.

Krick, E. (1991). *Fundamentos de Ingeniería: métodos, conceptos y resultados*. Limusa.

Kuhn, T, S. (1996). *The Structure of Scientific Revolutions*. The University of Chicago Press.

Kuhn, T, S. (2000). What are Scientific Revolutions? En *The Road Since Structure*. The University of Chicago Press.

Lavoisier, A. (1743-1794). *Euvres,* París, 1864-1893, 6 vols.

Lehrer, K. (1990). *Theory of Knowledge*. Routledge.

Li-Hua, R. (2013). Definitions of Technology. En J. K. Berg Olsen Friis *et al.* (Eds.), *A Companion to the Philosophy of Technology*. Wiley Blackwell.

Lozano, L. M. (2005). *De Arquímedes a Einstein: los diez experimentos más bellos de la física*. Random House..

Marcos, A. (2010). *Ciencia y acción: una filosofía práctica de la ciencia*. Fondo de Cultura Económica.

McDowell, J. (1994). *Mind and World*. Harvard University Press.

Mumford, L. (1967). *The Myth of the Machine: Technics and Human Development*. Harcourt Brace Jovanovich.

Niiniluoto, I. (1997). Ciencia frente a tecnología: ¿diferencia o identidad? *Arbor*, *CLVII*(620).

Nozick, R. (2002). 'Knowledge'. En M. Huemer (Ed.), *Epistemology, Contemporary Readings*. Routledge.

Plantinga, A. (1993). *Warrant and Proper Function*. Oxford University Press.

Platón. (1966). La República. Libro VII. En *Obras Completas*. Editorial Aguilar.

Platón. (1990). Theaetetus. En *Myles Burnyeat. The Theaetetus of Plato*. Hackett Publishing Company.

Popper, K. (2002 [1935]). *The Logic of Scientific Discovery*. Routledge.

Popper, K. (1972). *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*. Oxford University Press.

Pryor, J. (2005). There is Immediate Justification. En M. Steup y E. Sosa, *Contemporary Debates in Epistemology* (pp. 181-202). Blackwell.

Quintanilla, M. A. (2017). *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología.* Fondo de Cultura Económica.

Radford, C. (1966) Knowledge—by Examples. *Analysis*, *27*(1), 1–11. https://doi.org/10.1093/analys/27.1.1

Rapp. F. (Ed), (1974). *Contributions to a Philosophy of Technology*. D. Reidel, Dordrecht.

Raynaud, D. (2018). *¿Qué es la tecnología?* Laetoli.

Reichenbach, H. (1938). *Experience and Prediction: An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*. University of Chicago Press.

Ryle, G. (1949). *The Concept of Mind*. The University of Chicago Press.

Ryle, G. (1990). *Logical Atomism in Plato's Theatetus. Phronesis,* 35(1), 21-46.

Schiffer, M. (2003). *Draw the Lightning Down: Benjamin Franklin and Electrical Technology in the Age of Enlightenment*. University of California Press.

Sellars, W. (1997). *Empiricism and the Philosophy of Mind*. Harvard University Press.

Simondon, G. (1958/2008). *El modo de existencia de los objetos técnicos*. Prometeo Libros.

Singal, L. C., Singh Gil, R. y Mahajan, A. (2017). Fatigue Mechanical Life Design-A Review. *International Journal of Engineering Research and General Science*, *5*(2).

Skolimowski, H. (1966). The Structure of Thinking in Technology. En C. Mitcham y R. Mackey (Eds.), *Philosophy of Technolgy: Readings in the Philosophical Problems of Technology*. The Free Press.

Stanford Enclyclopedia of Philosophy. (13 de junio, 2006). *Truth. First published. Substantive revision Thu Aug 16, 2018.*

Stanley, J. y Williamson, T. (2001). Knowing How. *The Journal of Philosophy*, *98*(8), 411-44.

Tarski, A. (1944). The Semantic Conception of Truth. *Philosophy and Phenomenological Research*, (4), 341-375.

Toulmin, S. (1953). Discovery. En *Philosophy of Science*. Harper Torchbooks.

Vermaas, P., Kroes, P., van de Poel, I., Franssen, M. y Houkes, W. (2011). A Philosophy of Technology: From technical artefacts to Sociotechnical Systems. A Publication in the Morgan & Claypool Publishers series: *Synthesis Lectures On Engineers, Technology, And Society*.

Weaver, R. (1983). Humanism in an age of science and technology. En C. Mitcham y R. Mackey (Eds.), *Philosophy and Technology*. Collier Macmillan Publisher.

Webster, C. (1965). The Discovery of Boyle's Law, and the Concept of the Elasticity of Air in the Seventeenth Century. *Archive for History of Exact Sciencies*, (2), 441–502. https://doi.org/10.1007/BF00324880

Wheeler, A. y Ganji, A. R. (1996). *Introduction to Engineering experimentation*. Prentice Hall.

Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical Investigations.* The University of Oxford Press.

Wright, P. (2007). *Introducción a la Ingeniería*. Limusa Wiley.

Índice temático

A

argumento 15, 24–29, 32, 35–37, 41, 50–51, 54, 59, 65, 67, 71–72, 74–82, 92–93
artefacto 31, 58–59, 61, 83, 85, 89–91, 104, 108
artefactos tecnológicos 51, 73, 85–86, 90

C

ciencia 13, 15–17, 27, 30, 32–37, 41, 45–47, 51–52, 54–60, 62–63, 65–66, 68–69, 71–78, 80, 83, 86–88, 90, 92–94, 96–102, 105–107, 109–110, 114
ciencia aplicada 30, 37, 52, 54–55, 58–59, 78, 86–88, 109
ciencia básica 15, 33, 36–37, 57–58, 68, 77, 88, 114
ciencia normal 94, 98–100, 105–106, 110
ciencia pura 37, 45, 52, 59, 86–88
conocimiento 13–20, 23–38, 41, 43, 45–61, 66, 68–69, 71, 73–75, 78, 81–83, 86, 88, 90, 93, 99, 105–106, 110, 113–116
conocimiento científico 45, 54–55, 58, 61, 86, 93, 115
conocimiento humano 49, 52, 66
conocimiento intuitivo 33, 35–36
conocimiento práctico 15, 47, 57, 82
conocimiento proposicional 23, 26, 35, 47, 49, 56–58, 60–61, 113–114
conocimiento tecnológico 13, 15, 17, 19, 23–30, 32, 35–38, 41, 43, 45–49, 51–53, 55–58, 61, 69, 71, 73–75, 78, 82–83, 113–114, 116
conocimiento teórico 56–57, 60
conocimiento visualizado 24–26, 32, 35
creencia 15–16, 19–22, 29–30, 38, 40–41, 46, 57, 75, 80, 115

D

descubrimientos 14, 16–17, 35–36, 52, 58, 85–90, 92–100, 102, 105–108, 110–112, 114–115
descubrimientos científicos 16, 35–36, 93–97, 106–108, 111–112, 115
descubrimientos técnicos 16–17, 52, 86, 90, 92, 94–95, 106–107, 111–112, 114–115
descubrimientos tecnológicos 16, 85, 89, 106
diseño 16, 28, 30, 44, 46, 52–59, 61–63, 65, 68–69, 72, 77–78, 80–82, 86–91, 114
dominio de la ciencia 37, 57, 77, 83, 88
dominio de la tecnología 36, 38, 51–52, 54–55, 57, 77–78, 85, 88–89

E

estructura de los descubrimientos 16, 92, 94, 99, 105–106, 114–115
estructura del conocimiento 48, 52, 55, 69, 75, 113–114, 116
experimento 102–108, 110

I

ingeniería 14–15, 17, 30, 33, 40, 43–48, 52, 54–55, 57, 60–63, 65, 68, 75, 78–80, 88, 114
ingeniería civil 48, 75, 78–79
ingeniería estructural 54, 78–79, 88
ingeniería química 30, 44–45, 60

L

Lavoisier 95–98, 107
ley de Boyle 98–101, 106, 110

M

máquina de vapor 31, 53–54, 58–59, 67, 69, 89–90, 108
mecánica clásica 28, 72, 80–81
mécanica cuántica 28, 58, 72, 80

N

naturaleza del conocimiento tecnológico 13, 15, 17, 19, 23, 26, 28–30, 41, 46, 48, 52–53, 114

S

Saber 15, 17, 23–26, 28, 30, 35–36, 43, 47, 49–58, 60–61, 66, 69, 75, 82, 87, 90, 101, 103, 105, 112, 114
Saber cómo 15, 23–26, 30, 47, 49–55, 57, 60
Saber qué 15, 23, 25, 30, 35, 47, 49–58, 60–61, 114

T

técnica 13, 16, 30, 32, 46, 56, 58–61, 63, 81, 83, 85, 88–92
tecnología 13–19, 23–24, 30, 32, 35–38, 41, 43–48, 50–60, 63–69, 71–78, 80–83, 85–86, 88–90, 92, 106–107, 109, 111, 113–115
teoría 16, 19, 21–22, 26, 28, 36, 45, 48, 51, 54, 57–60, 72–73, 77–83, 88, 90, 94–99, 101, 106–115
teoría científica 16, 54, 60, 109

V

verdad 15–17, 21, 24, 27–29, 32, 36, 41, 50–52, 54, 63, 68, 71–78, 80–83, 92, 114

Ciencias de Gestión

La naturaleza del conocimiento tecnológico

Hace parte de la Colección Ciencias de Gestión
Se diseñó y diagramó en marzo de 2024
en la Editorial Universidad Nacional de Colombia.

En su composición se utilizaron caracteres
ITC Berkeley Oldstyle Std 11/14 puntos,
Bogotá, D. C., Colombia.

Otros títulos de esta colección

- ***Emprendimiento corporativo y su relación con la innovación organizacional***
  Pablo Felipe Marín Cardona

- ***El lenguaje de las emociones en el aprendizaje. Análisis de la interactividad en un entorno educativo híbrido***
  Victoria Eugenia Valencia Maya

- ***Turismo transformador. Gestión del conocimiento y tecnologías digitales en el turismo***
  Marcelo López Trujillo, Carlos Eduardo Marulanda Echeverry, Carlos Hernán Gómez Gómez

- ***Sistema de gestión de seguridad de la información basado en la familia de normas ISO/IEC 27000***
  Francisco Javier Valencia Duque

Ciencias de Gestión

Esta obra busca desafiar ciertas concepciones ampliamente difundidas pero erróneas acerca de la naturaleza de la tecnología. Entre ellas, se destaca la perspectiva según la cual la tecnología no constituye una forma genuina de conocimiento, sino que es más bien el resultado de su aplicación. De ahí que se encuentre aquí una permanente invitación a descubrir algunos de los argumentos que respaldan el planteamiento según el cual la tecnología merece un lugar destacado en la estructura lógica de nuestro conocimiento. Además, se examina críticamente la actitud de desprecio que algunos filósofos han exhibido sin pudor hacia la tecnología, y que les ha animado a sostener que la tecnología moderna es la causa de la "crisis de la cultura". Según esta tesis, la tecnología moderna ha elevado los valores económicos por encima de las necesidades sociales. Para disolver estas críticas, se argumenta que la identificación *simpliciter* del propósito de la tecnología —o de alguna de sus subáreas (*e.g.*, las ingenierías)— con la producción podría tener implicaciones morales desastrosas, dado que terminaríamos por confundir los medios (*i.e.*, la producción) con los fines (o ideales): el bienestar de la humanidad; confusión que terminaría, incluso, por justificar "el lado oscuro de la tecnología". Finalmente, se sostiene la tesis bastante controversial —alejada por completo del punto de vista estándar mantenido entre los filósofos de la tecnología— de que la tecnología sí guarda un vínculo filosófico substancial con la verdad.

editorial UNR