

# Haciendo Trabajar a la Ciencia

David Miller

Departamento de Filosofía

Universidad de Warwick

COVENTRY CV4 7AL RU

*correo electrónico:* `dwmiller57@yahoo.com`

© D. W. Miller 2006

*versión del 6 de abril 2008*

## RESUMEN

El propósito de esta ponencia es iluminar la relación entre las ciencias básicas por un lado y la tecnología y la ingeniería por otro lado. Mi tesis es que la relación es bastante asimétrica, que la influencia de la tecnología sobre la ciencia es positiva en gran parte, pero que la influencia en la otra dirección es casi enteramente negativa. Esto no es menospreciar la importancia de la ciencia básica sino ubicarla correctamente. Nos facilita además identificar en qué significado la tecnología constituye una aplicación de la ciencia, y cómo comparte totalmente su racionalidad.

## 0 Introducción

Esta ocasión es para mí un gran honor, y es con mucho gusto que estoy aquí delante de una audiencia cautiva de ingenieros. Supongo que nosotros todos quienes no somos jóvenes tenemos a veces un deseo de haber descollado en un oficio opuesto al que practicamos. El físico quisiera haber sido un futbolista internacional, el futbolista quisiera haber sido un médico sabio, el médico quisiera haber sido un violinista de concierto, etcétera. En

---

La conferencia inaugural de un seminario semanal organizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá) en el segundo semestre de 2006. Dictada el 10 de agosto 2006, y repetida a la 1<sup>A</sup> JORNADA DE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA, Universidad del Norte (Barranquilla) el 18 de agosto 2006, y al Instituto de Filosofía de la Universidad de Antioquia (Medellín) el 23 de agosto 2006. El contenido de la conferencia es sacado, con muchas variaciones y amplificaciones, del capítulo 5 de mi libro (2006). Agradezco a Ana María Oliva, Diego Rosende, y Alexander Gómez por sus mejoras esmeradas de mi español. Después de la ocasión de la conferencia, Alexander Gómez (y luego Jan Michl) dirigieron mi atención al libro de Basalla (1988), que he leído con reservas pero principalmente con gusto. Tanto su título como su contenido deja en claro que la tecnología, no menos que la ciencia teórica, es una empresa sin término de ensayo y supresión del error. Desde esta verdad incontestable Michl (2006) extrae unas consecuencias bastante serias para la doctrina de Diseño Inteligente.

especial, como habrán Ustedes observado, muchos científicos veteranos hubiesen querido ser filósofos, mientras que filósofos veteranos hubiesen querido ser científicos. Yo mismo no tengo ningunas ilusiones sobre mi capacidad científica, y mi carencia de destreza práctica es espantosa. Admiro masivamente los logros de científicos empíricos y ingenierías, pero no podría tener éxito en ninguna de las empresas, por mucho que lo habría querido. Por estas razones valoro mucho la oportunidad de dirigirme a Ustedes sobre unos puntos filosóficos que son relevantes a su profesión. Como dijo a menudo mi maestro el filósofo Karl Popper (por ejemplo, en 1972, capítulo 2, § 1), nosotros todos tenemos nuestras filosofías particulares, y estas filosofías pueden tener efectos no reconocidos sobre nuestros pensamientos y nuestras acciones. Nadie debe permitirse el lujo de ignorar la filosofía del todo.

¿Pues qué puede decir un filósofo, o lógico, o metodólogo, a un ingeniero? El tema de mi ponencia es precisamente la cuestión de la relación entre la tecnología y la ciencia básica, y cómo ejercen influjo la una sobre la otra. Esta interacción es raramente bien descrita, y atrás del malentendido se puede percibir un error filosófico de gran edad y notoriedad. Hoy espero alumbrar el asunto y (con suerte) resolver la cuestión de una manera agradable e interesante.

Para empezar, espero que todos puedan ponerse de acuerdo provisorio en la caracterización de la diferencia entre la ciencia básica y la tecnología dada por el científico político canadiense Jack Grove, que escribió (1989, p. 46): ‘La tecnología, a diferencia de la ciencia, no se ocupa de las cosas como son sino de las cosas como pudiesen ser.’ El filósofo Henryk Skolimowski dijo en vena semejante (1966, p. 374): ‘En la ciencia investigamos ... la realidad; en tecnología, creamos una realidad según nuestro diseño.’

Lo que estas observaciones no explican es cómo se utiliza la ciencia en la empresa de la tecnología, y la tecnología en la empresa de la ciencia. El primer problema constituye nuestro problema principal hoy.

Claro, la ciencia y la tecnología tienen mucho en común. Ambas actividades se dedican a las soluciones de problemas, pero esto no nos dice mucho. La política se dedica a las soluciones de problemas, y a veces el matrimonio también. Actualmente las ciencias básicas y sus aplicaciones prácticas son habitualmente confundidas en la mente laica, y en la prensa, así que la ciencia recibe tanto las alabanzas como las desaprobaciones que pertenecen propiamente a la tecnología. Sin embargo, la relación entre las dos es definitivamente no una relación simétrica. Mantendré que, de hecho, la influencia de la ciencia sobre la tecnología es casi universalmente malentendida, a desmedro de la tecnología. No obstante, no intento menospreciar en modo alguno la importancia práctica de la ciencia básica. Espero que lo que diré proyecte una luz más halagadora (y más veraz) sobre ambas actividades, la ciencia básica y la ciencia aplicada.

## **1 La ciencia básica y la ciencia aplicada**

Tengo que señalar que he utilizado los términos ‘ciencia básica’ y ‘ciencia aplicada’ con mucho recelo. Juntos sugieren que la ciencia básica precede lógicamente y temporalmente a la tecnología, y que el ingeniero hace nada más que aplicar la ciencia fundamental de la misma manera que, por ejemplo, aplico un sacacorchos para abrir una botella de vino, o aplico un procesador de textos para formatear lo que escribo en el teclado. ¡Ojalá que fuese

tan fácil! Aún yo pudiese ser un ingeniero en estas condiciones. Como saben Ustedes, y en verdad no necesito contárselo, la situación es muy diferente. Preferiré en lugar de la expresión ‘ciencia básica’ la expresión ‘ciencia teórica’ o ‘ciencia explicativa’ o, cuando no hay ninguna posibilidad de confusión, sencillamente ‘ciencia’. Evitaré enseguida la expresión ‘ciencia aplicada’. En cuanto a las palabras ‘ingeniería’ y ‘tecnología’, querré más tarde distinguir por un lado el desarrollo de artefactos que son aptos para la producción en masa, que llamaré ‘la tecnología’, y por otro la empresa de proyectos particulares, que llamaré ‘la ingeniería’. Por el momento, podemos entender las dos palabras intercambiamente.

En primer lugar, quiero presentarles a Ustedes cuatro consideraciones que cuestionan la precedencia, lógica o temporal, de la ciencia sobre la tecnología. Una consideración es ingenua y zoológica, una es informal y cotidiana, una se saca de la historia de la ciencia, y la cuarta, la más elocuente, consiste en una inspección, simple pero acre, de la forma lógica de las teorías científicas. Las dos primeras (§ 1.0, § 1.1) sugieren que el conocimiento científica no es necesario para la tecnología; las otras (§ 1.2, § 2) sugieren que no es suficiente.

## 1.0 Los pájaros, los castores, y los topos

Los pájaros construyen los nidos para alojar sus huevos y sus crías. Los castores construyen las represas para controlar y redirigir los arroyos. Los topos, los camañoles, y otras bestias, cavan sistemas intrincados de túneles subterráneos — es decir, ellos también tratan de adaptar el mundo a sus necesidades. Estas criaturas son ingenieros, pero no son científicos.

Podemos conceder que ‘[n]o hay ningunos animales que utilizan el fuego, ni tampoco hay animales que moldean rutinariamente nuevas herramientas, mejoran los antiguos diseños de herramientas, utilizan algunas herramientas para fabrican otras, o pasan a su prole el conocimiento técnico acumulado’ (Basalla 1988, p.13). Debemos oponernos a la conclusión (pronunciada pero no explícitamente sancionada por Basalla) que ‘se requiere ninguna tecnología en absoluto para cumplir con las necesidades de animales’ (*loc. cit.*).

## 1.1 La cocina, la música, y la peluquería

Una rama de la tecnología que es familiar a todos es la cocina. Sin duda la cocina es una actividad no esencialmente diferente de otras intervenciones humanas en el medio ambiente. Como dijo Grove, la cocina ‘no se ocupa de las cosas como son sino de las cosas como pudiesen ser’, aunque, lamentablemente, ella a menudo no alcanza la aspiración de Skolimowski de crear ‘una realidad según nuestro diseño’. Claro, la cocina puede ser descrita como la química aplicada, pero esta descripción manifiesta exactamente el sentido del verbo ‘aplicar’ que yo he objetado. Pocos cocineros exitosos conocen los elementos de la química (o de la física de materiales, o de la anatomía). Se puede decir lo mismo acerca de la agricultura, la apicultura, la cría de animales, la metalistería, y otras ramas de la tecnología que surgieron en una época anterior a los albores de la ciencia teórica.

Un ejemplo adicional, un poco diferente, es la música. Tal vez esta actividad se describe mejor como una técnica que como una tecnología, pero exhibe un contraste semejante entre la teoría y la práctica. La ciencia que es pertinente a la música es en parte una

teoría matemática (conocida por los griegos antiguos), en parte una colección de teorías físicas (de las ondas, de la elasticidad, del sonido, de la acústica). Lo cierto es que en este caso, algún conocimiento de la teoría musical es usualmente una ventaja para un músico, o artista o compositor. La música folklórica muestra que tal conocimiento no es obligatorio. No nos olvidemos que Schubert, unos meses antes de su muerte prematura a la edad de 31 años, se inscribió en un curso de contrapunto (Gombrich 1982/1996, p. 563).

Lo que estos ejemplos demuestran es que no podemos caracterizar la tecnología en algún caso familiar como una aplicación del conocimiento científico. Las bestias no tienen ningún conocimiento científico, pero sí tienen, por supuesto, una competencia inconsciente que fue desarrollada evolutivamente. No es probable que el cocinero, aunque exista conocimiento teórico que incida en su tarea práctica, lo conozca implícita o explícitamente, y por cierto él no aplica aquel conocimiento directa y automáticamente. No es obvio en el caso del cocinero, en contraste con el caso del músico, que valdría la pena aprender la ciencia que explica sus logros, por ejemplo, el proceso de hornear. Un colega antiguo, un ingeniero quien es actualmente un Miembro de la Sociedad Real de Londres [Fellow of the Royal Society of London, FRS] me relató que en su juventud tuvo que dictar un curso intitulado ‘La Química para las Peluqueras’. Me pregunto a veces si sus estudiantes se hacían mejores peluqueras, aunque entendían mejor los efectos de las tinturas y peróxidos de la peluquería. Aunque los estudiantes diligentes ciertamente estaban capacitados para aplicar con más comprensión las sustancias químicas, no se sigue que aplicaban las teorías científicas de la química.

## 1.2 Kelvin, Rayleigh, y Rutherford

Hay varios ejemplos en la historia de la ciencia de científicos ilustres que tuvieron ideas muy equivocadas sobre las potencialidades prácticas inherentes en sus teorías. Lord Kelvin [William Thomson] y Lord Rayleigh, quienes contribuyeron independiente y significativamente a la ciencia de la hidrodinámica, no creyeron en la factibilidad de que máquinas más pesadas que el aire pudiesen volar; es decir, la factibilidad de los aviones (Meurig Thomas 2001, p. 105). Con su colega Frederick Soddy, Lord Rutherford explicó en 1902 el fenómeno misterioso de la radioactividad por la teoría de la desintegración espontánea del átomo, y una década más tarde propuso la teoría nuclear del átomo. No obstante, escribió en 1933 (*loc. cit.*): ‘Alguien que espera una fuente de poder de la transformación de [los núcleos] de los átomos habla tonterías.’ En esta conexión es interesante que Rutherford no tuvo una reputación especial por el pensamiento abstracto, divorciado de la realidad material. Al contrario, fue un hombre profundamente práctico, del que Niels Bohr dijo una vez: ‘Rutherford no es un hombre listo; es un gran hombre.’ (‘Rutherford is not a clever man; he is a great man.’ Véase Crowther & Whiddington 1947, p. 122.)

A pesar de su comprensión intuitiva del funcionamiento del mundo, este gran hombre no pudo imaginar un método con el cual se pudiese liberar la energía dentro del átomo. Se dice que Max Planck, Albert Einstein, y Niels Bohr pensaban lo mismo. Nos encontramos con un ejemplo menos extremo en las contribuciones particulares del ingeniero británico Thomas Newcomen y del científico francés Denis Papin al desarrollo de la máquina de vapor. Según Basalla, ‘Newcomen no tuvo ni la educación ni tampoco el deseo de dedicarse al estudio desinteresado del vacío, y Papin no tuvo el interés, ni el conocimiento o la imaginación técnica para transformar en un motor práctico su demostración en tamaño

pequeño en el laboratorio’ (1988, pp. 95f.). Tales ejemplos con seguridad dejan dudoso el cliché de que la ciencia proporciona la inspiración principal para la tecnología. Como dice Basalla (*loc. cit.*): ‘Sería un error concluir que Papin, en su descubrimiento del principio del motor atmosférico, mostró más originalidad y más genio que lo que mostró Newcomen . . . . No está bien tampoco asumir que Newcomen meramente puso en práctica la teoría, que lo que hizo fue obvio a la luz del trabajo de Papin.’ Sucintamente: ‘Los partidarios de la investigación científica han exagerado la importancia de la ciencia por la afirmación de que ella es la raíz de casi todos mayores cambios tecnológicos’ (*op. cit.*, pp. 91f.).

Por otra parte, la sugerencia de que la ciencia no tiene ninguna pertinencia para la tecnología no es creíble. No me atrevo a desafiar tan radicalmente sus experiencias como estudiantes de la ingeniería. Para iluminar más este problema, tenemos que investigar brevemente algunos de sus aspectos lógicos.

## 2 Las leyes y las teorías de la ciencia

Desde la época de Aristóteles, se ha sabido que nuestro conocimiento científico consiste no solamente en una multitud de hechos singulares, sino además en generalizaciones empíricas y leyes universales. Estas generalizaciones o leyes son universales porque afirman algo sobre todos los elementos de un clase. Un ejemplo simple es la ley putativa ‘Todos los asnos son contumaces’. Para nuestros propósitos hoy, no importa si escogemos ejemplos que no son leyes verdaderas; si existen asnos flexibles, entonces debemos hallar un ejemplo diferente. Claro, aún el principio de gravitación de Newton no es verdadero universalmente, sino es conveniente el considerarlo como una ley. Lo que importa para nosotros es que la ciencia aspira a formular leyes universales; inicialmente leyes empíricas (como ‘Todos los asnos son contumaces’), que tratan de las cosas cotidianas, y con el tiempo, leyes teóricas (como la ley de gravitación y la mecánica cuántica), que tratan de cosas alejadas de nuestra experiencia ordinaria. Una ley típica de la física moderna supone algunas relaciones funcionales entre cantidades matemáticas. Informamos que, en muchos campos de la física, y de la biología (por ejemplo, la genética), parece que esta meta sea sobreambiciosa e inaccesible; en estos campos no debemos esperar más que leyes estadísticas. Este punto tampoco es pertinente. El malentendido sobre el papel de las leyes y teorías científicas en la tecnología no se amortigua si aquellas leyes son todos enunciados estadísticos.

### 2.0 Una muestra de la lógica formal

Para escribir una frase universal en la lógica formal utilizamos varios caracteres familiares de la matemática y dos símbolos técnicos especiales: un símbolo  $\rightarrow$  (una flecha del oeste) que representa la expresión *condicional* ‘si . . . entonces —’, y un símbolo ‘ $\forall$ ’ (una mayúscula A al revés) que representa el *cuantificador universal* ‘todos’. Por medio de estos símbolos podemos escribir la ley ‘Todos los asnos son contumaces’ como  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$ , donde la letra ‘ $y$ ’ se llama una *variable* que recorra a través de un dominio de valores (aquí no fijado explícitamente). Cualquier letra puede realizar este papel, precisamente como podemos reemplazar ‘ $j$ ’ en la expresión  $\sum_{j=0}^{100} y_j$  y ‘ $y$ ’ en la expresión  $\int_0^\infty f(y)dy$  por otras letras. Veán que la frase ‘Todos los asnos son contumaces’, que en el lenguaje natural asevera algo categórico o incondicional acerca de todos los asnos (a saber, que son contumaces) es representada en el formalismo por una frase que asevera algo condicional

acerca de todos los elementos del dominio (a saber, que son contumaces si son asnos). Igualmente se puede leer la frase ‘Algún asno es flexible’ como ‘Algo es un asno y flexible’, y escribirla como  $\exists y (Ay \ \& \ \neg Cy)$ . El símbolo  $\exists$  (una E al revés) se llama el *cuantificador existencial*, y el gancho  $\neg$  se llama el *operador de negación*, con el cual se puede representar el opuesto no- $C$  de una expresión  $C$ .

Se puede formular las teorías científicas como *condicionales universales*, aunque la mayoría son condicionales más complejos. Por ejemplo, podemos expresar la ley newtoniana de la gravitación en la forma: si  $x$  y  $z$  son cualesquiera dos cuerpos distintos, entonces la fuerza  $f$  entre  $x$  y  $z$  es igual al producto del constante  $G$  y las medidas  $m_x$  y  $m_z$  de las masas de  $x$  y  $z$ , dividido por el cuadrado de la distancia  $d_{xz}$  entre  $x$  y  $z$ ; en breve,  $\forall x \forall z [(C(x) \ \& \ C(z) \ \& \ x \neq z) \rightarrow fxz = Gm_x m_z / d_{xz}^2]$ . Más estrechamente, esta ley toma la forma de una cuantificación mezclada: ‘si  $x$  y  $z$  son cualesquiera dos cuerpos distintos, entonces existe entre  $x$  y  $z$  una fuerza  $f$  cuya medida es ...’; en símbolos,  $\forall x \forall z [(C(x) \ \& \ C(z) \ \& \ x \neq z) \rightarrow \exists f [F(f) \ \& \ fxz = Gm_x m_z / d_{xz}^2]]$ . Otras formalizaciones, más explícitas y más exactas, son posibles. La versión simplificada es basta precisa para nuestros propósitos.

En la expresión formal  $A \rightarrow C$  la frase representada por  $A$  es llamada el *antecedente* del condicional, y la frase representada por  $C$  es su *consecuente*. Los lógicos dicen que el antecedente es una *condición suficiente* para el consecuente, y que el consecuente es una *condición necesaria* para el antecedente. Nótese que los condicionales  $A \rightarrow C$  y  $C \rightarrow A$  tienen sentidos diferentes y fuerzas lógicas que no son iguales.

## 2.1 Causa y efecto

Lo que es crucialmente importante para un entendimiento preciso de la función que las leyes de la ciencia desempeñan en la tecnología es que, en la gran mayoría de las leyes naturales que conocemos, el antecedente lógico  $A$  es también un antecedente temporal del consecuente  $C$ , o, más generalmente, el antecedente  $A$  proporciona (en principio) una manera en que se puede realizar el consecuente  $C$ . Se dice comúnmente que el antecedente  $A$  de una ley natural describe una *causa* del *efecto* que describe  $C$ . Claro, el orden temporal o causal no es reversible: si  $A$  es anterior a  $C$ , o es una causa de  $C$ , entonces  $C$  no es anterior a  $A$  y no es una causa de  $A$ . Debemos asumir que en la mayoría de casos, el orden instrumental no sea reversible tampoco.

Un ejemplo meramente ilustrativo es la ley ‘Siempre que un automóvil  $A$  gira afuera de control en un calle concurrida, ocurre una colisión  $C$ ’. Soltar el freno de un auto desocupado a un tiempo es suficiente para producir una colisión a un tiempo posterior.  $A$  es suficiente para  $C$ , y se puede ocasionar  $C$  por medio de  $A$ . Un ejemplo de una ley  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$  cuyos antecedente  $Ay$  y consecuente  $Cy$  son simultáneos, es la ley psicozoológica formulada más arriba: ‘Todos los asnos son contumaces’. Quizás forzamos el uso lingüístico un poco, si decimos que ser un asno constituye una causa de ser contumaz, pero si la ley es verdadera, ella proporciona un método, eficaz aunque no eficiente, para obtener una bestia contumaz, a saber, obtener un asno. En contraste, no hay nada en la ley que sugiera un método para obtener un asno. No basta obtener un ser viviente que es contumaz; hay otros seres contumaces, por ejemplo todas las mulas y algunos de mis conocidos. Como dije hace un momento, el orden instrumental usualmente no es reversible.

### 3 Por qué la ciencia no nos informa cómo nos comportaríamos

Una ley o una teoría científica nos dice qué efecto sigue (lógica y cronológicamente) de qué causa. Sin embargo, en la práctica, en una situación típica, lo que conocemos (más o menos) es el efecto que queremos producir, pero no conocemos ninguna causa de aquel efecto. Si tenemos mucha suerte, conocemos una ley  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$  que imputa el efecto deseado  $C$  a una causa anterior  $A$  que podemos implementar. En aquel estado afortunado, el problema tecnológico ya está solucionado, por lo menos en principio. Lo que es más probable es que no conocemos ninguna ley pertinente. O conocemos solamente una ley cuyo antecedente no podemos poner en práctica; en breve, conocemos una causa del efecto deseado, pero no sabemos cómo ocasionar esta causa. Claro, el problema tecnológico ha cambiado, pero apenas ha sido resuelto.

Dado un efecto  $C$ , ¿cómo podemos descubrir una ley  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$  cuyo consecuente es aquel  $C$  y cuyo antecedente  $A$  es factible? Es aquí, sugiere la leyenda popular, que la ciencia puede ayudarnos.

¡Digo que no en absoluto!

No digo que la ciencia nunca implica tal generalización empírica  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$ . Al contrario, un invento exitoso no sería explicable científicamente si no existiese tal consecuencia lógica, verdadera o aproximadamente verdadera, de nuestras teorías. Lo que digo es que la ciencia no puede ayudarnos a hallar las generalizaciones útiles; más exactamente, puede ayudarnos solamente en circunstancias bastante inusuales. Concedo además que la ciencia (como la naturaleza, la literatura, el mito, e incluso los sueños) puede proporcionar sugerencias provechosas para la práctica, pero son solamente sugerencias, no inferencias; la teoría del átomo sugirió la presencia de un vasto tesoro de energía no liberada, pero no indicó cómo podemos liberarla. La situación del ingeniero es una forma aguda del aprieto de alguien que quiere identificar una pintura, o un poema, o una melodía. Si se conoce el título de la obra, un catálogo o una enciclopedia asesta de prisa cómo ella parece o cómo ella sueña. Sin embargo, el catálogo es de uso sólo limitado si lo que se conoce es cómo la pintura parece o cómo la melodía sueña, y lo que se quiere identificar es su título.

La razón por esta infecundidad tecnológica de la ciencia ya debe ser evidente.

Mientras que las leyes y teorías de la ciencia nos dan una licencia a inferir los efectos a partir de las causas, lo que necesitamos es una licencia para inferir las causas a partir de los efectos. Sea  $T$  nuestra teoría, y  $C$  el efecto deseado. Hallar un enunciado práctico  $A$  tal que  $T$  implica  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$  no es un trabajo de la lógica deductiva. Hay dos posibilidades solamente: enumerar las consecuencias lógicas de  $T$  hasta que aparezca una consecuencia condicional cuyo consecuente es  $C$ , o adivinar un antecedente apropiado  $A$ . La primera posibilidad, aún mecanizable, no constituye un trabajo sensato, por razones bien conocidas. Produciría una cantidad abrumadora de condicionales sin ningún interés concebible; por ejemplo, la teoría  $T$  implica el condicional  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$  siempre que  $T$  dice que nada posee el atributo  $A$ . Hacer una conjetura, es decir, tener una idea luminosa, es la única posibilidad realista.

Así llegamos a una conclusión que Ustedes todos ya conocen. Para ser un ingeniero exitoso, se necesita ser perspicaz, imaginativo, y astuto. Como saben además, ser inventivo no es suficiente. No olviden que, además de tener estas propiedades lógicas, el antecedente  $A$  tiene que ser algo realizable prácticamente. Tiene que funcionar también.

Antes de explicar el sentido en que la ciencia puede servir a la tecnología, a pesar de

esta conclusión negativa, quiero mencionar algunos ejemplos, tanto característicos como excepcionales.

### 3.0 La cerveza y los bolos

Leer detenidamente un libro de química teórica no les ayudará mucho si quieren elaborar la mayoría de los coloides del hogar: ni el pan, ni la mantequilla, ni el jabón, ni el pegamento, ni la tinta, ni la cerveza tampoco. No encontrarán en un libro de texto las leyes naturales que dicen ‘Si hacen  $A$ , luego elaborarán cerveza’. Claro, tan pronto como un método de elaborar cerveza ha sido desarrollado, podrán formular una receta llena de pautas minuciosas; y cuando siguen la receta, aplican Ustedes aquellas pautas. Pero no aplican las leyes de la química teórica, salvo en el sentido de que no las violan.

Este caso es típico. Nuestras teorías no nos instruyen cómo fabricar ni los analgésicos ni los rascacielos, ni los chips de memoria ni los tortilla chips, ni los boletos ni los bolos, ni otras cosas y substancias innumerables sin las cuales la vida moderna no sería reconocible.

### 3.1 El péndulo

Sin embargo, hay algunos ejemplos de leyes en la física y en otras ciencias que afirman para un efecto  $C$  una condición  $A$  que es tanto necesaria como suficiente. Podemos representar estas leyes con la ayuda de una flecha doble:  $A \leftrightarrow C$  es definido como la conjunción  $(A \rightarrow C) \& (C \rightarrow A)$ . Se puede leerla ‘si y solamente si’, y abreviarla ‘ssi’. Un ejemplo familiar a todos es la ley del péndulo: ‘todos los péndulos simples de largo  $l$  tienen un período  $t = 2\pi\sqrt{l/g}$ ’, que tiene la forma más explícita: ‘cada péndulo simple tiene un largo  $l$  si y solamente si tiene el período  $t = 2\pi\sqrt{l/g}$ ’. Podemos aplicar esta ley (que es a lo más una aproximación, como señala Wilson 1993, nota 7) para obtener un péndulo de período  $t$ , porque cada período  $t$  es asociado con un único largo  $l = t^2g/4\pi^2$ . Sin duda es más natural decir que el largo  $l$  es ‘una causa’ del período  $t$  que viceversa, porque el largo se puede fijar más fácilmente que el período. No obstante, podría ser un ejercicio interesante en el diseño mecánico a hacer fijar el largo al período (Wilson *op. cit.*, pp. 58f.).

Debo mencionar que de una manera banal se puede poner cada enunciado condicional en forma bicondicional:  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$  es equivalente a  $\forall y (Ay \leftrightarrow (Ay \& Cy))$ . En otras palabras, todos asnos son contumaces si y solamente si el agregado de asnos y el agregado de asnos contumaces coinciden. Espero que sea obvio que tal reformulación no sirve ningún propósito tecnológico.

No hay otro sentido en que se puede aplicar directamente la ley del péndulo para objetivos tecnológicos; parece que, con el tiempo, José Arcadio Buendía se dio cuenta de esto (García Márquez 1967, pp. 72f.; es decir, cercano el fin del capítulo que empieza ‘La casa nueva, blanca como una paloma ...’). Si pensó que el péndulo sea un perpetuum mobile que puede proporcionar trabajo ilimitado, entonces estuvo equivocado en más que un solo aspecto sobre las potencialidades de la ley del péndulo.

### 3.2 La vida

Finalmente, tengo que reconocer que hay algunas leyes causales  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$ , en la biología, la cosmología, y otras ciencias históricas, en que algo que ocurre en un tiempo

es necesario, pero insuficiente, para lo que ocurra más tarde; es decir, la consecuente  $C$ , que es una condición necesaria para el desenlace  $A$ , es anterior en el tiempo a  $A$ . Hasta la invención de la inseminación artificial, el coito fue necesario para la concepción. Las parejas que deseaban procrear sabían bien qué tenían que hacer. El problema normal no fue ignorancia del *modus operandi*, sino su falibilidad. Asimismo, para gozar en su jardín de un roble majestuoso, es necesario, pero no suficiente, plantar una bellota muchos años por adelantado. Si cuidamos de evitar cualquier sugerencia de que la naturaleza se comporte intencionalmente, podemos decir que ella ya ha resuelto, a través de una variedad extraordinaria de maneras diferentes, el problema tecnológico de la producción de los nuevos organismos. No hacemos más que pulsar un botón.

Estos ejemplos no perturban mi tesis para nada. Después de todo, ellos no alumbran el papel de la ciencia en la tecnología. Mantengo solamente que tales casos no son típicos, y que en la mayoría de los casos de interés tecnológico tenemos que ampliar nuestro conocimiento empírico para lograr nuestros objetivos prácticos. Es decir, tenemos que pensar en algo en que no hemos pensado previamente.

## 4 Cómo puede servir la ciencia a la tecnología y a la ingeniería

He indicado que la posesión de una teoría  $T$ , y de una descripción  $C$  de un estado futuro del mundo, no nos da ninguna pista de una condición anterior  $A$  tal que la ley  $\forall y (Ay \rightarrow Cy)$  se encuentra entre las consecuencias de  $T$ . Sin embargo, si la teoría  $T$  implica  $\forall y (Ay \rightarrow \neg Cy)$ , entonces  $T$ , junto con  $C$ , implica directamente la negación  $\neg A$  del antecedente  $A$ . La regla de inferencia citada, que nos permite inferir  $\neg A$  a partir de  $A \rightarrow C$  y  $\neg C$  juntos, es una forma de la regla que se llama la regla de *modus [tollendo] tollens*. Su significación para nuestro problema es tremenda.

Si sabemos que nuestro objetivo  $C$  no fue logrado en una ocasión cuando hicimos una intervención  $A$ , entonces podemos concluir, sin más preámbulos, a partir de  $\neg C$  que  $A$ , en lo que respeta a  $C$ , fracasó. Lo que no es permisible es la conclusión de que podemos lograr  $C$  por medio de realizar  $\neg A$  (o desatender  $A$ ).

Sin embargo, si tenemos una teoría  $T$  que implica el condicional  $\forall y (Ay \rightarrow \neg Cy)$ , no necesitamos implementar  $A$  para descubrir si, cuando ocurre  $A$ , el resultado  $C$  no ocurre. Más generalmente, para determinar si  $A$  es un paso acertado, basta considerar las consecuencias de  $A$  en la presencia de la teoría  $T$ . Si algunas de estas consecuencias son inaceptables, entonces podemos nuevamente deshacernos de la tentativa  $A$ . En otras palabras, las leyes y teorías de la ciencia no nos dicen qué debemos hacer sino de qué debemos abstenernos. La ciencia no prescribe, sino que proscribe.

La verdad lisa y llana es que el ingeniero y el tecnólogo utilizan el conocimiento científico para diagnosticar, controlar, y eliminar los errores en sus iniciativas prácticas, no para generar estas iniciativas. La ciencia sirve una función crítica más que constructiva.

### 4.0 La tecnología contrastada con la ingeniería

Al inicio de esta conferencia sugerí una distinción entre el ingeniero, cuyo trabajo es resolver un problema más o menos aislado o *sui generis*, y el tecnólogo, cuyo trabajo es resolver, de una manera uniforme, una multitud de problemas semejantes. En estas palabras (que adopto solamente por conveniencia), el ingeniero diseña y construye los

puentes de suspensión y los aceleradores lineares, y el tecnólogo diseña y manufactura las pastillas medicinales, las computadoras, las pistolas, y las licuadoras. El tecnólogo tiene que inventar un método para construir un dispositivo que responda adecuadamente al problema práctico, ensayarlo, y preparar una guía o un manual (que debería consistir de instrucciones que se pueden seguir automáticamente, en principio) para su utilización. En breve, el tecnólogo realiza un nuevo tipo de objeto físico, y formula en los términos universales una ley empírica que delinea los detalles de su operación. En contraste, el único aspecto universal de un proyecto de ingeniería puede ser una casi-universalidad temporal. No obstante, una vez que un artefacto operativo ha sido desarrollado, podemos tratar de formular unas leyes empíricas apropiadas, y algún día incluso de explicar científicamente su funcionamiento.

#### 4.1 La explicación científica de los logros tecnológicos

El trabajo de integrar en la ciencia teórica una ley empírica que describe la operación de un dispositivo es pocas veces urgente, y es posible que no se lleve a cabo por largo tiempo. Una ilustración divertida es el artículo maravilloso intitulado ‘Un análisis tensional de un traje de fiesta sin tirantes para las mujeres’ (Siem 1956) que se publicó muchos años después del diseño y la elaboración exitosa del primer traje en este estilo. Hay muchos casos que son más importantes, pero un lindo ejemplo de ‘una solución tecnológica que desafía el entendimiento científico actual’ (Basalla *op. cit.*, p. 28; véase también Boon 2006, § 3.1) se identifica en la respuesta dicha dada en 1954 por Sir Alexander Fleming a un pedido de una cura efectiva para el resfrío común: ‘Un buen trago de whisky caliente a la hora de dormir — no es muy científico, sin embargo, ayuda.’

### 5 ¿Por qué no es lo anterior bien conocido?

En 1935, Karl Popper señaló que ‘cuanto más prohíbe un enunciado, tanto más dice acerca del mundo de experiencia’ (1959, § 35). Es decir, el poder prohibitivo de una ley o una teoría es una medida de su contenido (e interés). En 1944 escribió que (1944, § 20):

... toda ley natural puede expresarse con la afirmación de que *tal y tal cosa no puede ocurrir*; es decir, por una frase en forma de refrán: ‘No se puede coger agua en un cesto.’ Por ejemplo, la ley de la conservación de la energía puede ser expresada por: ‘No se puede construir una maquina de movimiento continuo’; y la de la entropía por: ‘No se puede construir una máquina eficaz en un ciento por ciento.’ Esta manera de formular las leyes naturales destaca sus consecuencias tecnológicas, por tanto, puede llamarse la ‘*forma tecnológica*’ de una ley natural.

Por ende, la doctrina de que las leyes científicas tienen una fuerza exclusivamente negativa es apenas una doctrina nueva. No obstante, nadie se da cuenta de la gran alcance de esta doctrina. Popper mismo la puso de revés cuando, inmediatamente antes del pasaje citado con aprobación más arriba, dijo que ‘es una de las tareas más características de toda tecnología el *destacar lo que no se puede ser llevado a cabo*’ (*loc. cit.*). Y en sus años avanzados, cuando discutía el así llamado ‘problema pragmático de la inducción’, hablaba persistentemente (como casi todos otros filósofos) de la teorías científicas como una ‘base

de acción' (1972, capítulo 1, § 9). Verdaderamente, es la ciencia cuya tarea característica es destacar lo que no se puede ser llevado a cabo. La tarea característica de la tecnología es indicar (por ejemplo) lo que se puede ser logrado.

Me parece que pueden hallarse cuatro razones de esta incomprensión general, una histórica, una psicológica, una sociológica, una filosófica.

## 5.0 La historia de la ciencia

La razón histórica proviene del hecho lógico de que en los casos más familiares el uso de las leyes y teorías de la ciencia para excluir una propuesta tecnológica no es nunca esencial. En su lugar, se puede siempre y simplemente contrastar la propuesta de manera empírica, como un sastre hace quedar un traje. Si se crea un tamiz que pueda retener el agua, pruébelo. No hay ninguna necesidad de una ley prohibitiva para estimular su exclusión. Sin embargo, en la actualmente llamada 'ciencia grande', paulatinamente los métodos teóricos de la crítica se hicieron aconsejables, y en muchos casos inevitables, a causa del costo creciente y del riesgo creciente de las contrastaciones directas. En las épocas previas la situación fue diferente. Un estudio de la historia de la complicidad de la ciencia en la tecnología, destacando este aspecto crítico, sería muy valioso. Como otros escritores, Basalla he observado que '[a]ntes del Renacimiento, y durante unos siglos después, se realizaron los adelantos tecnológicos sin ayuda del conocimiento científico' (*op. cit.*, p. 102). Como aquellos otros, no registra la explicación simple que, en las eras pasadas, se desempeñaba el trabajo de eliminación mas fácilmente por una prueba empírica que por un análisis teórico.

Sugiero que, en la mayoría de su historia, la tecnología no ha aprendido mucho de la ciencia, y el tráfico fue más en la dirección opuesta; por ejemplo, en el diseño del equipo del laboratorio científico. Basalla quiere investigar 'la natura de la interacción de la ciencia y la tecnología' (*op. cit.*, p. 92), pero no revele los pormenores de ninguna acción científica. En cuanto al trabajo de Newcomen, que se mencionó arriba, escribe: 'Hay muy poco en el aparato de Papin que pudo haber servido como una guía al inventor inglés cuando pensó en construir una máquina atmosférica de vapor' (p. 95). La afirmación que 'la ciencia manda los límites de la posibilidad física de un artefacto, pero no prescribe la forma final del artefacto' (p. 92) me complace, pero no sé si Basalla señala acá una proscripción física o una proscripción teórica. Ciertamente, 'la ley de Ohm no mandó la forma y los detalles del sistema de iluminación de Edison' (*loc. cit.*), y es evidente también que el mundo, como lo describe esta ley, impuso 'límites de la posibilidad física'. Es otra cuestión hasta qué punto las lucubraciones imaginativas de Edison fueron revisadas o refinadas por alguna consideración intelectual acerca de la ley de Ohm.

De esta manera el influjo potencial crítico de la ciencia, como el influjo crítico de las matemáticas, ha sido casi invisible. El mito de que la ciencia es más básica que la tecnología se ha fortalecido insidiosamente, con la conclusión inevitable que la ciencia tiene los méritos de los éxitos instrumentales de la tecnología (y la responsabilidad de sus fracasos y sus horrores).

## 5.1 La represión

Otra explicación del anonimato de la fuerza negativa de la ciencia proviene de nuestra propensión a considerar la perpetración de los errores, no como el desempeño de los pasos imprescindibles en el aprendizaje, sino como algo vergonzoso. Por lo tanto, cuando hemos logrado por último un destino intelectual o práctico, estamos impacientes por olvidar cómo frecuentemente nos equivocamos de camino. ‘Es tan obvio’, decimos a nosotros, y no nos acordamos de las dificultades que padecimos previamente. Tal vez podemos explicar científica o teóricamente el contenido de nuestro éxito, y luego suponemos equivocadamente que podemos explicar de la misma manera su descubrimiento. Esta aversión a los errores es en el mismo un error grave, aún cuando sea un error natural.

## 5.2 El científico hoy

Una tercera explicación del malentendido de la manera en que la ciencia se aplica es que actualmente la mayoría de quienes se llaman científicos, aún en la academia, son tecnólogos o ingenieros disfrazados. Entran en una actividad que Thomas Kuhn bautizó *la ciencia normal* (1962, capítulo 3); no en el desarrollo de teorías nuevas, sino en la resolución de rompecabezas, y la extensión del ámbito explicativo de las teorías corrientes. Cuando leemos en un diario que los científicos han hecho un avance, por ejemplo en el tratamiento del cáncer, podemos estar seguros de que el descubrimiento es en realidad una invención tecnológica. La misma confusión es evidente en la frase ‘ciencia ficción’. No hay ninguna duda de que este género literario debe llamarse ‘tecnología ficción’. En la imaginación pública solamente la actividad de producción en masa es reconocida como la tecnología.

Aquí es un ejemplo más cómico que profundo. Un diario llamado *Metro*, que se distribuye gratis en el transporte público a través de Gran Bretaña, tuvo sobre la página 3 de la edición del 31 de julio de 2006 un titular que gritó: ‘Los científicos hacen un huevo que le avisa a Usted cuándo está listo.’ Según el periodista John Higginson, la treta es utilizar una tintura que es sensible apropiadamente a la temperatura, y se transformar cuando un huevo es cocinado. (Hay un reportaje parecido sobre la página 94 de la edición chilena de *Popular Mechanics en Español* de noviembre 2006.)

Para ser honesto, y para mostrar que la distinción entre la ciencia y la ingeniería no está totalmente desdibujada, tengo que mencionar otras dos noticias pertinentes en la misma edición del rotativo *Metro*.

(a) Un relato (p.9) en una sección intitulada *La ciencia y el descubrimiento de hoy en breve* dice, a propósito del eternamente fascinante Harry Potter, que ‘[l]os ingenieros están trabajando para construir un escudo que vuelve invisibles las cosas a partir de la flexión de la luz’. Añade tranquilizadamente que ‘[u]n objeto existiría todavía, pero estaría oculto a la vista ...’.

(b) En otra columna, llamada *Mythtakes* (p.19), se rebate ‘el mito’ que una moneda dejada por la noche en Coca-Cola<sup>®</sup> ‘se derretirá’. ‘¿Cómo disiparlo [el mito]? Simplemente ensayenlo. No, no se logra. Para quienes tienen una disposición científica, Coke contiene tanto el ácido cítrico como el ácido fosfórico, pero el contenido ácido no es tan fuerte para disolver una moneda por la noche.’ Decepcionantemente, el rotativo no vincula esta revelación con los informes de fondo proveada en la columna acerca de los huevos que ‘[s]i un huevo crudo se sumerge en el vinagre por tres días la cáscara se disolverá’.

Claro, este uso popular del término ‘científico’ puede ser un efecto tanto como una causa del malentendido de la relación de la ciencia explicativa a la tecnología. Los malos hábitos frecuentemente florecen en pares.

### 5.3 El inductivismo

En conclusión, giro por un momento a la doctrina filosófica que está en el fondo de todas estas ideas equivocadas, la doctrina veterana de la *inducción*.

He explicado más arriba que lo que sostiene la creencia de que la ciencia teórica tiene un influjo afirmativo sobre la tecnología es la concepción falaz de que se pueda inferir las causas a partir de los efectos. Destaqué que, si tenemos una teoría  $T$  y un efecto potencial  $C$ , la identificación de un enunciado útil  $A$  tal que  $T$  implica el condicional  $A \rightarrow C$  es una tarea fuera del alcance de la lógica deductiva. ¿No es este punto muerto, un motivo para aumentar nuestra reserva de reglas lógicas?

Este es el país de las hadas de la supuesta lógica inductiva. Aristóteles fue el primero en invocar un proceso para explicar cómo obtenemos racionalmente las leyes universales de la ciencia desde nuestras experiencias fragmentarias. Sin embargo, ni Aristóteles, ni ninguno de sus sucesores, ha podido formular ya ninguna regla general que no asume como dado algo que no es dado, sino descaradamente conjeturado.

El ensueño de reglas para inferir las leyes universales a partir de los hechos brutos, y reglas para inferir las causas a partir de los efectos, se realiza en la estadística en la teoría de *inferencia inversa*, así llamada; es decir, una técnica para inferir la composición de una población a partir de la composición de una muestra extraída de ella. Lamentablemente para sus padrinos, todos estos procedimientos inferenciales parecen equivaler a poco más que suposiciones o conjeturas acerca del estado desconocido del mundo. En realidad, esto las describe precisamente: son nada más que suposiciones y conjeturas acerca del estado desconocido del mundo.

Bueno. Debemos a Karl Popper (1959, 1963) la visión liberadora de la ciencia como una empresa de conjeturas infundadas y refutaciones contundentes. Popper enfatizaba por sesenta años que lo que dota de racionalidad a nuestras investigaciones no es la seguridad de sus resultados, que es manifiestamente una seguridad traidora, sino su disponibilidad a la crítica. Los ingenieros deben saber bien, mejor que otros, que nada está garantizado, aunque muchas cosas son seguras, y que no podemos hacer más que persistir en el escrutinio minucioso de nuestras producciones e intervenciones.

El inductivismo supone que la ciencia surge de la experiencia, y está basada firmemente en ella. Por razones lógicas, esta creencia es errónea. Como Popper anunciaba con mucho vigor, en la ciencia la función principal de la experiencia es para eliminar. Nuestras hipótesis tienen que afrontar el tribunal de la experiencia, y las que están en conflicto con la experiencia se abandonan. El inductivismo supone además que la tecnología surge de la ciencia, y está basada firmemente en ella. Esta creencia es errónea también. En la tecnología la función principal de la ciencia, además, es eliminativa. Ni la experiencia en la ciencia, ni la ciencia en la tecnología, puede determinar que un problema se resuelve de una manera ideal. Lo mejor que pueden decirnos es que pudimos hacerlo peor.

Estas dos doctrinas del inductivismo son las expresiones de prejuicios superficiales y peligrosamente engañosos. Sugiero que las abandonemos.

## Referencias bibliográficas

- Basalla, G. (1988). *The Evolution of Technology*. Cambridge, New York, & Melbourne: Cambridge University Press.
- Boon, M. (2006). 'How Science Is Applied in Technology'. *International Studies in the Philosophy of Science* **20**, 1, pp.27–47.
- Crowther, J. G. & Whiddington, R. (1947). *Science at War*. Londres: His Majesty's Stationery Office.
- García Márquez, G. (1967). *Cien Años de Soledad*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.
- Gombrich, E. H. J. (1982). 'Franz Schubert and the Vienna of His Time'. *The Yale Literary Magazine*, 149, febrero 1982, pp. 15–36. Referencia a la reimpresión en R. Woodfield, compilador (1996), pp.547–564. *The Essential Gombrich*. Londres: Phaidon Press.
- Grove, J. W. (1989). *In Defence of Science. Science, Technology, and Politics in Modern Society*. Toronto: University of Toronto Press.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. 2ª edición 1970. Traducción española por Agustín Contín, 1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. México y otras ciudades: Fondo de Cultura Económica.
- Michl J. (2006). 'Without a godlike designer no designerlike God'. <http://www.geocities.com/Athens/2360/eng.intelligent.html/>.
- Miller, D. W. (2006). *Out of Error. Further Essays on Critical Rationalism*. Aldershot y Burlington VT: Ashgate.
- Popper, K. R. (1944). 'The Poverty of Historicism II'. *Economica* NS **XI**, 43, pp.119–137. Reimpresión como Parte III de K. R. Popper (1957). *The Poverty of Historicism*. Londres: Routledge & Kegan Paul. Traducción española por Pedro Schwartz, 1961. *La miseria del historicismo*. Madrid: Taurus.
- (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Londres: Hutchinson & Co. Traducción inglesa aumentada de K. R. Popper (1935). *Logik der Forschung*. Viena: Julius Springer Verlag. Traducción española por Víctor Sánchez de Zavala, 1962. *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos.
- (1963). *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*. Londres: Routledge & Kegan Paul. 5ª edición 1989. Traducción española por Néstor Míguez, 1967, 1994. *Conjeturas y refutaciones: El desarrollo del conocimiento científico*. Buenos Aires: Editorial Paidós.
- (1972). *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*. Oxford: Clarendon Press. 2ª edición 1979. Traducción española por Carlos Solis Santos, 1974, 1982. *Conocimiento objetivo*. Madrid: Editorial Tecnos.
- Siem, C. E. (1956). 'A Stress Analysis of a Strapless Evening Gown'. *The Indicator*, November 1956. Reimprimido en R. A. Baker, compilador (1963), pp. 119–124. *A Stress Analysis of a Strapless Evening Gown and other essays for a scientific age*. Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall.
- Skolimowski, H. (1966). 'The Structure of Thinking in Technology'. *Technology and Culture* **7**, pp.371–383. Reimprimido en F. Rapp, compilador (1974), pp.72–85. *Contributions to a Philosophy of Technology*. Dordrecht: D. Reidel.
- Thomas, J. Meurig (2001). 'Predictions'. *Notes and Records of the Royal Society of London* **55**, 1, pp. 105–117.
- Wilson, M. (1993). 'Honorable Intentions'. En S. J. Wagner & R. Warner, compiladores (1993), pp.53–94. *Naturalism: A Critical Appraisal*. Notre Dame IN: University of Notre Dame Press.