

1. DIVERSIDAD, NECESIDAD Y EVOLUCIÓN

DIVERSIDAD

Durante siglos ha intrigado a la humanidad la rica y asombrosa diversidad de formas de vida que pueblan la Tierra. ¿Por qué hubieron de surgir seres vivos como los paramecios o los colibríes, las secuoyas y las jirafas? Durante muchos siglos, los creacionistas proporcionaron la respuesta a esta cuestión. Afirmaban éstos que la diversidad de la vida era resultado y expresión de la generosa naturaleza de Dios: en la plenitud de su poder y amor, Dios optó por crear la maravillosa variedad de seres vivos que hallamos en el planeta.

A mediados del siglo XIX, y especialmente tras la publicación de *El origen de las especies* de Darwin en 1859, la explicación religiosa de la diversidad se vio desafiada por una explicación científica. Según esta nueva interpretación, tanto la diversificación de la vida en cualquier momento dado como la aparición de nuevas formas vivas en el tiempo eran resultado de un proceso evolutivo. En apoyo de las teorías de Darwin, los biólogos procedieron a identificar y nombrar más de un millón y medio de especies de flora y fauna, y han explicado esta diversidad por medio de la variabilidad reproductora y de la selección natural.

Sin embargo, ha solido pasarse por alto o darse como obvio otro ejemplo de diversidad de formas en la Tierra: la diversidad de cosas realizadas por manos humanas. A esta categoría pertenece «el vasto universo de objetos utilizados por la humanidad para hacer frente al mundo físico, para facilitar la relación social, para deleitar la fantasía, y para crear símbolos significativos».¹

1. Thomas J. Schlereth, *Material culture studies in America*, Nashville, 1982, p. 2.

Como no pueden identificarse con precisión especies diferentes entre los objetos de manufactura humana, resulta difícil obtener un recuento preciso de los diferentes tipos de cosas artificiales. Puede alcanzarse una muy tosca aproximación a esta cifra utilizando el número de patentes concedidas como indicador de la diversidad del mundo de objetos creados. Sólo en los Estados Unidos, desde 1790 se han concedido más de 4,7 millones de patentes. Si se considera a cada una de estas patentes como equivalente de una especie orgánica, puede decirse que la diversidad tecnológica es tres veces mayor que la orgánica. Aunque defectuoso en diferentes aspectos, este intento de medir la diversificación comparada sugiere que la diversidad del ámbito tecnológico se aproxima a la del ámbito orgánico.

La variedad de las cosas hechas resulta tan asombrosa como la de los seres vivos. Considérese la gama que va desde los útiles de piedra a los microchips, de los molinos de agua a las naves espaciales, de las chinchetas a los rascacielos. En 1867, Karl Marx se sorprendió al conocer que, como muy bien puede ser, en Birmingham, Inglaterra, se producían quinientos diferentes tipos de martillos, cada uno de ellos adaptado a una función específica en la industria o la artesanía (fig. 1.1). ¿Qué fuerzas condujeron a la proliferación de tantas variantes de este antiguo y común instrumento? O, de forma más general, ¿por qué hay tantos tipos diferentes de cosas?

Nuestros intentos por comprender la diversificación en el mundo artificial, o incluso por apreciar su riqueza, se han visto lastrados por la suposición de que las cosas que hacemos son meramente otros tantos instrumentos que nos permiten hacer frente al entorno natural y satisfacer las necesidades vitales. La sabiduría tradicional sobre la naturaleza de la tecnología ha subrayado habitualmente la importancia de la necesidad y la utilidad. Una y otra vez se nos ha dicho que, a lo largo de la historia, los tecnólogos han proporcionado a las personas los objetos útiles y las estructuras necesarias para la supervivencia.

Como la necesidad y la utilidad por sí solas no pueden explicar la variedad y novedad de cosas creadas por el ser humano, hemos de buscar otras explicaciones, especialmente unas que puedan incorporar las suposiciones más generales sobre la significación y metas de la vida. Esta búsqueda puede facilitarse aplicando la teoría de la evolución orgánica al mundo tecnológico.

La historia de la tecnología, una disciplina que estudia la invención, producción y usos de objetos materiales, se beneficia de la aplicación de la analogía evolutiva como instrumento explicativo. Una teo-

ría que explique la diversidad del ámbito orgánico puede ayudarnos a explicar la variedad de cosas creadas. Esta empresa tiene sin embargo sus riesgos, pues como advertía el poeta e. e. cummings,* «el mundo de lo hecho no es el mundo de lo nacido».²

Hemos de acercarnos con precaución a la metáfora evolutiva porque *hay* muchas diferencias entre el mundo de lo hecho y el de lo nacido. Uno es resultado de la actividad finalista humana, y el otro resultado de un proceso natural aleatorio. Uno produce un objeto físico estéril, el otro un ser vivo capaz de reproducirse. Quiero subrayar que no me propongo establecer una correspondencia unívoca entre estos ámbitos, tan distintos entre sí. En la argumentación y análisis que siguen voy a utilizar selectivamente la metáfora o analogía, con la expectativa de que esta metáfora nos dé una comprensión de la historia de la tecnología de otro modo inalcanzable.

La naturaleza de la metáfora y su papel en este libro precisan una aclaración adicional. Las metáforas no son ornamentos arbitrariamente superpuestos al discurso por fines poéticos. Las metáforas o analogías están en el núcleo de todo pensamiento analítico y crítico amplio. Sin metáforas, la literatura sería árida, apenas existirían la ciencia y la filosofía, y la historia se reduciría a una narración de acontecimientos. Los historiadores han confiado desde antiguo en las metáforas para la interpretación del pasado, especialmente las metáforas orgánicas que invocaban el nacimiento, crecimiento, desarrollo, madurez, salud, enfermedad, senectud y muerte. Desde aproximadamente el siglo pasado, los especialistas en la historia de la ciencia y la tecnología han recurrido de forma rutinaria a una potente metáfora política, la de revolución, para explicar los acontecimientos en estas áreas. Así, al sugerir que se emplee la teoría evolutiva en la comprensión del cambio tecnológico no estoy introduciendo la metáfora en un campo que nunca hubiera conocido antes esta noción; antes bien, estoy introduciendo una metáfora nueva e instando a una seria consideración de sus implicaciones más amplias.

Pido al lector que me conceda la misma indulgencia que ha tenido con aquellos que escriben acerca de revoluciones científicas e indus-

* Poeta norteamericano (1894-1962) cuya obra aparece caracterizada por el uso de arcaísmos, supresión de mayúsculas y acentuación, y otros procedimientos similares. (*N. del e.*)

2. e. e. cummings, «pity this busy monster manunkind», en *Poems, 1923-1954* (Nueva York, 1954, p. 397).

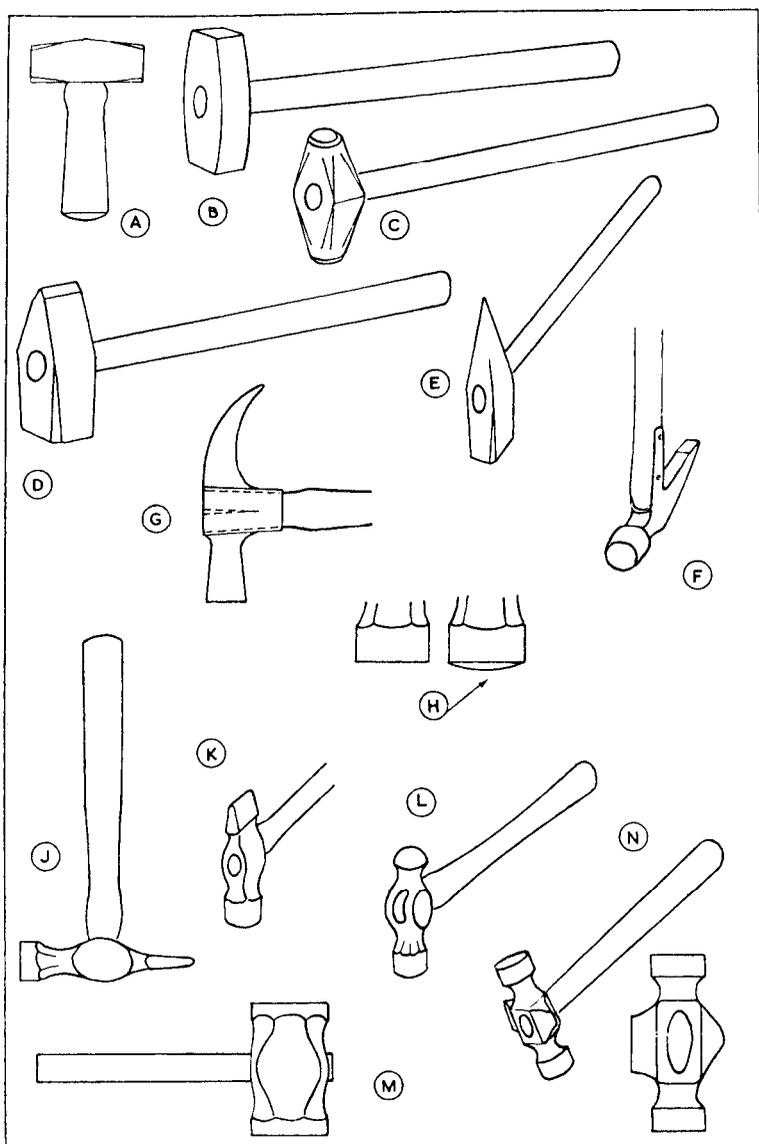
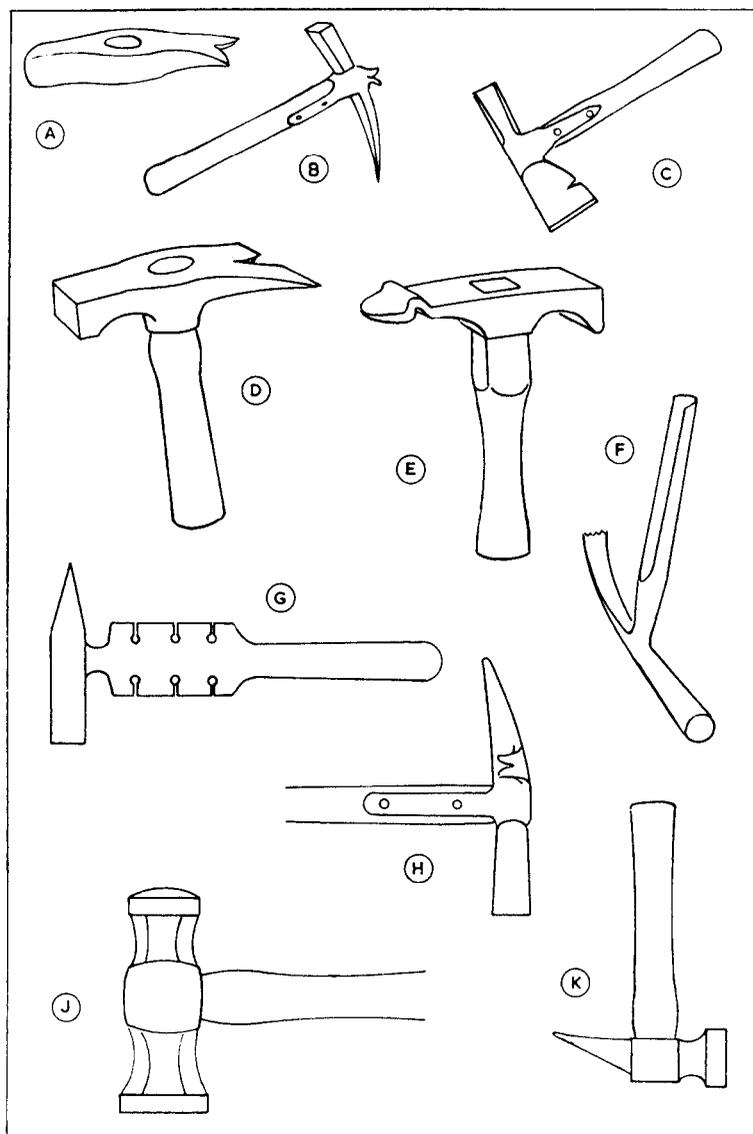


FIGURA 1.1. Diversidad de artefactos reflejada en las formas de martillos utilizados por los artesanos rurales ingleses. *A la izquierda*: A, B, C, D, E, martillos de piedra de albañil utilizados para romper, cortar, cuadrar y pulir la piedra; F, G, martillo de carpintero con cabeza reforzada; H, cabeza curva de martillo, utilizada para proteger la superficie de la madera al clavar un clavo; J, martillo general de carpintería; K, martillo recto de herrero; L, martillo bola, un martillo general en transformaciones metálicas; M, martillo



de sillador; N, martillo de herrar caballos (dos imágenes). *A la derecha*: A, cabeza de martillo utilizado para sacar clavos; B, martillo picudo de pizarrero; C, hacha listón; D, azuela de clavar de tonelero, utilizada en barricas; E, punzón para manteca, utilizado para abrir y cerrar envases de manteca; F, combinación de catador de queso y martillo; G, martillo afilasierras y montasierras; H, martillo de tapicero y talabartero; J, K, martillos de zapatero. Fuente: Percy W. Blandford, *Country craft tools*, Newton Abbot, 1974, pp. 49, 55.

triales. Al igual que no se considera responsables a los historiadores de la ciencia y la tecnología de todos los aspectos de la similitud entre la revuelta política y el cambio científico, tecnológico e industrial radical, no se me deberá reprender por no establecer paralelismos entre todos los rasgos de los mundos artificial y natural.

En un sentido mi uso de la metáfora difiere del de la mayoría de los historiadores: éstos utilizan las metáforas implícitamente y a menudo de forma inconsciente; en este libro hago un uso explícito y consciente de las mías. Aunque nuestra elección —y concepción— de las metáforas puedan diferir, compartimos la misma meta: comprender el pasado.

NECESIDAD

Una conocida fábula de Esopo es especialmente relevante para la consideración de la tecnología, la diversidad y la necesidad. Érase una vez, escribió Esopo, un cuervo a punto de morir de sed que se posó sobre un alto jarro parcialmente lleno de agua. Una vez y otra intentaba beber de él, estirando y tensando su cuello, pero su corto pico no podía alcanzar la superficie del agua. Tras fracasar en un intento de volcar la pesada vasija, el pájaro desesperó de saciar alguna vez su sed. Entonces tuvo una brillante idea. Viendo unos guijarros sueltos en las inmediaciones, el cuervo empezó a lanzarlos en el jarro. A medida que las piedras desplazaban el agua, aumentaba su nivel. Pronto, el cuervo pudo beber hasta la saciedad. Moraleja: la necesidad es la madre del ingenio. Los comentaristas modernos han desarrollado este mensaje elogiando a aquellos individuos que, colocados en situaciones aparentemente imposibles, no desesperan, sino que usan el ingenio y el talento para inventar nuevos instrumentos y máquinas que resuelven el dilema, satisfacen las necesidades biológicas y contribuyen al progreso material.

La creencia en que la necesidad desencadena el esfuerzo inventivo es una creencia constantemente invocada para explicar la mayor parte de la actividad tecnológica. Los seres humanos tienen necesidad de agua, y por lo tanto cavan pozos, encauzan ríos y corrientes y desarrollan la tecnología hidráulica. Necesitan refugio y defensa, por lo que construyen casas, fortalezas, ciudades e ingenios militares. Necesitan alimento, por lo que cultivan plantas y domesticar animales. Necesitan moverse con facilidad, por lo que inventan barcos, carruajes,

carretas y carros, bicicletas, automóviles, aviones y naves espaciales. En cada uno de estos casos, los humanos, como el cuervo del cuento de Esopo, utilizan la tecnología para satisfacer una necesidad apremiante e inmediata.

Si la tecnología existe primordialmente para surtir a la humanidad en sus necesidades más básicas, hemos de determinar precisamente cuáles son estas necesidades y qué complejidad tecnológica se precisa para satisfacerlas. Cualquier complejidad que vaya más allá de la estricta satisfacción de las necesidades podría considerarse superflua y debe explicarse por otros motivos distintos a la necesidad.

Al supervisar las necesidades y técnicas esenciales para los seres humanos, un comentarista moderno podría preguntar: ¿necesitamos automóviles? A veces se nos dice que los automóviles son absolutamente esenciales, pero el automóvil tiene apenas un siglo de historia. Los hombres y mujeres conseguían llevar una vida plena y feliz antes de que Nikolaus A. Otto inventara en 1876 su motor de combustión interna de cuatro tiempos.

La indagación de los orígenes del vehículo propulsado con motor de gasolina revela que no fue la necesidad lo que impulsó a sus inventores a completar su tarea. El automóvil no se desarrolló en respuesta a una grave crisis internacional relacionada con el caballo o a la escasez de caballos. Los líderes nacionales, pensadores influyentes y editorialistas no estaban demandando una sustitución del caballo, ni tampoco los ciudadanos de a pie esperaban ansiosamente que algunos inventores llenaran alguna vez la grave necesidad social y personal del transporte motorizado. De hecho, durante la primera década de vida, de 1895 a 1905, el automóvil fue un juguete, un capricho para los que podían permitirse comprarlo.

El camión fue aceptado aún más lentamente que el automóvil. El éxito del transporte militar por camión en la primera guerra mundial, unido a una intensa presión por parte de los fabricantes de camiones y del ejército después de la guerra, determinó el desplazamiento del carro tirado por caballos y, en fecha posterior, del ferrocarril. Pero el camión no fue creado para superar las obvias deficiencias del tiro por caballo y por máquina de vapor. Como sucedió con los automóviles, la necesidad de camiones surgió después, y no antes, de inventarlos. En otras palabras, la *invención* de los vehículos dotados de motores de combustión interna dio lugar a la *necesidad* de transporte motorizado.

Como los coches y camiones automóviles aparecieron al final de un siglo repleto de una actividad tecnológica intensa, podrían considerarse malos ejemplos en los que basar una argumentación. Quizá si se identificase un invento anterior, un invento que no coincidiese con la innovación tecnológica deliberada y difusa y su creencia asociada en el progreso material, podría aislarse más fácilmente la necesidad que lo produjo. La rueda promete ser precisamente este invento.

La rueda

Popularmente concebida como uno de los inventos más antiguos e importantes de la historia del género humano, la rueda se considera, junto con el fuego, como el mayor logro técnico de la edad de piedra. En las tiras cómicas y los dibujos animados, se presentan las ruedas de piedra y el fuego como creaciones parejas de los prehistóricos moradores de las cavernas. Esta conocida presentación, que apareció por vez primera en el siglo XIX, está actualmente ilustrada en la tira cómica de antes de la era cristiana.

Los más versados en la historia temprana de la cultura humana saben que los orígenes del fuego y de la rueda no se remontan al mismo período. El fuego se ha utilizado al menos durante un millón y medio de años, mientras que la rueda tiene más de 5.000 años de antigüedad. Sin embargo, incluso a este nivel de comprensión histórica, existe la tendencia a emparejar ambos sucesos, colocándolos en una categoría especial situada más allá de todos los logros humanos. Por ejemplo, cuando el distinguido historiador de la economía David S. Landes evaluó recientemente la significación del reloj mecánico, concedió que «no se podía incluir en un mismo grupo con el fuego y la rueda»,³ y por tanto merecía una categoría inferior.

Cualquiera que sea el grado de conocimiento histórico, la mayoría de las personas opinan que el uso del transporte rodado es señal de civilización. Ambos se consideran tan estrechamente ligados que el progreso experimentado por una cultura se ha juzgado de acuerdo con la medida en que ha explotado el movimiento rotativo para el transporte. Mediante este estándar, el hecho de no conocer la rueda basta para situar a una cultura lejos del mundo civilizado.

3. David S. Landes, *Revolution in time: clocks and the making of the modern world*, Cambridge, Mass., 1983, p. 6.

Para indagar los orígenes de esta maravillosa invención, no es necesario explorar el ámbito natural. Con la excepción de unos microorganismos, ningún animal se impulsa a sí mismo por medio de un conjunto de ruedas orgánicas girando libremente en los ejes. El origen de la rueda ha de buscarse entre las cosas artificiales.

Antes de la introducción de la rueda, los objetos pesados y voluminosos eran movidos mediante trineos, plataformas de madera con o sin patines. Se utilizaban rodillos cilíndricos (troncos lisos) colocados debajo del vehículo para facilitar el movimiento de las planchas, y se cree que estos rodillos inspiraron la invención de la rueda.

Sea cual sea su fuente de inspiración, las ruedas hicieron su inicial aparición en el cuarto milenio a.C. a lo largo de una amplia zona situada entre los ríos Tigris y Rin. Los hallazgos arqueológicos actuales indican que los vehículos con ruedas fueron inventados en Mesopotamia y de ahí se difundieron a Europa noroccidental en un espacio de tiempo muy corto. Las primeras ruedas eran o discos sólidos de madera cortados de una misma tabla, o bien modelos compuestos de tres piezas de madera talladas con forma redondeada y unidas con abrazaderas.

Una lectura estricta del registro arqueológico sugiere que los primeros vehículos con ruedas eran utilizados para fines rituales y ceremoniales. Las primeras ilustraciones muestran que se empleaban para transportar efigies de deidades o personas importantes. Los más antiguos restos de transportes con ruedas se encuentran en tumbas; estos vehículos, enterrados con el fallecido como parte de una ceremonia religiosa de entierro, han salido a la luz en varios lugares del Oriente Próximo y Europa.

Los vehículos enterrados con los muertos eran a menudo del tipo utilizado en el campo de batalla. Por tanto, los usos ritual y ceremonial de la rueda estaban estrechamente ligados a su uso en la guerra. Las necesidades militares ejercieron una poderosa influencia en el desarrollo posterior de los vehículos de ruedas. Por ejemplo, la evidencia pictórica y física avala la idea de que el «carro de combate» con cuatro ruedas y la carreta de Mesopotamia fueron utilizados desde muy pronto como plataformas móviles desde las cuales podían lanzarse jabalinas. La innovadora rueda de radios, que exigía un alto nivel de artesanía, fue utilizada primero en carretas de combate durante el segundo milenio a.C. para crear vehículos ligeros y rápidos que pudieran ser fácilmente maniobrados durante la batalla.

Además de los usos rituales y militares, la rueda también se utilizaba en el transporte de bienes. Aunque esta tercera función no está registrada directamente en las primeras muestras arqueológicas, suponemos que los vehículos con ruedas podrían ser —y fueron— utilizados para fines más mundanos en una fecha temprana. La evidencia documental de carros para el transporte de productos agrícolas, como heno, cebollas o juncos, data del 2375 al 2000 a.C., cerca de mil años después de la aparición inicial de la rueda. Sin embargo, este retraso temporal puede reflejar simplemente la naturaleza ritual, ceremonial y militar de gran parte de nuestra evidencia arqueológica. A pesar de la falta de pruebas sólidas de la función de transporte de los vehículos con ruedas en los primeros tiempos, puede afirmarse que el aspecto utilitario de la rueda era primario y que la necesidad de transportar productos agrícolas fue la fuente de la invención del carro y la carreta.

Nuestra presentación de la rueda y de sus usos se ha limitado a una zona geográficamente relativamente pequeña. La historia de la rueda en el resto del mundo está por escribir. Vehículos con ruedas aparecieron en India durante el tercer milenio y en Egipto y China durante el segundo milenio a.C. En cuanto a Asia suroriental, África subsahariana, Australasia, Polinesia y América del Norte y del Sur, las personas de estas amplias zonas consiguieron sobrevivir, y en muchos casos prosperar, sin ayuda de la rueda. Hasta la época moderna no se introdujo en estas tierras el movimiento rotativo para fines de transporte.

Especialmente interesante es el caso de Mesoamérica (aproximadamente México y América Central). Aunque el transporte rodado era desconocido hasta la llegada de los españoles, los mesoamericanos hacían objetos de miniatura con ruedas. Desde los siglos IV a XV d.C., se crearon figuras de barro de diversos animales dotados de ejes y ruedas para hacerlos móviles (fig. 1.2). Se desconoce si estas figuras eran juguetes u objetos votivos; sin embargo, independientemente de su finalidad, muestran que el principio mecánico de la rueda era perfectamente comprendido y aplicado por personas que nunca la pusieron en uso para el transporte de bienes.

¿Cómo explicar esta no explotación de un invento comúnmente considerado como uno de los dos logros técnicos mayores de todas las épocas? Si suponemos que se trata de un pueblo cuyo desarrollo intelectual estaba tan estancado que no fue capaz de hacer un uso práctico de la rueda, ¿cómo explicar el hecho de que fuera capaz de in-



FIGURA 1.2. Figura de barro con ruedas elaborada por los aztecas (México). Las figuras animales con aplicación del principio de la rueda y el eje se encuentran en toda Mesoamérica. Datan desde aproximadamente el 300 d.C. hasta la llegada de los españoles en el siglo XVI, un período en que no había transporte rodado en la región. Fuente: Stuart Piggott, *The earliest wheeled transport*, Ithaca, Nueva York, 1983, p. 15. Neg. n.º 326744; por gentileza del Departamento de servicios bibliotecarios del Museo Americano de Historia Natural.

ventar independientemente la rueda primero? Y ¿cómo explicar el florecimiento de las culturas azteca y maya con sus logros en las artes y las ciencias?

La respuesta a estos interrogantes es simple. Los mesoamericanos no utilizaron vehículos con ruedas porque no era factible hacerlo dadas las características topográficas de su tierra y la fuerza animal de que disponían. El transporte rodado depende de caminos adecuados, un difícil requisito en una región caracterizada por densas junglas y un paisaje accidentado. También se necesitaban grandes animales de tiro capaces de arrastrar pesados vehículos de madera, pero los mesoamericanos carecían de animales domesticados que pudieran utilizar para estos fines. Los hombres y mujeres de México y América Central hacían largos recorridos, y a través de un accidentado terreno,

llevando cargas en la espalda. No era necesario construir caminos para estos portadores humanos.

Puede aportarse un caso incluso más convincente contra la superioridad y aplicabilidad universal de la rueda volviendo a su lugar de origen en el Oriente Próximo. Entre los siglos III y XII d.C., las civilizaciones del Oriente Próximo y norte de África abandonaron el transporte con vehículos rodados y adoptaron una forma más eficiente y rápida de mover bienes y personas: sustituyeron al carro y la carreta por el camello. Este deliberado rechazo de la rueda en su misma región de origen duró más de mil años. Tuvo su fin sólo cuando las principales potencias europeas, extendiendo sus esquemas imperialistas al Oriente Próximo, reintrodujeron la rueda.

El camello como animal de carga fue preferido al transporte rodado por razones que resultan evidentes cuando se compara el camello con el típico vehículo tirado por bueyes. El camello puede transportar más, ir más rápido y viajar más lejos, con menos alimento y agua, que el buey. Los camellos de carga no necesitan ni caminos ni puentes, pueden ir campo a través y vadear ríos y torrentes, y dedican toda su fuerza a llevar la carga, sin desperdiciarla en acarrear el peso muerto de una carreta. Cuando se comparan el camello y el buey, resulta sorprendente que primero llegara a adoptarse la rueda en esta región. En el Oriente Próximo, una gran parte de la carga de bienes siempre era llevada por animales de carga. El sesgo en favor de la rueda llevó a los estudiosos occidentales a infravalorar la utilidad de los animales de carga y sobreestimar la contribución de los vehículos de ruedas en los años anteriores a que el camello sustituyó a la rueda.

Cuanto más conocemos sobre la rueda, más claro resulta que su historia e influencia han sido distorsionadas por la extraordinaria atención que se le prestó en Europa y Estados Unidos. La idea occidental de que la rueda es una necesidad universal (tan crucial para la vida como el fuego) tiene un origen reciente. El fuego, y no la rueda, fue el precioso don que Prometeo robó a los dioses y concedió a la humanidad. De forma similar, el fuego, y no la rueda, fue tradicionalmente descrito como agente civilizador en las artes literarias y visuales de la cultura occidental. No fue hasta finales del siglo XIX y comienzos del XX cuando los escritores populares acerca de la tecnología elevaron a la rueda al primordial lugar que ocupa hoy.

Esta historia de la rueda comenzó como una búsqueda de un adelanto tecnológico significativo que se produjo en respuesta a una ne-

cesidad humana universal. Ha concluido con la concepción de la rueda como una invención cultural cuya significación e impacto han sido exagerados en Occidente. Aunque este examen no pretende minorar la importancia real de la rueda en la tecnología moderna, plantea serias dudas sobre su uso como criterio para evaluar otras culturas.

Situando el transporte rodado en una perspectiva cultural histórica y geográfica más amplia, se desprenden tres ideas: primera, que los vehículos con ruedas no se inventaron necesariamente para facilitar el movimiento de bienes; segunda, que la civilización occidental es una civilización centrada en la rueda que ha llevado el movimiento rotativo en el transporte a un elevado estado de desarrollo; y, tercera, que la rueda no es una invención mecánica singular, o útil, para todo el mundo en todas las épocas.

Necesidades fundamentales

La indagación de las relaciones entre necesidad e invención ha revelado que la necesidad es algo relativo. Una necesidad para un pueblo, generación o clase social puede carecer de valor utilitario, o puede ser un lujo superficial para otro pueblo, generación o clase social. Mientras los europeos promovían enérgicamente el transporte rodado, los nororientales abandonaban su experimentación con la rueda, y los mesoamericanos adaptaban el movimiento rotativo a figuras de barro. La historia de la recepción y uso comparado de la rueda podía repetirse en relación a otras llamadas necesidades de la vida moderna. Lejos de satisfacer necesidades universales, obtienen su importancia en el seno de un contexto cultural o sistema de valores específico.

Esto plantea la sospecha de que pudiera ser factible despojarse de las falsas necesidades, las necesidades triviales a las que nos hemos acostumbrado, para establecer un núcleo de necesidades fundamentales propias de los seres humanos de toda época y lugar. Estas necesidades universales proporcionarían suelo firme en el que basar la comprensión de la cultura, incluida la tecnología.

Según los antropólogos funcionales y los sociobiólogos, todo aspecto de la cultura, material y no material, puede asociarse directamente a la satisfacción de una necesidad básica. En su opinión, la cultura no es más que la respuesta de la humanidad a la satisfacción de sus necesidades nutritivas, reproductoras, defensivas e higiénicas. Sin

embargo, los críticos de la teoría biológica han propuesto varios contraargumentos sólidos. Algunos han señalado que fenómenos centrales en la cultura humana, como el arte, la religión y la ciencia, tienen muy débiles vinculaciones con la supervivencia humana. Igualmente, la agricultura y la arquitectura, que supuestamente pueden vincularse a la necesidad de alimento y de cobijo, tienen manifestaciones sólo remotamente explicables por la necesidad biológica. La empresa agrícola moderna, por ejemplo, está motivada por muchas más cosas que por el interés en proporcionar alimento a la humanidad; un rascacielos no es simplemente una estructura destinada a proteger a las personas de las variaciones climatológicas.

Algunos estudiosos afirman que el lenguaje es el rasgo más importante de la cultura, y que es el lenguaje, y no la biología, lo que determina nuestra definición de lo que consideramos necesario o útil. En su opinión, la necesidad no es algo que la naturaleza impone a la humanidad, sino una categoría conceptual creada por elección cultural. Ambos grupos de críticos reconocen las presiones materiales exteriores en la cultura; sin embargo, estas presiones se consideran remotas y de menor importancia cuando se comparan con la inmensa gama de posibilidades culturales abiertas a la humanidad. La necesidad biológica opera negativamente y en límites extremos. Determina lo que es imposible, no lo que es posible.

Otro enfoque crítico a las teorías de la cultura basadas en las necesidades fundamentales previas evalúa el papel de la tecnología en el reino animal. Sus partidarios concluyen que no es necesaria tecnología alguna para satisfacer las necesidades animales. Esta afirmación se prueba observando el reino animal en el que se satisfacen las necesidades vitales sin intervención de la tecnología. Al contrario que en la fábula de Esopo, en la vida real los pájaros no consiguen el agua recurriendo a complejas estrategias tecnológicas. Los pájaros y otros animales no cavan pozos o construyen canales, acueductos u oleoductos. La naturaleza les proporciona agua, alimento y abrigo directamente sin estructura artificial alguna. Por supuesto, algunos animales utilizan palos, piedras y hojas como instrumentos primitivos para recoger alimento y como armas para defenderse, pero la conducta instrumental animal es tan rudimentaria y limitada que apenas puede compararse con la tecnología de las culturas humanas más simples. No hay animales que utilicen el fuego, ni animales que creen rutinariamente nuevos instrumentos, mejoren instrumentos de antiguo diseño, utili-

cen instrumentos para hacer otros instrumentos, o transmitan los conocimientos técnicos a sus descendientes.

Así las cosas, es erróneo vincular el uso de herramientas por los animales con la tecnología humana por medio de una curva de transición uniforme. Incluso los instrumentos más primitivos y toscos producidos por los humanos suponen una considerable previsión y un nivel de mentalidad que los diferencia de los más sofisticados instrumentos creados por los animales. Como indicó Karl Marx, el peor arquitecto es superior al mejor animal constructor de nidos o colmenas porque sólo los humanos son capaces de idear estructuras en su imaginación antes de levantarlas.

Los animales existen y se desarrollan sin el fuego o los utensilios de piedra más simples. En tanto en cuanto somos animales, en el plano geológico de existencia, también podríamos vivir sin ellos. Por supuesto, sin tecnología no podríamos ni ocupar ni visitar muchas regiones del planeta que actualmente habitamos. Ni podríamos hacer la mayoría de las cosas que hacemos en nuestra vida cotidiana. Pero podríamos sobrevivir, y la supervivencia es lo que tenemos presente cuando preguntamos por el nivel de complejidad necesario de una tecnología para satisfacer nuestras necesidades básicas.

Como la tecnología no es necesaria para satisfacer las necesidades animales de las personas, el filósofo Ortega y Gasset define la tecnología como la producción de lo superfluo. Ortega indica que la tecnología era tan superflua en la edad de piedra como lo es hoy. Como el resto del reino animal, también nosotros podríamos haber vivido sin el fuego y sin herramientas. Por razones aún oscuras, empezamos a cultivar la tecnología y en el proceso creamos lo que ha llegado a conocerse como la vida humana, la buena vida o bienestar. La lucha en pos del bienestar ciertamente entraña la idea de necesidades, pero estas necesidades están cambiando constantemente. Una vez la necesidad motivó la construcción de pirámides y templos, y en otra inspiró el movimiento por la superficie de la Tierra en vehículos autopropulsados, viajes a la Luna, y la incineración e irradiación de ciudades enteras.

Cultivamos la tecnología para satisfacer nuestras necesidades percibidas y no un conjunto de necesidades dictadas por la naturaleza. Según el filósofo francés Gaston Bachelard, la conquista de lo superfluo nos da un mayor estímulo espiritual que la conquista de lo necesario porque los humanos son creaciones del deseo, no de la necesidad.

Una necesidad percibida coincide a menudo con una necesidad animal, como la exigencia de nutrirse. No obstante, no hemos de perder de vista el hecho de que los humanos han elegido actualmente un medio tecnológico excesivamente complejo de satisfacer necesidades básicas. En vez de confiar directamente en la naturaleza para la supervivencia, hemos ideado las técnicas totalmente innecesarias de la agricultura y la cocina. Estas técnicas son innecesarias porque las plantas y animales son capaces de crecer e incluso desarrollarse sin la intervención humana, y porque el alimento no ha de ser procesado por el fuego antes de ser apto para el consumo humano. La agricultura y la cocina no son prerequisites para la supervivencia humana; sólo se vuelven necesarias cuando optamos por incluirlas en nuestra idea de bienestar.

Los humanos tienen una relación diferente de la de los animales con el mundo natural. La naturaleza mantiene simple y directamente la vida animal. Para los humanos, la naturaleza sirve de fuente de materiales y fuerzas que pueden ser utilizados en prosecución de lo que ellos optan por llamar en cada caso su bienestar.

Como los recursos naturales son variados, y como los valores y gustos humanos difieren de una cultura a otra, de una época a otra y de persona a persona, no nos sorprendería hallar una enorme diversidad en los productos de la tecnología. Los artefactos que componen el mundo artificial no constituyen una serie de soluciones directas a los problemas generados por la satisfacción de las necesidades básicas, sino que son manifestaciones materiales de las diversas formas que hombres y mujeres han elegido a lo largo de la historia para definir y mantener su vida. Vista de este modo, la historia de la tecnología es una parte de la mucho más amplia historia de las aspiraciones humanas, y la plétora de cosas artificiales es producto de mentes humanas repletas de fantasías, anhelos, metas y deseos. El mundo artificial mostraría mucha menor diversidad si operase prioritariamente bajo las constricciones impuestas por las necesidades fundamentales.

ANALOGÍAS ORGÁNICO-MECÁNICAS

Explicar la diversidad de los artefactos mediante una teoría de la evolución tecnológica exige comparar los organismos vivos y los instrumentos mecánicos. Este pensamiento analógico es un fenómeno mo-

derno con pocos precedentes en la Antigüedad. Aristóteles, que escribió mucho sobre cuestiones biológicas, hizo poco uso de analogías mecánicas en su explicación del mundo orgánico. No fue hasta el Renacimiento cuando los pensadores europeos empezaron a establecer paralelismos entre lo orgánico y lo mecánico. Esta asociación de lo que hasta entonces se habían considerado elementos dispares fue resultado de la aparición de una multitud de nuevos instrumentos tecnológicos y de la aparición de la ciencia moderna.

Inicialmente, el flujo de las analogías orgánico-mecánicas fue de la tecnología a la biología. Las estructuras y procesos de los organismos vivos se describían y explicaban en términos mecánicos. A mediados del siglo XIX, se registró un movimiento metafórico en dirección opuesta. La contracorriente metafórica tuvo una importancia decisiva; por vez primera, el desarrollo de la tecnología se interpretó mediante analogías orgánicas.

El crecimiento industrial generalizado, la capacidad del geólogo para establecer la antigüedad de la Tierra, y la aparición de la teoría darwiniana de la evolución facilitaron la aplicación de las analogías orgánicas al ámbito tecnológico. Este nuevo tipo de metaforización tuvo sus efectos más notables y duraderos en la literatura y la antropología. Los usos literarios de la metáfora orgánico-mecánica pueden estudiarse adecuadamente en los escritos de Samuel Butler, y los antropológicos, en la obra del general Augustus Henry Pitt-Rivers (nombre original, Lane-Fox). Ambos hombres vivieron en la Inglaterra victoriana y ambos estuvieron profundamente influidos por *El origen de las especies* de Darwin.

En su novela utópica *Erewhon* (1872) y en ensayos como «Darwin among the machines» (1863), Samuel Butler analizaba caprichosamente la idea de que las máquinas se desarrollaron de forma notablemente similar a la evolución de los seres vivos. Sus ideas inspiraron las fantásticas novelas evolutivas populares de la ciencia-ficción de los siglos XIX y XX, en las que máquinas en rápida evolución superan y sustituyen a los humanos, cuyo desarrollo evolutivo se ha estancado. La influencia de Butler también puede apreciarse en los modernos ensayos especulativos que predicen o el advenimiento de una nueva relación simbiótica entre humanos y máquinas, o la superación de la humanidad por formas tecnológicas nuevas capaces de autorreproducción, como robots y ordenadores.

Los victorianos, orgullosos de sus logros industriales, fueron así

advertidos por Butler de la conveniencia de detenerse y contemplar las más amplias implicaciones del cambio tecnológico. Las máquinas, decía, han experimentado una serie de transformaciones muy rápidas, desde el simple palo de nuestros antepasados a la máquina de vapor de la actualidad. Este desarrollo en la dirección de una mayor complejidad plantea la posibilidad de la adición de un reino mecánico, compuesto por todas las formas de vida mecánica, a los reinos animal y vegetal existentes.

La identificación de las máquinas como nueva clase de seres vivos permitiría a los victorianos ordenarlas en géneros, especies y variedades, sugería Butler, y pasar de este ejercicio de clasificación a la construcción de un árbol evolutivo que ilustrase las conexiones entre las diversas formas de vida mecánica. La teoría de Darwin, por tanto, es perfectamente compatible con el reino animal. La historia de la tecnología está repleta de ejemplos de máquinas que cambian lentamente con el tiempo y sustituyen a antiguos modelos, de estructuras residuales que subsisten como partes de mecanismos mucho después de haber perdido sus funciones originales, y de máquinas implicadas en una lucha por la supervivencia, si bien con la ayuda de los humanos. El criador de plantas o animales que practica la selección artificial, eligiendo ciertos especímenes para su propagación, está haciendo precisamente lo que hacen el constructor de máquinas y el industrial con la vida mecánica cuando planean una nueva empresa tecnológica.

A los escépticos que replicaban que no puede decirse que las máquinas vivan y evolucionen porque son incapaces de reproducirse, Butler respondía que en el reino mecánico la reproducción opera de diferente modo. La propagación de la vida mecánica depende de un grupo de instrumentos fértiles, denominados máquinas-herramienta, capaces de producir una gran variedad de máquinas estériles.

Pero una cuestión más apremiante que la reproducción, advertía Butler, es la naturaleza de las futuras relaciones entre la humanidad y la máquina. Como las máquinas son más potentes, precisas, seguras y versátiles que los humanos, y como las máquinas cambian rápidamente ante nuestros ojos, los humanos no pueden evitar pasar a un segundo plano en un mundo dominado por la tecnología. Por supuesto, podríamos intentar poner freno a la evolución mecánica, pero ello significaría la destrucción de toda máquina e instrumento, de toda palanca y tornillo, de toda pieza de material moldeado. Como no podemos detener el progreso mecánico, hemos de resignarnos, advertía Butler, a aceptar el estatus de siervos de nuestros superiores.

Las especulaciones evolutivas de Butler, presentadas en un *tour de force* literario, le permitían expresar su ingenio y talento, su ambigua respuesta a los progresos de la tecnología y la ciencia, y sus críticas a las proposiciones teológicas y filosóficas. Pitt-Rivers, un oficial del ejército que luego dedicó su vida a la etnología y la arqueología, abordó la evolución tecnológica de forma totalmente diferente. Su aceptación del evolucionismo de Darwin y Herbert Spencer derivó de su experiencia militar y del deseo de catalogar, clasificar y mostrar su colección personal de armas e instrumentos primitivos.

En 1852, al asignársele la comprobación de nuevos rifles para el ejército británico y la preparación de un manual de instrucción para su uso, Pitt-Rivers se interesó por la historia de las armas de fuego. A lo largo de su investigación, cobró conciencia de la modificación gradual y progresiva del diseño de las armas de fuego, que había determinado la creación de rifles cada vez más potentes y precisos. Aproximadamente por esta época empezó a reunir una colección de artefactos prehistóricos y a investigar los restos desterrados en las Islas Británicas y Europa septentrional. Su contacto con estos diversos artefactos le llevó a considerar la mejor forma de organizarlos para su estudio y eventual exposición. ¿Debían disponerse geográficamente según su lugar de origen, o bien había un esquema de clasificación más provechoso?

La historia natural ofrecía una modalidad de sistema clasificatorio: el ordenamiento linneano de los reinos animal y vegetal en géneros, especies y variedades. En este sistema, la forma era más significativa que la geografía. Como Darwin había mostrado que los estudios taxonómicos podían revelar grandes y fundamentales verdades sobre la naturaleza de los seres vivos, Pitt-Rivers decidió ignorar las dimensiones geográficas, temporales y culturales de los artefactos, seguir la pista de la historia natural y ordenar su colección en una serie de secuencias compuestas de formas estrechamente emparentadas.

La afirmación de Spencer de que toda la historia de la vida se caracterizaba por un desarrollo de lo simple a lo complejo, de lo homogéneo a lo heterogéneo, inspiró a Pitt-Rivers a convertir a estos en principios rectores de su ordenación de los artefactos. Los colocó así en secuencias que empezaban por el instrumento, arma o utensilio más simple y progresaban gradualmente hasta el más complejo. Este método era algo más que una forma cómoda de imponer orden a los variados productos de la cultura material. Como se pensaba que cada

artefacto se había originado como una idea en la mente de su creador original, las secuencias reunían los aspectos materiales e intelectuales de la vida. La serie progresiva y continuada de artefactos afines servía de prueba de la evolución de la cultura humana desde su estado más primitivo hasta las etapas superiores de la civilización.

Pitt-Rivers limitó sus labores de recopilación y clasificación a los artefactos preindustriales, y deliberadamente evitó la dificultad de tratar con los productos más complejos y sofisticados de la tecnología victoriana. Su enfoque en la cultura primitiva derivaba de la creencia de que el estudio de los más simples artefactos revelaría los procesos de pensamiento de los hombres y mujeres prehistóricos y demostraría claramente la naturaleza progresiva de la cultura material. Sin embargo —responderían los críticos modernos—, no puede identificarse lo primitivo con lo prehistórico: no tenemos derecho a suponer que la cultura de los aborígenes australianos modernos tenga algún parecido con la cultura del paleolítico. Pitt-Rivers y otros antropólogos evolutivos del siglo XIX responderían que en cualquier momento de la historia las muchas sociedades dispersas por la Tierra reflejan las diferentes etapas evolutivas por las que ha pasado toda cultura humana. Creían que cada cultura seguía un único y amplio curso de cambio evolutivo con desviaciones sólo menores. Si los aborígenes australianos utilizaban instrumentos de piedra, entonces estaban precisamente en la misma etapa de desarrollo cultural que había alcanzado el hombre del paleolítico cientos de miles de años antes.

Dadas estas suposiciones sobre la evolución cultural y los artefactos, Pitt-Rivers no se interesaba particularmente en recopilar especímenes raros o exóticos para su colección. Tampoco se interesaba en datar con precisión sus artefactos y ubicarlos en un contexto cultural específico. En vez de esto, buscaba las formas que llenaban los huecos de las secuencias existentes o que podían utilizarse para iniciar nuevas secuencias (figs. 1.3 y 1.4). El criterio dominante en cada caso era lo bien que encajaba este espécimen entre otros dos de una secuencia; es decir, cuánto contribuía al establecimiento de una transición continuada. Tanto en los reinos orgánico como tecnológico, los vacíos de una secuencia representaban eslabones ausentes que podían cubrirse eventualmente. Si parecía que había más carencia de vínculos artificiales que orgánicos era porque la colección y clasificación de plantas y animales se había extendido durante siglos, mientras que la organización y análisis de las cosas artificiales no había hecho más que empezar.

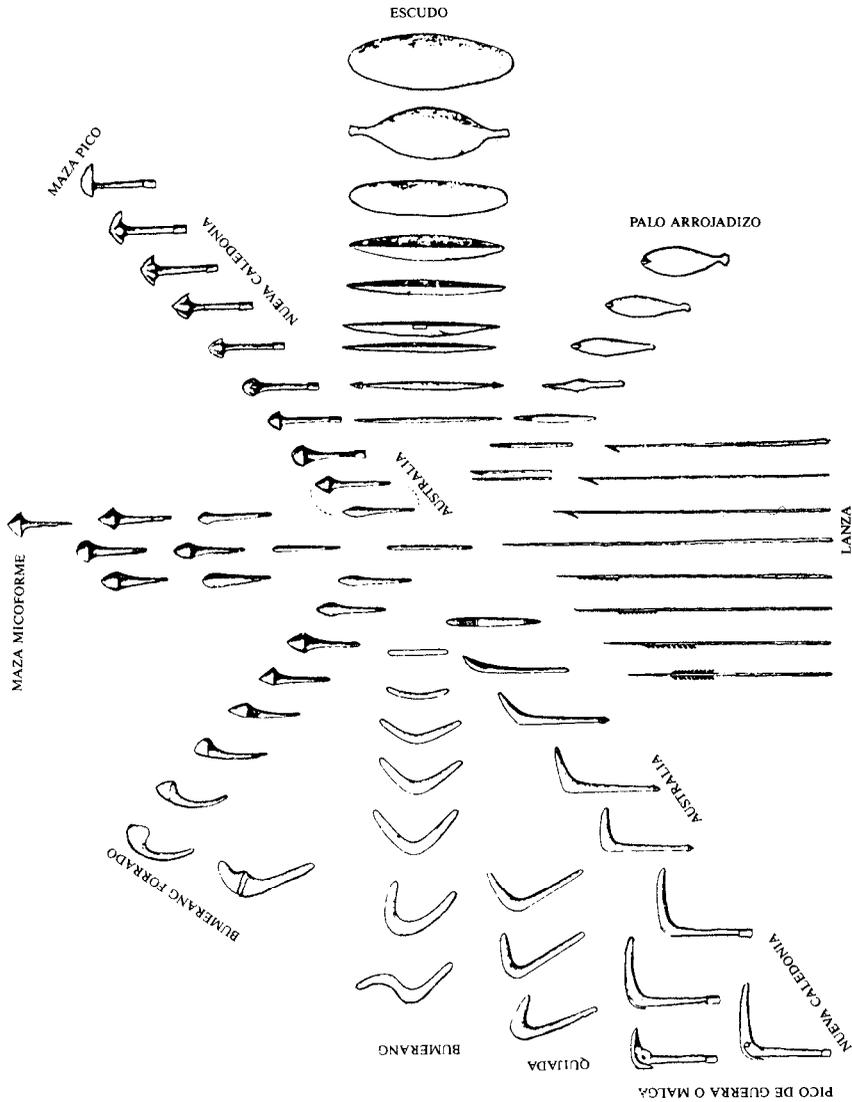


FIGURA 1.3. Evolución de las armas de los aborígenes australianos. Los bastones de guerra, bumerangs, lanzas, arpones y escudos fueron ordenados por Pitt-Rivers de forma que pareciesen secuencias evolutivas derivadas a partir de un simple palo central. Estas no son secuencias históricas; todas las armas mostradas se utilizaban en la época moderna. Pitt-Rivers supuso que los artefactos más simples, los ubicados más cerca del centro, eran «residuos» de formas anteriores. Fuente: A. Lane-Fox Pitt-Rivers, *The evolution of culture*, Oxford, 1906, lám. III; reproducido por AMS Press, Inc., Nueva York.

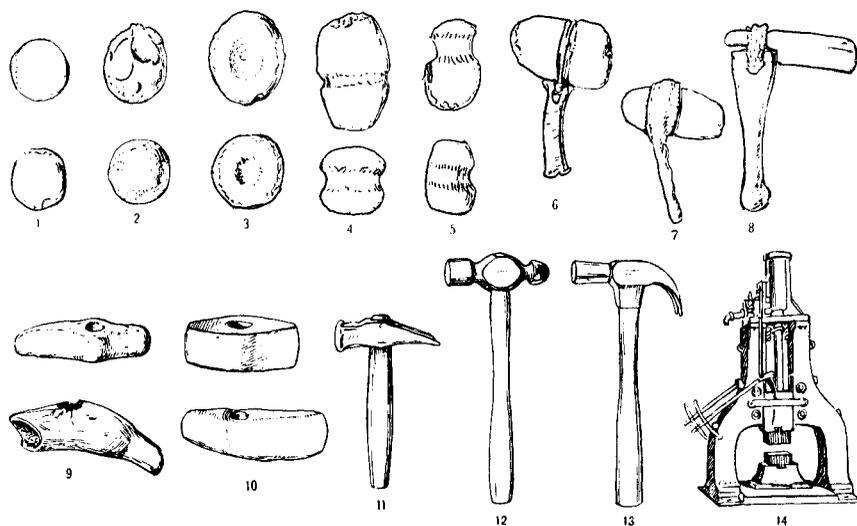


FIGURA 1.4. Historia evolutiva del martillo, desde la primera piedra toscamente formada (1) al gigantesco martillo de vapor de 1842 (14) de James Nasmyth. Esta secuencia evolutiva de un conocido instrumento de mano fue preparada por el personal del Museo Nacional de los Estados Unidos para «indicar cómo la mente humana ha llegado a ciertos logros del conocimiento que han sido hitos del progreso». Siguiendo el ejemplo de Pitt-Rivers (fig. 1.3), los «especímenes están dispuestos en orden de grado de desarrollo, independientemente de la raza, lugar o época». Fuente: Walter Hough, «Synoptic Series of Objects in the United States National Museum Illustrating the History of Inventions», *Proceedings of the United States National Museum*, 60, Washington, D.C., 1922, art. 9, p. 2, lám. 16.

Pitt-Rivers tenía cuidado en no forzar la defensa de la evolución tecnológica o establecer analogías de largo alcance entre los organismos vivos y los objetos materiales. Por ejemplo, pensaba que era permisible justificar su interés en el armamento y en los orígenes de la actividad bélica vinculándolos con la lucha darwiniana por la existencia. Pero los humanos utilizan armas en su lucha; las propias armas no luchan por sobrevivir. Ni las armas u otros artefactos son capaces de reproducción. Adelantándose a estas objeciones, Pitt-Rivers introdujo la idea de selección inconsciente. A lo largo de la historia, sin premeditación o intención, los humanos habían seleccionado los artefactos más aptos para ciertas tareas, habían rechazado los menos aptos y modificado gradualmente los restantes artefactos para que de-

sempeñaran mejor sus funciones. En consecuencia, el cambio de los artefactos se dirigía a lo largo de un camino progresivo, aun cuando los artesanos fuesen totalmente inconscientes de las implicaciones de largo alcance de las ligeras mejoras que habían introducido. Al satisfacer una necesidad inmediata, inadvertidamente habían contribuido a fomentar el progreso técnico.

Para un observador moderno, resulta extremadamente fácil rebatir las ideas de Pitt-Rivers como una superentusiástica y acrítica aplicación del darwinismo a la cultura material. Hemos de recordar que Pitt-Rivers testimonió de primera mano el inmenso éxito de la teoría de Darwin en biología y que conoció personalmente a algunos de los amigos del maestro. Resulta comprensible que deseara hacer su contribución a la difusión de la doctrina evolucionista. Por otra parte, los antropólogos e historiadores del siglo XX han rechazado la creencia de que el progreso tecnológico unilineal sea el rasgo distintivo de la cultura humana, y han demostrado la falacia de suponer que las culturas de los pueblos prehistóricos y los pueblos primitivos actuales sean virtualmente idénticas. Estas críticas actuales, que desafían seriamente elementos clave de las teorías de Pitt-Rivers, han sido ampliamente divulgadas. Son menos conocidos los aspectos originales y perdurables del enfoque de Pitt-Rivers.

En una época en que los estudios culturales eran eminentemente descriptivos, si no cabalmente de anticuario, Pitt-Rivers ofreció una base teórica para la integración de los logros intelectuales y tecnológicos. Un artefacto era algo más que un objeto inerte rápidamente creado para satisfacer una necesidad. Era un residuo superviviente de la mente humana que lo concibió. Contrariamente a muchos de sus contemporáneos, Pitt-Rivers creía que el cambio tecnológico no se conseguía mediante una serie de grandes saltos no relacionados hacia adelante de unos pocos inventores heroicos. Más bien, la forma de un artefacto modificado se basaba en la de un predecesor anterior. A partir de aquí se seguía la idea de que todo artefacto podía disponerse en una secuencia, que estaba interconectada con otras secuencias y que, si se siguiesen retrospectivamente en el tiempo, convergerían, llevándonos a los restos de los primeros artefactos humanos.

CAMBIO ACUMULATIVO

Butler y Pitt-Rivers no eran en modo alguno representantes de la concepción dominante de la naturaleza del cambio tecnológico. La explicación evolutiva, o continua, que adoptaron era mucho menos aceptada que la interpretación revolucionaria o discontinua. Según esta última, los inventos surgen de forma plenamente desarrollada de la mente de inventores con genio. En esta teoría heroica de la invención, se ignoran o relativizan las pequeñas mejoras de la tecnología, poniéndose todo el acento en la identificación de los logros mayores de personajes concretos —por ejemplo, la máquina de vapor de James Watt, o la desmotadora de algodón de Eli Whitney.

No mucho después de que Darwin publicase *El origen de las especies*, Karl Marx, un gran admirador del naturalista inglés, demandaba una historia crítica de la tecnología escrita con criterios evolutivos. Creía que esta historia revelaría lo poco que la Revolución industrial debió a la obra de inventores individuales. La invención es un proceso social, decía Marx, basado en la acumulación de muchas mejoras menores, y no en los esfuerzos heroicos de unos pocos genios.

Durante la primera mitad del siglo XX, la concepción heroica de la invención fue desafiada por tres estudiosos norteamericanos —William F. Ogburn, S. C. Gilfillan, y Abbott Payson Usher—, quienes propusieron teorías del cambio tecnológico basadas en el darvinismo. Ogburn, sociólogo y el autor más influyente de los tres, comenzaba por definir el invento como combinación de los elementos culturales existentes y conocidos para formar un nuevo elemento. El resultado de este proceso es una serie de pequeños cambios, la mayoría de ellos patentables, pero ninguno de los cuales constituye un corte tajante con la cultura material anterior.

Ogburn afirmaba que en todos los pueblos puede hallarse un porcentaje fijo de individuos con una capacidad inventiva superior. Como la población crece en cualquier país, el número de inventores potenciales aumenta proporcionalmente. Si sucede que estos inventores nacen en una cultura que proporciona formación tecnológica e incentiva la novedad, entonces han de surgir numerosas invenciones. Inicialmente, el ritmo de la innovación es lento mientras se crea una reserva de invenciones. La acumulación posterior de novedades estimula la innovación porque ha aumentado el número de elementos disponibles a combinar. Pronto las novedades acumuladas alcanzan un punto crí-

tico en el que tiene lugar una reacción en cadena que acelera considerablemente el ritmo de la actividad inventiva.

Ogburn no hizo intento alguno por contrastar esta teoría altamente abstracta, determinando si estaba en consonancia con un cuerpo suficiente de datos empíricos. Por contraste, su colega sociólogo S. C. Gilfillan, en los años treinta, escribió dos tratados sobre la invención —el primero ofreciendo una sociología de la invención, y el segundo un detallado estudio centrado en la evolución del barco, desde su origen como tabla flotante hasta los modernos buques con motor Diesel.

Gilfillan fue resueltamente opuesto a cualquier teoría del cambio tecnológico que asignase los inventos a lo que llamaba «inventores titulares», aquellos encerrados en la mitología popular de la invención. Adhiriéndose al modelo darwiniano, escribió acerca del «continuo indiviso de la realidad inventiva»,⁴ culpando al lenguaje, las costumbres y las convenciones sociales por fragmentar el continuo en una serie de inventos discretos identificables.

La prueba de la teoría de Gilfillan se encuentra en su segundo volumen. Según él, el barco comenzó como una plancha hueca impulsada a mano. Cuando los primeros marinos se pusieron de pie en sus piraguas y constataron que el viento que chocaba contra su indumentaria aumentaba la velocidad de su embarcación, se inventó la vela. Reconstruir toda la historia de la navegación a vela a partir de este punto, utilizando una perspectiva evolutiva, es relativamente sencillo. Sólo la embarcación movida a motor trastorna aparentemente el flujo continuado. Gilfillan superaba este obstáculo situando los orígenes del barco de vapor en el imperio bizantino. Un barco de guerra movido por paletas propulsadas por tres parejas de bueyes aparece en una ilustración de comienzos del siglo VI d.C. La embarcación a paletas utilizando la fuerza de un buey o caballo evolucionó posteriormente de forma regular. Durante el siglo XVIII, europeos y norteamericanos sustituyeron la fuerza animal por el vapor para hacer girar las ruedas de paletas. La cuestión no era máquina de vapor *versus* vela, sino el uso de la máquina de vapor *versus* los bueyes y caballos para impulsar un barco de ruedas con paletas.

Gilfillan concede que puede haber aproximadamente una docena de inventos marítimos que podrían considerarse imprevistos por cuanto

4. S. C. Gilfillan, *The sociology of invention*, 1935; reimp. Cambridge, Mass., 1970, p. 24.

no tuvieron un precedente conocido o notorio. El antiguo barco de paletas movido por bueyes es una anomalía de este tipo. Dado que el desarrollo del barco exigía la acumulación de cientos de miles de invenciones menores, Gilfillan no se inquieta por las pocas innovaciones que parecen contradecir su punto de vista evolutivo. Afirma que las anomalías pueden explicarse si reconocemos que el proceso acumulativo no siempre tuvo lugar en público, con la construcción de embarcaciones de tamaño real. Los progresos graduales pueden haberse conseguido en una serie de esbozos aproximados, dibujos formales o modelos antes de probar los resultados en un barco de tamaño natural. De este modo pueden dispensarse las invenciones imprevistas en la evolución del barco y mantenerse la curva continua de cambio de Gilfillan.

Sin embargo, el historiador de la economía Abbott P. Usher consideró excesivamente mecanicistas las teorías de la invención formuladas por Ogburn y Gilfillan. En ellas se describía a los inventores como meros instrumentos de un proceso histórico rígidamente predeterminado. Subrayando el carácter social de la invención, y llamando la atención sobre los efectos acumulativos de las pequeñas mejoras, ambos habían ignorado la importancia de los esfuerzos e ideas originales del inventor individual. Nos querían hacer creer —decía Usher— que cuando se alcanza el número crítico de elementos nuevos, la invención aparece automáticamente, sólo con una pequeña ayuda del inventor.

Por ello, Usher proponía el *enfoque de síntesis acumulativa* de la invención, un enfoque que modificaba la explicación continua y la enriquecía con los hallazgos de la psicología de la *Gestalt*. La teoría de Usher contenía cuatro premisas:

1. *Percepción del problema*: se reconoce un modelo incompleto o insatisfactorio que necesita corrección.
2. *Formulación del marco*: se reúnen los datos relacionados con el problema.
3. *Acto de intuición*: se encuentra la solución al problema mediante un acto mental no predeterminado. Este acto va más allá del *acto de habilidad* normalmente esperado en un profesional experto.
4. *Revisión crítica*: se analiza y revisa por completo la solución (introduciendo posibles refinamientos gracias a nuevos actos de intuición).

Los actos de intuición que resuelven esencialmente el problema son

centrales en la tesis de Usher. Estos actos son tan importantes para los inventos mayores, o estratégicos, como para los menores. La síntesis acumulativa de invenciones individuales menores produce eventualmente las invenciones estratégicas mejor conocidas de la historia. Pero el proceso no es ni automático ni está predeterminado. Una mera acumulación de invenciones no garantiza que vaya a producirse un cambio tecnológico. La clave es siempre el acto intuitivo del inventor por el que se eligen determinados elementos, combinados de forma innovadora, y se engarzan en una solución.

Los actos de intuición pueden ser probados por los psicólogos, pero la mayoría de las veces son inexplicables. Introducen el papel de las facultades mentales en el proceso de invención y por su presencia indican precisamente en qué punto pueden entrar en juego las fuerzas económicas. Cuando se sientan las bases (segunda etapa) y se revisa críticamente la solución (cuarta etapa), la intervención económica suele ser efectiva. Por otra parte, los actos de intuición (tercera etapa) no responden a la influencia económica. Pertenecen al ámbito psicológico, no al económico.

Aun cuando Usher abordase el estudio del proceso inventivo como historiador de la economía, su teoría iba más allá de una explicación económica o social estricta. Subrayando los aspectos psicológicos de la invención, destacó la idea de que la aparición de una novedad debe abordarse en un contexto más amplio. Los economistas y los historiadores de la economía que estudian actualmente la invención no siguen los pasos de Usher acerca de la importancia de los actos de intuición. Sin embargo, muchos de ellos aceptan su idea de inspiración darwiniana de que el progreso técnico es el resultado del cambio acumulativo.

UNA TEORÍA MODERNA DE LA EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

Mi repaso de los anteriores intentos por explicar el cambio tecnológico mediante el uso de un modelo evolutivo ha sentado las bases para una consideración de la teoría que voy a desarrollar en esta obra. El estudio de Butler y Pitt-Rivers reveló que los artefactos, como las plantas y las formas de vida animal, pueden ordenarse en secuencias cronológicas continuas. Sin embargo, no puede construirse una teoría moderna de la evolución tecnológica sobre la evocación del darwinismo para los fines de la sátira literaria y social (Butler) o sobre hipoté-

ticas cadenas de armas primitivas afines (Pitt-Rivers). Es igualmente insatisfactorio limitar la elección de los ejemplos ilustrativos a un único campo tecnológico (Gilfillan), o proseguir un enfoque altamente teórico e ignorar los detalles técnicos de un cambio tecnológico (Ogburn). Por ello, mi teoría va a apuntalarse en todo su desarrollo por detallados estudios concretos de artefactos tomados de diversas tecnologías, culturas y épocas históricas.

Butler, Pitt-Rivers, Gilfillan, Ogburn y Usher subrayaban la acumulación temporal de pequeñas variaciones que finalmente desembocaban en nuevos artefactos. Usher, introduciendo los «actos de intuición» en el proceso intuitivo, llamó la atención hacia el papel de la creatividad individual, pero siguió convencido de que los principales inventos resultaban de la síntesis acumulativa de una serie de inventos menores. En la teoría acumulativa de la invención, el cambio es lento e inevitable, y queda poco espacio para las innovaciones radicales de individuos dotados. Mi teoría de la evolución tecnológica reconoce los cambios mayores, a menudo asociados a inventores individuales, así como los cambios menores realizados a lo largo de un período considerable. Por ello, acepto los períodos de rápido cambio tecnológico y las épocas de estabilidad relativa.

Cualquiera que propugne la naturaleza consciente del cambio tecnológico debe reconocer, y explicar, la popularidad de la concepción discontinua alternativa. Hay muchas personas que opinan que la tecnología avanza a saltos de un gran invento a otro cuando el genio inventor crea una multitud de maravillosas invenciones mediante un mero esfuerzo mental. En esta obra estudio las fuentes de esta creencia, examinando las ideas e instituciones relevantes de la civilización occidental que fomentaron su origen y desarrollo.

Por último, mi teoría de la evolución tecnológica, al contrario que cualquiera de las anteriores, está arraigada en cuatro conceptos amplios: diversidad, continuidad, novedad y selección. Como ya he mostrado, el mundo artificial contiene mucha mayor variedad de cosas que las necesarias para satisfacer las necesidades humanas fundamentales. Esta *diversidad* puede explicarse como resultado de la evolución tecnológica porque existe una *continuidad*; la *novedad* es una parte integrante del mundo artificial; y opera un proceso de *selección* en la elección de nuevos artefactos para reproducción y adición al cúmulo de cosas artificiales. El resto del libro está dedicado a un análisis minucioso de las ramificaciones teóricas y técnicas de estos cuatro conceptos.