

LA ERA DE LA  
INFORMACION:  
ECONOMIA, SOCIEDAD  
Y CULTURA

8/99

\$=876 (3v.)

TRUCHO, No 216979

LA SOCIEDAD RED

303  
CAS  
-CSA  
U.1  
ej.2

MANUEL CASTELLS

Versión castellana de Carmen Martínez Gimeno

# Capítulo I



Alianza Editorial

155408

## LA REVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN

### ¿QUÉ REVOLUCIÓN?

El gradualismo, escribió el paleontólogo Stephen J. Gould, «la idea de que todo cambio debe ser suave, lento y constante, nunca se leyó de las rocas. Representó un sesgo cultural común, en parte una respuesta del liberalismo del siglo XIX a un mundo en revolución. Pero continúa empañando nuestra lectura, supuestamente objetiva, de la historia de la vida. [...] La historia de la vida, tal como yo la interpreto, es una serie de estados estables, salpicados a intervalos raros por acontecimientos importantes que suceden con gran rapidez y ayudan a establecer la siguiente etapa estable»<sup>1</sup>. Mi punto de partida, y no soy el único que lo asume<sup>2</sup>, es que, al final del siglo XX, vivimos uno de esos raros intervalos de la historia. Un

<sup>1</sup> Gould, 1980, pág. 226.

<sup>2</sup> Melvin Kranzberg, uno de los principales historiadores de la tecnología, escribió: «La era de la Información ha revolucionado los elementos técnicos de la sociedad industrial» (1985, pág. 42). En cuanto a sus efectos sociales: «Aunque debería tener un carácter evolutivo en el sentido de que todos los cambios y beneficios no aparecerán de la noche a la mañana, sus efectos serán revolucionarios sobre nuestra sociedad» (ibid., pág. 52). En la misma línea de argumentación, véanse también, por ejemplo, Pérez, 1983; Forester, 1985; Dizard, 1982; Nora y Minc, 1978; Stourdze, 1987; Negroponte, 1995; ministerio de Correos y Telecomunicaciones (Japón), 1995; Bishop y Waldholz, 1990; Darbon y Robin, 1987; Salomon, 1992; Dosi *et al.*, 1988b; Petrella, 1993.

intervalo caracterizado por la transformación de nuestra «cultura material»<sup>3</sup> por obra de un nuevo paradigma tecnológico organizado en torno a las tecnologías de la información.

Por tecnología entiendo, en continuidad con Harvey Brooks y Daniel Bell, «el uso del conocimiento científico para especificar modos de hacer cosas de una manera *reproducible*»<sup>4</sup>. Entre las tecnologías de la información incluyo, como todo el mundo, el *conjunto convergente* de tecnologías de la microelectrónica, la informática (máquinas y *software*), las telecomunicaciones/televisión/radio y la optoelectrónica<sup>5</sup>. Además, a diferencia de algunos analistas, también incluyo en el ámbito de las tecnologías de la información la ingeniería genética y su conjunto de desarrollos y aplicaciones en expansión<sup>6</sup>. Ello es debido, en primer lugar, a que la ingeniería genética se centra en la decodificación, manipulación y reprogramación final de los códigos de información de la materia viva. Pero, también, porque en la década de 1990 la biología, la electrónica y la informática parecen estar convergiendo e interactuando en sus aplicaciones, en sus materiales y, lo que es más fundamental, en su planteamiento conceptual, tema que merece otra mención más adelante en este mismo capítulo<sup>7</sup>. En torno a este núcleo de tecnologías de la información, en el sentido amplio definido, está constituyéndose durante las dos últimas décadas del siglo xx una constelación de importantes descubrimientos en materiales avanzados, en fuentes de energía, en aplicaciones médicas, en técnicas de fabricación (en curso o potenciales, como la nanotecnología) y en la tecnología del transporte, entre otras<sup>8</sup>. Además, el proceso actual de transformación tecnológica se expande de forma exponencial por su capacidad para crear una interfaz entre los campos tecnológicos mediante un lenguaje digital común en el que la información se genera, se almacena, se recobra, se procesa y se transmite. Vivimos en un mundo que, en expresión de Nicholas Negroponte, se ha vuelto digital<sup>9</sup>.

La exageración profética y la manipulación ideológica que caracterizan a la mayoría de los discursos sobre la revolución de la tecnología de la información no deben llevarnos a menospreciar su verdadero significado

<sup>3</sup> Sobre la definición de tecnología como «cultura material», que considero la perspectiva sociológica apropiada, véase su exposición en Fischer, 1992, págs. 1-32: «La tecnología es similar a la idea de cultura material».

<sup>4</sup> Brooks, 1971, pág. 13, de un texto sin publicar, citado por Bell que añade las cursivas (1976, pág. 29).

<sup>5</sup> Saxby, 1990; Mulgan, 1991.

<sup>6</sup> Marx, 1989; Hall, 1987.

<sup>7</sup> Para un relato estimulante, informado, aunque deliberadamente polémico, sobre la convergencia entre la revolución biológica y la tecnología de la revolución más amplia, véase Kelly, 1995.

<sup>8</sup> Forester, 1988; Herman, 1990; Lyon y Gerner, 1995; Lincoln y Essin, 1993; Edquist y Jacobsson, 1989; Drexler y Peterson, 1991; Lovins y Lovins, 1995; Dondero, 1995.

<sup>9</sup> Negroponte, 1995.

fundamental. Es, como este libro tratará de mostrar, un acontecimiento histórico al menos tan importante como lo fue la Revolución industrial del siglo xviii, inductor de discontinuidad en la base material de la economía, la sociedad y la cultura. La relación histórica de las revoluciones tecnológicas, en la compilación de Melvin Kranzberg y Carroll Pursell<sup>10</sup>, muestra que todas se caracterizan por su *capacidad de penetración* en todos los dominios de la actividad humana no como una fuente exógena de impacto, sino como el paño con el que está tejida esa actividad. En otras palabras, *se orientan hacia el proceso*, además de inducir nuevos productos. Por otra parte, a diferencia de cualquier otra revolución, *el núcleo* de la transformación que estamos experimentando en la revolución en curso remite a *las tecnologías del procesamiento de la información y de la comunicación*<sup>11</sup>. La tecnología de la información es a esta revolución lo que las nuevas fuentes de energía fueron a las sucesivas revoluciones industriales, del motor de vapor a los combustibles fósiles e incluso a la energía nuclear, ya que la generación y distribución de energía fue el elemento clave subyacente en la sociedad industrial. Sin embargo, esta declaración sobre el papel preeminente de la tecnología de la información se confunde con frecuencia con la caracterización de la revolución actual como esencialmente dependiente del nuevo conocimiento e información, lo cual es cierto para el proceso en curso de cambio tecnológico, pero asimismo

<sup>10</sup> Kranzberg y Pursell, 1967.

<sup>11</sup> La comprensión plena de la revolución tecnológica actual requeriría la discusión de la especificidad de las nuevas tecnologías de la información frente a sus antepasadas históricas de igual carácter revolucionario, como el descubrimiento de la imprenta en China probablemente a finales del siglo vii y en Europa en el siglo xv, tema clásico de la literatura sobre las comunicaciones. Ya que no puedo tratar el tema dentro de los límites de este libro centrado en la dimensión sociológica del cambio tecnológico, permítaseme sugerir a la atención del lector unos cuantos puntos. Las tecnologías de la información basadas en la electrónica (incluida la imprenta electrónica) presentan una capacidad incomparable de almacenamiento de memoria y velocidad de combinación y transmisión de bits. El texto electrónico permite una flexibilidad de retroalimentación, interacción y configuración mucho mayor, como todo escritor que utilice un procesador de textos reconocerá, alterando de este modo el mismo proceso de comunicación. La telecomunicación, combinada con la flexibilidad del texto, permite una programación de espacio/tiempo ubicua y asíncrona. En cuanto a los efectos sociales de las tecnologías de la información, propongo la hipótesis de que la profundidad de su impacto es una función de la capacidad de penetración de la información en la estructura social. Así, aunque la imprenta afectó de forma considerable a las sociedades europeas en la Edad Moderna, al igual que a la China medieval en menor medida, sus efectos quedaron hasta cierto punto limitados por el analfabetismo extendido de la población y por la baja intensidad que tenía la información en la estructura productiva. La sociedad industrial, al educar a los ciudadanos y organizar gradualmente la economía en torno al conocimiento y la información, preparó el terreno para que la mente humana contara con las facultades necesarias cuando se dispuso de las nuevas tecnologías de la información. Para un comentario histórico sobre esta primera revolución de la tecnología de la información, véase Bourreau *et al.*, 1989. Para algunos elementos del debate sobre la especificidad tecnológica de la comunicación electrónica, incluida la perspectiva de McLuhan, véase el capítulo 5.

para las revoluciones tecnológicas precedentes, como han expuesto sobresalientes historiadores de la tecnología como Melvin Kranzberg y Joel Mokyr<sup>12</sup>. La primera revolución industrial, si bien no se basó en la ciencia, contó con un amplio uso de la información, aplicando y desarrollando el conocimiento ya existente. Y la segunda revolución industrial, a partir de 1850, se caracterizó por el papel decisivo de la ciencia para fomentar la innovación. En efecto, los laboratorios de I+D aparecieron por vez primera en la industria química alemana en las últimas décadas del siglo XIX<sup>13</sup>.

Lo que caracteriza a la revolución tecnológica actual no es el carácter central del conocimiento y la información, sino la aplicación de ese conocimiento e información a aparatos de generación de conocimiento y procesamiento de la información/comunicación, en un círculo de retroalimentación acumulativo entre la innovación y sus usos<sup>14</sup>. Un ejemplo puede clarificar este análisis. Los empleos de las nuevas tecnologías de las telecomunicaciones en las dos últimas décadas han pasado por tres etapas diferenciadas: automatización de las tareas, experimentación de los usos y reconfiguración de las aplicaciones<sup>15</sup>. En las dos primeras etapas, la innovación tecnológica progresó mediante el aprendizaje *por el uso*, según la terminología de Rosenberg<sup>16</sup>. En la tercera etapa, los usuarios aprendieron tecnología *creándola* y acabaron reconfigurando las redes y encontrando nuevas aplicaciones. El círculo de retroalimentación entre la introducción de nueva tecnología, su utilización y su desarrollo en nuevos campos se hizo mucho más rápido en el nuevo paradigma tecnológico. Como resultado, la difusión de la tecnología amplifica infinitamente su poder al apropiársela y redefinirla sus usuarios. Las nuevas tecnologías de la información no son sólo herramientas que aplicar, sino procesos que desarrollar. Los usuarios y los creadores pueden convertirse en los mismos. De este modo, los usuarios pueden tomar el control de la tecnología, como en el caso de Internet (véase el capítulo 5). De esto se deduce una estrecha relación entre los procesos sociales de creación y manipulación de símbolos (la cultura de la sociedad) y la capacidad de producir y distribuir bienes y servicios (las fuerzas productivas). Por primera vez en la historia, la mente humana es una fuerza productiva directa, no sólo un elemento decisivo del sistema de producción.

Así, los ordenadores, los sistemas de comunicación y la decodificación y programación genética son todos amplificadores y prolongaciones de la mente humana. Lo que pensamos y cómo pensamos queda expresado en

<sup>12</sup> M. Kranzberg, «Prerequisites for industrialization», en Kranzberg y Pursell, 1967, vol. I, cap. 13; Mokyr, 1990.

<sup>13</sup> Ashton, 1948; Landes, 1969; Mokyr, 1990, pág. 112; Clow y Clow, 1952.

<sup>14</sup> Hall y Preston, 1988; Saxby, 1990; Dizard, 1982; Forester, 1985.

<sup>15</sup> Bar, 1990.

<sup>16</sup> Rosenberg, 1982; Bar, 1992.

bienes, servicios, producción material e intelectual, ya sea alimento, refugio, sistemas de transporte y comunicación, ordenadores, misiles, salud, educación o imágenes. La integración creciente entre mentes y máquinas, incluida la máquina del ADN, está borrando lo que Bruce Mazlish denomina «la cuarta discontinuidad»<sup>17</sup> (la existente entre humanos y máquinas), alterando de forma fundamental el modo en que nacemos, vivimos, aprendemos, trabajamos, producimos, consumimos, soñamos, luchamos o morimos. Por supuesto, los contextos culturales/institucionales y la acción social intencionada interactúan decisivamente con el nuevo sistema tecnológico, pero este sistema lleva incorporada su propia lógica, caracterizada por la capacidad de traducir todos los aportes a un sistema de información común y procesar esa información a una velocidad creciente, con una potencia en aumento, a un coste decreciente, en una red de recuperación y distribución potencialmente ubicua.

Existe un rasgo adicional que caracteriza a la revolución de la tecnología de la información comparada con sus predecesoras históricas. Mokyr<sup>18</sup> ha expuesto que las revoluciones tecnológicas se dieron sólo en unas cuantas sociedades y se difundieron en un área geográfica relativamente limitada, viviendo a menudo en un espacio y tiempo aislados con respecto a otras regiones del planeta. Así, mientras los europeos tomaron algunos de los descubrimientos ocurridos en China, durante muchos siglos, China y Japón sólo adoptaron la tecnología europea de forma muy limitada, restringiéndose fundamentalmente a las aplicaciones militares. El contacto entre civilizaciones de diferentes niveles tecnológicos con frecuencia tomó la forma de la destrucción de la menos desarrollada o de aquellas que no habían aplicado su conocimiento sobre todo a la tecnología militar, como fue el caso de las civilizaciones americanas aniquiladas por los conquistadores españoles, a veces mediante la guerra biológica accidental<sup>19</sup>. La revolución industrial se extendió a la mayor parte del globo desde sus tierras originales de Europa Occidental durante los dos siglos posteriores. Pero su expansión fue muy selectiva y su ritmo, muy lento para los parámetros actuales de difusión tecnológica. En efecto, incluso en la Gran Bretaña de mediados del siglo XIX, las nuevas tecnologías industriales no habían afectado a sectores que representaban la mayoría de la mano de obra y al menos la mitad del producto nacional bruto<sup>20</sup>. Además, su alcance planetario en las décadas siguientes las más de las veces tomó la forma de dominación colonial, ya fuera en India bajo el Imperio Británico; en América Latina bajo la dependencia comercial/industrial de Gran Bretaña y Estados Unidos; en el desmembramiento de África bajo

<sup>17</sup> Mazlish, 1993.

<sup>18</sup> Mokyr, 1990, págs. 293, 209 ss.

<sup>19</sup> Véase, por ejemplo, Thomas, 1993.

<sup>20</sup> Mokyr, 1990, pág. 83.

COMPARAR  
CON  
AMIN

el Tratado de Berlín; o en la apertura al comercio exterior de Japón y China por los cañones de los barcos occidentales. En contraste, las nuevas tecnologías de la información se han extendido por el globo con velocidad relampagueante en menos de dos décadas, de mediados de la década de 1970 a mediados de la de 1990, exhibiendo una lógica que propongo como característica de esta revolución tecnológica: la aplicación inmediata para su propio desarrollo de las tecnologías que genera, enlazando el mundo mediante la tecnología de la información<sup>21</sup>. Sin duda alguna, existen grandes áreas del mundo y considerables segmentos de población desconectados del nuevo sistema tecnológico: éste es precisamente uno de los argumentos centrales de este libro. Además, la velocidad de la difusión tecnológica es selectiva, tanto social como funcionalmente. La oportunidad diferencial en el acceso al poder de la tecnología para las gentes, los países y las regiones es una fuente crítica de desigualdad en nuestra sociedad. Las zonas desconectadas son discontinuas cultural y espacialmente: se encuentran en los centros deprimidos de las ciudades estadounidenses o en las *banlieues* francesas, así como en los poblados de chozas de África o en las regiones rurales desposeídas de China o India. No obstante, a mediados de la década de 1990, las funciones dominantes, los grupos sociales y los territorios de todo el globo están conectados en un nuevo sistema tecnológico, que no comenzó a tomar forma como tal hasta los años setenta.

¿Cómo ocurrió esta transformación fundamental en lo que viene a ser un instante histórico? ¿Por qué se está difundiendo por todo el globo a un paso tan acelerado aunque desigual? ¿Por qué es una «revolución»? Puesto que a nuestra experiencia de lo nuevo le da forma nuestro pasado reciente, creo que para responder a estas preguntas básicas sería útil hacer un breve recordatorio del curso histórico de la Revolución industrial, aún presente en nuestras instituciones y, por tanto, en nuestro marco mental.

#### LECCIONES DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Los historiadores han mostrado que hubo al menos dos revoluciones industriales: la primera comenzó en el último tercio del siglo XVIII, se caracterizó por nuevas tecnologías como la máquina de vapor, la hiladora de varios husos, el proceso Cort en metalurgia y, en un sentido más general, por la sustitución de las herramientas por las máquinas; la segunda, unos cien años después, ofreció el desarrollo de la electricidad, el motor de combustión interna, la química basada en la ciencia, la fundición de acero eficiente y el comienzo de las tecnologías de la comunicación, con

<sup>21</sup> Pool, 1990; Mulgan, 1991.

la difusión del telégrafo y la invención del teléfono. Entre las dos existen continuidades fundamentales, así como algunas diferencias críticas, la principal de las cuales es la importancia decisiva del conocimiento científico para producir y dirigir el desarrollo tecnológico desde 1850<sup>22</sup>. Precisamente debido a sus diferencias, los rasgos comunes a ambas pueden ofrecer una percepción preciosa para comprender la lógica de las revoluciones tecnológicas.

Ante todo, en ambos casos, somos testigos de lo que Mokyr describe como un periodo de «cambio tecnológico acelerado y sin precedentes» según los parámetros históricos<sup>23</sup>. Un conjunto de macroinvenciones prepararon el terreno para el florecimiento de las microinvenciones en el campo de la agricultura, la industria y las comunicaciones. En la base material de la especie humana se introdujo de manera irreversible una discontinuidad histórica fundamental, en un proceso de trayectoria dependiente, cuya lógica secuencial interna ha sido investigada por Paul David y teorizada por Brian Arthur<sup>24</sup>. En efecto, hubo «revoluciones» en el sentido de que la aparición repentina e inesperada de unas aplicaciones tecnológicas transformó los procesos de producción y distribución, creó un aluvión de nuevos productos y cambió decisivamente la ubicación de la riqueza y el poder en un planeta que de repente quedó al alcance de aquellos países y elites capaces de dominar el nuevo sistema tecnológico. El lado oscuro de esta aventura tecnológica es que estuvo inextricablemente unida a las ambiciones imperialistas y a los conflictos interimperialistas.

No obstante, ésta es precisamente una confirmación del carácter revolucionario de las nuevas tecnologías industriales. El ascenso histórico del denominado Occidente, limitado de hecho a Gran Bretaña y un puñado de naciones de Europa Occidental, así como a su prole norteamericana, está ligado sobre todo a la superioridad tecnológica lograda durante las dos revoluciones industriales<sup>25</sup>. Nada de la historia cultural, científica, política o militar del mundo previo a la revolución industrial explicaría la indisputable supremacía «occidental» (anglosajona/alemana, con un toque fran-

<sup>22</sup> Singer *et al.*, 1958; Mokyr, 1985. Sin embargo, como el mismo Mokyr señala, una interfaz entre ciencia y tecnología también estaba presente en la primera revolución industrial en Gran Bretaña. Así, la mejora decisiva de Watt del motor de vapor diseñado por Newcomen tuvo lugar en interacción con su amigo y protector Joseph Black, profesor de química de la Universidad de Glasgow, donde Watts fue nombrado en 1957 «Diseñador del Instrumento Matemático de la Universidad» y donde dirigió sus propios experimentos sobre un modelo del motor de Newcomen (véase Dickinson, 1958). En efecto, Ubbelohde (1958, pág. 673) informa que «el desarrollo de Watt de un condensador para el vapor, separado del cilindro en el que se movía el pistón, estaba estrechamente ligado e inspirado por las investigaciones científicas de Joseph Black (1728-1799), profesor de química de la Universidad de Glasgow».

<sup>23</sup> Mokyr, 1990, pág. 82.

<sup>24</sup> David, 1975; David y Bunn, 1988; Arthur, 1989.

<sup>25</sup> Rosenberg y Birdzell, 1986.

cés) entre 1750 y 1950. China fue una cultura muy superior durante la mayor parte de la historia anterior al Renacimiento; la civilización musulmana (tomándose la libertad de utilizar este término) dominó buena parte del Mediterráneo y ejerció una influencia significativa en África durante toda la Edad Moderna; Asia y África permanecieron en general organizadas en torno a centros culturales y políticos autónomos; Rusia gobernó en un aislamiento espléndido sobre una vasta extensión a lo largo de Europa Oriental y Asia; y el Imperio Español, la cultura europea rezagada de la Revolución industrial, fue la principal potencia mundial durante más de dos siglos desde 1492. La tecnología, como expresión de condiciones sociales específicas, introdujo una nueva trayectoria histórica en la segunda mitad del siglo XVIII.

Esta trayectoria se originó en Gran Bretaña, aunque se pueden seguir los rastros de sus raíces intelectuales por toda Europa, hasta el espíritu de descubrimiento del Renacimiento<sup>26</sup>. En efecto, algunos historiadores sostienen que el conocimiento científico necesario subyacente en la primera revolución industrial se hallaba disponible cien años antes, listo para su uso en condiciones sociales maduras; o, como sostienen otros, esperando el ingenio técnico de inventores autodidactas, como Newcomen, Watts, Crompton o Arkwright, capaces de traducir el conocimiento disponible, combinado con la experiencia artesanal, en nuevas y decisivas tecnologías industriales<sup>27</sup>. Sin embargo, la segunda revolución industrial, más dependiente del nuevo conocimiento científico, cambió sus centros de gravedad hacia Alemania y Estados Unidos, donde se dieron los principales avances en química, electricidad y telefonía<sup>28</sup>. Los historiadores han analizado minuciosamente las condiciones sociales de la geografía cambiante de la innovación tecnológica, centrándose con frecuencia en las características de los sistemas de educación y ciencia o en la institucionalización de los derechos de propiedad. Sin embargo, la explicación contextual para la trayectoria desigual de la innovación tecnológica parece ser excesivamente amplia y abierta a interpretaciones alternativas. Hall y Preston, en su análisis de la geografía cambiante de la innovación tecnológica entre 1846 y 2003, muestran la importancia de los medios *locales* de innovación, entre los cuales Berlín, Nueva York y Boston se constituyeron como los «centros industriales de alta tecnología del mundo» entre 1880 y 1914, mientras que «Londres en ese periodo era una pálida sombra de Berlín»<sup>29</sup>. La razón estriba en la base territorial para la interacción de los sistemas de descubrimiento tecnoló-

<sup>26</sup> Singer *et al.*, 1957.

<sup>27</sup> Rostow, 1975; véase Jewkes *et al.*, 1969 para el argumento y Singer *et al.*, 1958 para las pruebas históricas.

<sup>28</sup> Mokyr, 1990.

<sup>29</sup> Hall y Preston, 1988, pág. 123.

gico y su aplicación, es decir, en las propiedades sinérgicas de lo que se conoce en la literatura como «medios de innovación»<sup>30</sup>.

En efecto, los avances tecnológicos llegaron en racimos, interactuando unos con otros en un proceso de rendimientos crecientes. Sean cuales fueren las condiciones que determinaron ese agrupamiento, la lección clave que debe retenerse es que *la innovación tecnológica no es un acontecimiento aislado*<sup>31</sup>. Refleja un estado determinado de conocimiento, un entorno institucional e industrial particular, una cierta disponibilidad de aptitudes para definir un problema técnico y resolverlo, una mentalidad económica para hacer que esa aplicación sea rentable, y una red de productores y usuarios que puedan comunicar sus experiencias de forma acumulativa, aprendiendo al utilizar y crear: las elites aprenden creando, con lo que modifican las aplicaciones de la tecnología, mientras que la mayoría de la gente aprende utilizando, con lo que permanece dentro de las limitaciones de los formatos de la tecnología. La interactividad de los sistemas de innovación tecnológica, y su dependencia de ciertos «medios» de intercambio de ideas, problemas y soluciones, es un rasgo crítico que cabe generalizar de la experiencia de pasadas revoluciones a la actual<sup>32</sup>.

Los efectos positivos de las nuevas tecnologías industriales sobre el crecimiento económico, los niveles de vida y el dominio humano de una naturaleza hostil (reflejado en el alargamiento espectacular de la esperanza de vida, que no había mejorado de forma constante antes de 1750) a largo plazo son indiscutibles en la relación histórica. Sin embargo, no llegaron pronto, a pesar de la difusión de la máquina de vapor y la nueva maquinaria. Mokyr nos recuerda que

el consumo per cápita y los niveles de vida aumentaron poco al principio [al final del siglo XVIII], pero las tecnologías de producción cambiaron de forma espectacular en muchas industrias y sectores, preparando el camino para el crecimiento schumpeteriano sostenido en la segunda mitad del siglo XIX, cuando el progreso tecnológico se extendió a las industrias que no se habían visto afectadas previamente<sup>33</sup>.

<sup>30</sup> El origen del concepto de «medio de innovación» puede atribuirse a Aydalot, 1985. También estaba presente de forma implícita en la obra de Anderson, 1985; y en el análisis de Arthur, 1985. En torno a las mismas fechas, Peter Hall y yo en Berkeley, Roberto Camagni en Milán y Denis Maillat en Lausanne, junto con Philippe Aydalot, ya fallecido; comenzamos a desarrollar análisis empíricos de los medios de innovación, un tema que, con toda razón, se ha convertido en un campo de investigación en la década de los noventa.

<sup>31</sup> Dentro de los límites de este capítulo no puede realizarse la exposición específica de las condiciones históricas precisas para un agrupamiento de innovaciones tecnológicas. Pueden encontrarse interesantes reflexiones sobre el tema en Mokyr, 1990 y en Gille, 1978. Véase también Mokyr, 1990, pág. 298.

<sup>32</sup> Rosenberg, 1976, 1992; Dosi, 1988.

<sup>33</sup> Mokyr, 1990, pág. 83.

Se trata de una afirmación crucial que obliga a evaluar los efectos reales de los principales cambios tecnológicos, considerando un lapso de tiempo muy dependiente de las condiciones específicas de cada sociedad. Sin embargo, la relación histórica parece indicar que, en términos generales, cuanto más estrecha sea la relación entre los emplazamientos de la innovación, la producción y el uso de las nuevas tecnologías, más rápida será la transformación de las sociedades y mayor la retroalimentación positiva de las condiciones sociales sobre las condiciones generales necesarias para que haya más innovaciones. Así, en España, la revolución industrial se difundió rápidamente en Cataluña desde finales del siglo XVIII, pero siguió un ritmo mucho más lento en el resto del país, sobre todo en Madrid y en el sur; sólo el País Vasco y Asturias se habían unido al proceso de industrialización a finales del siglo XIX<sup>34</sup>. Las fronteras de la innovación industrial coincidieron en buena medida con las zonas prohibidas al comercio con las colonias hispanoamericanas durante casi dos siglos: mientras que las elites andaluza y castellana, así como la Corona, podían vivir de sus rentas americanas, los catalanes tenían que mantenerse con su comercio e ingenio, sometidos como estaban a la presión de un estado centralista. Como resultado en parte de esta trayectoria histórica, Cataluña y el País Vasco fueron las únicas regiones realmente industrializadas hasta la década de 1950 y los principales semilleros de actividades empresariales e innovación, en pronunciado contraste con las tendencias del resto de España. De este modo, las condiciones sociales específicas fomentan la innovación tecnológica, que se introduce en el camino del desarrollo económico y produce más innovación. No obstante, la reproducción de estas condiciones es cultural e institucional, pero también económica y tecnológica. La transformación de los entornos sociales e institucionales puede alterar el ritmo y la geografía del desarrollo tecnológico (por ejemplo, Japón tras la Restauración Meiji o Rusia durante un breve periodo bajo Stolypin), si bien la historia presenta una inercia considerable.

Una última y esencial lección de las revoluciones industriales, que considero importante para este análisis, es polémica: aunque ambas brindaron todo un despliegue de nuevas tecnologías que formaron y transformaron un sistema industrial en etapas sucesivas, su núcleo lo constituyó la innovación fundamental en la generación y distribución de la energía. R. J. Forbes, un historiador clásico de la tecnología, sostiene que «la invención de la máquina de vapor es el hecho central de la revolución industrial», que sería seguido por la introducción de los nuevos generadores de fuerza motriz y del generador móvil, con el que «podía crearse la energía de la máquina de vapor donde se necesitaba y en el grado deseado»<sup>35</sup>. Y aunque Mokyr insiste en el carácter polifacético de la revolución indus-

<sup>34</sup> Fontana, 1988; Nadal y Carreras, 1990.

<sup>35</sup> Forbes, 1958, pág. 150.

trial, también cree que «a pesar de las protestas de algunos historiadores económicos, se sigue considerando a la máquina de vapor como la invención más esencial de la revolución industrial»<sup>36</sup>. La electricidad fue la energía central de la segunda revolución, pese a otros avances extraordinarios en la química, el acero, el motor de combustión interna, el telégrafo y la telefonía. Ello se debe a que sólo mediante la generación y la distribución de la electricidad todos los otros campos fueron capaces de desarrollar sus aplicaciones y conectarse entre sí. Un caso a propósito es el del telégrafo eléctrico que, utilizado por primera vez de forma experimental en la década de 1790 y ampliamente extendido en 1837, sólo pudo convertirse en una red de comunicación que conectara al mundo a gran escala cuando pudo depender de la difusión de la electricidad. Su uso extendido a partir de la década de 1870 cambió el transporte, el telégrafo, la iluminación y, no menos importante, el trabajo de las fábricas, al difundir energía bajo la forma del motor eléctrico. En efecto, aunque se ha asociado a las fábricas con la primera revolución industrial, de hecho durante casi un siglo no fueron concomitantes al uso de la máquina de vapor, que se utilizaba mucho en los talleres artesanales, mientras que bastantes grandes fábricas continuaban empleando fuentes de energía hidráulica mejoradas (por lo que fueron conocidas durante largo tiempo como *mills*, molinos). Fue el motor eléctrico el que hizo posible e indujo una organización del trabajo a gran escala en la fábrica industrial<sup>37</sup>. Como escribió R. J. Forbes (en 1958):

Durante los últimos doscientos cincuenta años, cinco grandes generadores nuevos de fuerza motriz han producido lo que suele llamarse la Era de la Máquina. El siglo XVIII trajo la máquina de vapor; el siglo XIX, la turbina de agua, el motor de combustión interna y la turbina de vapor; y el siglo XX, la turbina de gas. Los historiadores han acuñado con frecuencia expresiones pegadizas para denotar movimientos o corrientes de la historia. Una de ellas es «la Revolución industrial», título de un desarrollo del que suele decirse que se inició a comienzos del siglo XVIII y se extendió a lo largo de gran parte del XIX. Fue un movimiento lento, pero trajo aparejados cambios tan profundos en su combinación de progreso material y dislocación social que muy bien pudiera describirse colectivamente como revolucionario si consideramos esas fechas extremas<sup>38</sup>.

<sup>36</sup> Mokyr, 1990, pág. 84.

<sup>37</sup> Hall y Preston, 1988; Canby, 1962; Jarvis, 1958. Una de las primeras especificaciones detalladas de un telégrafo eléctrico se encuentra en una carta firmada C. M. y publicada en *Scots Magazine* en 1753. Uno de los primeros experimentos prácticos con un sistema eléctrico fue propuesto por el catalán Francisco de Salva en 1795. Hay informes sin confirmar de que un telégrafo de un solo alambre que utilizaba el esquema de Salva se llegó a construir entre Madrid y Aranjuez (42 km) en 1798. Sin embargo, el telégrafo eléctrico no se estableció hasta la década de 1830 (William Cooke lo hizo en Inglaterra y Samuel Morse, en Estados Unidos); en 1851 se tendió el primer cable submarino entre Dover y Calais (Garratt, 1958); véase también Mokyr, 1990; Sharlin, 1967.

<sup>38</sup> Forbes, 1958, pág. 148.

De este modo, actuando sobre el proceso en el núcleo de todos los procesos, esto es, la energía necesaria para producir, distribuir y comunicar, las dos revoluciones industriales se difundieron por todo el sistema económico y calaron todo el tejido social. Las fuentes de energía baratas, accesibles y móviles extendieron y aumentaron el poder del cuerpo humano, creando la base material para la continuación histórica de un movimiento similar encaminado a la expansión de la mente humana.

#### LA SECUENCIA HISTÓRICA DE LA REVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN

La breve aunque intensa historia de la Revolución de la tecnología de la información ha sido contada tantas veces en los años recientes que no resulta necesario proporcionar al lector otro relato completo sobre ella<sup>39</sup>. Además, dada la aceleración de su ritmo, cualquier relato de ese tipo se quedaría obsoleto de inmediato, ya que entre esta escritura y su lectura (digamos dieciocho meses) los microchips habrán duplicado sus rendimientos para un precio determinado, según la «ley de Moore», generalmente aceptada<sup>40</sup>. Sin embargo, considero útil desde el punto de vista analítico recordar los principales ejes de la transformación tecnológica en la generación/procesamiento/transmisión de la información y situarla en la secuencia que condujo a la formación de un nuevo paradigma socio-técnico<sup>41</sup>. Este breve resumen me permitirá, más tarde, soslayar referencias a los rasgos tecnológicos cuando se exponga su interacción específica con la economía, cultura y sociedad a través del itinerario intelectual de este libro, excepto cuando se requieran nuevos elementos de información.

<sup>39</sup> Una buena historia sobre los orígenes de la Revolución de la tecnología de la información, superada como es natural por las evoluciones ocurridas desde los años ochenta, es la de Braun y Macdonald, 1982. El esfuerzo más sistemático para sintetizar el desarrollo de la Revolución de la tecnología de la información ha sido dirigido por Tom Forester en una serie de libros, 1980, 1985, 1987, 1989, 1993. Para un buen relato sobre los orígenes de la ingeniería genética, véase Russell, 1988 y Elkington, 1985.

<sup>40</sup> Una «ley» aceptada en la industria electrónica, cuyo origen corresponde a Gordon Moore, presidente de Intel, la legendaria compañía que empezó en Silicon Valley y hoy es la mayor del mundo y una de las más rentables de la microelectrónica.

<sup>41</sup> La información presentada en este capítulo es habitual en periódicos y revistas. Extraje gran parte de ella de *Business Week*, *The Economist*, *Wired*, *Scientific American*, *New York Times*, *El País* y *San Francisco Chronicle*, que constituyen mis fuentes de información básica diaria o semanal. También proviene de charlas ocasionales sobre temas tecnológicos con colegas y amigos del entorno de Berkeley y Stanford, expertos en electrónica y biología, y al corriente de las tendencias en el mundo empresarial. No considero necesario proporcionar referencias detalladas sobre datos tan generales, excepto cuando una estadística o cita determinadas sean difíciles de encontrar.

#### La microingeniería de los macrocambios: electrónica e información

Aunque pueden encontrarse precedentes científicos e industriales de las tecnologías de la información basadas en la electrónica unas décadas antes de 1940<sup>42</sup> (no siendo la menos importante la invención del teléfono por Bell en 1876, de la radio por Marconi en 1898 y del tubo de vacío por De Forest en 1906), fue durante la Segunda Guerra Mundial y el periodo subsiguiente cuando tuvieron lugar los principales avances tecnológicos en la electrónica: el primer ordenador programable; y el transistor, fuente de la microelectrónica, el verdadero núcleo de la Revolución de la tecnología de la información en el siglo xx<sup>43</sup>. No obstante, hasta la década de los setenta no se difundieron ampliamente las tecnologías de la información, acelerando su desarrollo sinérgico y convergiendo en un nuevo paradigma. Sigamos las etapas de la innovación en los tres principales campos tecnológicos que, aunque estrechamente interrelacionados, constituyen la historia de las tecnologías basadas en la electrónica: la microelectrónica, los ordenadores y las telecomunicaciones.

El transistor, inventado en 1947 en los Laboratorios Bell de Murray Hill (Nueva Jersey) por tres físicos, Bardeen, Brattain y Shockley (ganadores del Premio Nobel por este descubrimiento), hizo posible procesar los impulsos eléctricos a un ritmo más rápido en un modo binario de interrupción y paso, con lo que se posibilitó la codificación de la lógica y la comunicación con máquinas y entre ellas: denominamos a estos dispositivos de procesamiento semiconductores y la gente comúnmente los llama chips (en realidad formados por millones de transistores). El primer paso para la difusión del transistor se dio con la invención efectuada por Shockley del transistor de contacto en 1951. No obstante, su fabricación y uso extendido requerían nuevas tecnologías de fabricación y la utilización de un material apropiado. El paso al silicio, construyendo la nueva revolución literalmente sobre la arena, fue efectuado por primera vez por Texas Instruments (en Dallas) en 1945 (cambio facilitado por la contratación en 1953 de Gordon Teal, otro sobresaliente científico de los Laboratorios Bell). La invención del proceso planar en 1959 por Fairchild Semiconductors (en Silicon Valley) abrió la posibilidad de integrar componentes miniaturizados con una fabricación de precisión.

No obstante, el paso decisivo en la microelectrónica se había dado en 1957: el circuito integrado fue coinventado por Jack Kilby, ingeniero de Texas Instruments (que lo patentó) y Bob Noyce, uno de los creadores

<sup>42</sup> Véase Hall y Preston, 1988; Mazlish, 1993.

<sup>43</sup> Creo que, como en el caso de la Revolución industrial, habrá varias revoluciones de la tecnología de la información, de las cuales la que se constituyó en los años setenta es sólo la primera. Es probable que la segunda, a comienzos del siglo xxi, otorgue un papel más importante a la revolución biológica, en estrecha interacción con las nuevas tecnologías informáticas.



de Fairchild. Pero fue Noyce quien los fabricó primero, utilizando el proceso planar. Desató una explosión tecnológica: en sólo tres años, entre 1959 y 1962, los precios de los semiconductores cayeron un 85% y en los diez años siguientes la producción se multiplicó por veinte, el 50% de la cual fue para usos militares<sup>44</sup>. Como comparación histórica, el precio de la tela de algodón tardó setenta años (1780-1850) en caer un 85% en Gran Bretaña durante la revolución industrial<sup>45</sup>. Luego, el movimiento se aceleró durante la década de los sesenta: cuando mejoró la tecnología de fabricación y se ayudó al perfeccionamiento del diseño de los chips con poderosos ordenadores que utilizaban dispositivos microelectrónicos más rápidos y potentes, el precio medio de un circuito integrado cayó de 50 dólares en 1962 a 1 dólar en 1971.

El salto gigante hacia adelante en la difusión de la microelectrónica en todas las máquinas llegó en 1971 con la invención efectuada por un ingeniero de Intel, Ted Hoff (también en Silicon Valley), del microprocesador, esto es, el ordenador en un chip. De este modo, el poder de procesar información podía instalarse en todas partes. Estaba en marcha la carrera en pos de una capacidad de integración cada vez mayor de circuitos en un único chip, con la tecnología del diseño y la fabricación en superación constante de los límites de integración que con anterioridad se consideraban físicamente imposibles a menos que se abandonara el material de silicio. A mediados de la década de 1990, las valoraciones técnicas todavía otorgan diez o veinte años de buena vida a los circuitos basados en el silicio, si bien se ha acometido la investigación sobre materiales alternativos. El grado de integración ha progresado a pasos agigantados en las dos últimas décadas. Aunque los detalles técnicos no tienen cabida en este libro, resulta importante desde el punto de vista analítico indicar la velocidad y extensión del cambio tecnológico.

Como es sabido, la potencia de los chips puede evaluarse mediante una combinación de tres características: su capacidad de integración, indicada por la mínima anchura de las líneas del chip, medida en micras (1 micra = 1 millonésima parte de una pulgada); su capacidad de memoria, medida en bits: miles (k) y millones (megabits); y la velocidad del microprocesador, medida en megahercios. Así, el primer procesador de 1971 se presentó en líneas de unas 6,5 micras; en 1980 alcanzó 4 micras; en 1987, 1 micra; en 1995, el chip del Pentium de Intel presentaba un tamaño de 0,35 de micra; y cuando se estaba escribiendo esto, los proyectos eran alcanzar 0,25 de micra en 1999. De este modo, donde en 1971 se empaquetaban 2.300 transistores en un chip del tamaño de una chincheta, en 1993 había 35 millones de transistores. La capacidad de memoria, indicada por la capacidad DRAM (Dynamic Random Access Memory), era en 1971 de

<sup>44</sup> Braun y Macdonald, 1982.

<sup>45</sup> Mokyr, 1990, pág. 111.

1.024 bits; en 1980, de 64.000; en 1987, de 1.024.000; en 1993, de 16.384.000; y la proyectada para 1999 es de 256.000.000. En lo que respecta a la velocidad, los microprocesadores actuales de 64 bits son 550 veces más rápidos que el primer chip Intel de 1972; y las MPU se duplican cada dieciocho meses. Las proyecciones para 2002 prevén una aceleración de la tecnología de la microelectrónica en integración (chips de 0,18 micras), capacidad DRAM (1.024 megabits) y velocidad del microprocesador (500 megahercios más en comparación con los 150 de 1993). Combinado con los avances espectaculares en el procesamiento paralelo de microprocesadores múltiples (incluida, en el futuro, la unión de microprocesadores múltiples en un solo chip), parece que el poder de la microelectrónica aún está liberándose, con lo que la capacidad informática va aumentando de forma inexorable. Además, la mayor miniaturización, la mayor especialización y el descenso de los precios de los chips cada vez más potentes hicieron posible colocarlos en todas las máquinas de nuestra vida cotidiana, desde los lavavajillas y los hornos microondas hasta los automóviles, cuya electrónica, en los modelos estándar de la década de 1990, era más valiosa que su acero.

• Desde la Segunda Guerra Mundial, madre de todas las tecnologías, también se concibieron los ordenadores, pero no nacieron hasta 1946 en Filadelfia, si se exceptúan los aparatos de uso bélico, como el Colossus británico de 1943, aplicado a descifrar los códigos enemigos, y el Z-3 alemán, al parecer producido en 1941 para ayudar a los cálculos de la aviación<sup>46</sup>. No obstante, la mayor parte del esfuerzo aliado en electrónica se concentró en los programas de investigación del MIT, y la experimentación real del poder de cálculo, bajo el patrocinio del ejército estadounidense, se realizó en la Universidad de Pensilvania, donde Mauchly y Eckert produjeron en 1946 el primer ordenador con fines generales, el ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator). Los historiadores recordarán que el primer ordenador electrónico pesaba 30 toneladas, fue construido en módulos de metal de dos metros y medio de altura, tenía 70.000 resistores y 18.000 tubos de vacío, y ocupaba la superficie de un gimnasio. Cuando se prendía, su consumo eléctrico era tan alto que la red eléctrica de Filadelfia titilaba<sup>47</sup>.

No obstante, la primera versión comercial de esta máquina primitiva, UNIVAC-1, producida en 1951 por el mismo equipo, entonces bajo la marca Remington Rand, tuvo un gran éxito en el procesamiento del censo estadounidense de 1950. IBM, también respaldada por contratos militares y basándose en parte en la investigación del MIT, superó sus primeras reservas hacia la era del ordenador y entró en la carrera en 1953 con su máquina de tubo de vacío 701. En 1958, cuando Sperry Rand pre-

<sup>46</sup> Hall y Preston, 1988.

<sup>47</sup> Véase la descripción de Forester, 1987.

sentó un ordenador *mainframe* (nombre que hacía referencia a las enormes cajas metálicas donde se alojaban las unidades centrales de proceso) de segunda generación, IBM le siguió de inmediato con su modelo 7090. Pero hasta 1964, con su ordenador *mainframe* 360/370, no llegó a dominar la industria de los ordenadores, poblada por nuevas empresas de calculadoras (Control Data, Digital) y antiguas (Sperry, Honeywell, Burroughs, NCR), la mayoría de las cuales en la década de 1960 se habían fundido o habían desaparecido: así de rápido ha actuado la «destrucción creativa» schumpeteriana en la industria electrónica. En esa época antigua, es decir, treinta años antes de que se escribiera este texto, la industria se organizó en una jerarquía bien definida de *mainframes*, miniordenadores (en realidad, máquinas bastante voluminosas) y terminales, dejando alguna especialidad informática al esotérico mundo de los superordenadores (una fertilización cruzada de predicción meteorológica y juegos bélicos), donde el extraordinario genio de Seymour Cray, pese a su falta de visión tecnológica, reinó durante algún tiempo.

La microelectrónica cambió todo esto al introducir una «revolución dentro de la revolución». El advenimiento del microprocesador en 1971, con la capacidad de colocar un ordenador en un chip, cambió de arriba abajo el mundo de la electrónica y, en realidad, el mundo. En 1975, Ed Roberts, un ingeniero que había creado una pequeña compañía de calculadoras, la MITS, en Albuquerque (Nuevo México), construyó una caja de cálculo con el increíble nombre de Altair, por un personaje de la serie de televisión *Star Trek* que era objeto de la admiración de su niña. La máquina era primitiva, pero estaba construida como un ordenador de pequeña escala en torno a un microprocesador. Fue la base para el diseño del Apple I y luego del Apple II, el primer microordenador comercializado con éxito, realizado en el garaje de las casas paternas por dos jóvenes que habían abandonado los estudios, Steve Wozniak y Steve Jobs, en Menlo Park (Silicon Valley), en una saga verdaderamente extraordinaria que ahora ya se ha convertido en la leyenda fundadora de la Era de la Información. Lanzada en 1976 con tres socios y 91.000 dólares como capital, Apple Computers ya había alcanzado en 1992 583 millones en ventas, anunciando la era de la difusión del poder del ordenador. IBM reaccionó rápido y en 1981 presentó su versión propia de microordenador con un nombre brillante: el Ordenador Personal (PC), que se convirtió de hecho en el acrónimo de los miniordenadores. Pero debido a que no se basó en tecnología propia, sino en la desarrollada para IBM por otras fuentes, se volvió vulnerable al clonaje, de inmediato practicado a escala masiva, sobre todo en Asia. No obstante, aunque este hecho acabó sentenciando su dominio del negocio en ordenadores personales, también extendió por todo el mundo el uso de los clónicos de IBM, difundiendo un estándar común, pese a la superioridad de las máquinas de Apple. El Macintosh de Apple, lanzado en 1984, fue el primer paso hacia una informática fácil

para el usuario, con la introducción de la tecnología de la interfaz de usuario basada en el icono, desarrollada originalmente en el Centro de Investigación de Palo Alto de la Xerox.

Con el desarrollo de un nuevo *software* adaptado a su funcionamiento, se cumplió una condición fundamental para la difusión de los microordenadores<sup>48</sup>. El *software* para los ordenadores personales también surgió a mediados de los años setenta por el entusiasmo generado por Altair: dos jóvenes que habían abandonado sus estudios en Harvard, Bill Gates y Paul Allen, adaptaron el BASIC para que funcionara en la máquina Altair en 1976. Cuando comprendieron todas sus posibilidades, fundaron Microsoft (primero en Albuquerque, para trasladarse dos años después a Seattle, donde vivían los padres de Gates), gigante del *software* actual que transformó el dominio del *software* del sistema operativo en dominio del *software* del mercado del microordenador en su conjunto, un mercado que crece de forma exponencial.

En los últimos quince años, la potencia creciente del chip ha dado como resultado un llamativo aumento de la potencia de la microinformática, con lo que se ha reducido la función de los ordenadores mayores. A comienzos de la década de 1990, los microordenadores de un único chip ya tenían la capacidad de procesamiento de IBM sólo cinco años antes. Los sistemas basados en microprocesadores interconectados, compuestos por ordenadores de escritorio, máquinas menores (clientes), atendidas por máquinas más potentes y dedicadas (servidores), puede que acaben suplantando a los ordenadores de procesamiento de información más especializados, como los *mainframes* y superordenadores tradicionales. En efecto, a los avances en microelectrónica y *software*, hay que añadir los importantes progresos efectuados en cuanto a las capacidades de interconexión. Desde mediados de la década de 1980, los microordenadores no pueden concebirse en aislamiento: actúan en redes, con una movilidad creciente, mediante ordenadores portátiles. Esta extraordinaria versatilidad, y la posibilidad de añadir memoria y capacidad de procesamiento compartiendo la potencia informática en una red electrónica, cambió de forma decisiva la era del ordenador en la década de 1990 de un almacenamiento y procesamiento de datos centralizado a la utilización compartida de la potencia del ordenador interactivo en red. No sólo cambió todo el sistema tecnológico, sino también sus interacciones sociales y organizativas. De este modo, el coste medio del procesamiento de la información descendió de unos 75 dólares por millón de operaciones en 1960 a menos de un céntimo de centavo en 1990.

Esta capacidad de interconexión sólo se hizo posible, como es natural, debido a los importantes avances ocurridos tanto en las telecomunicacio-

<sup>48</sup> Egan, 1995.

nes como en las tecnologías de las redes informáticas durante la década de 1970. Pero, al mismo tiempo, tales cambios sólo fueron posibles por los nuevos dispositivos microelectrónicos y la intensificación de la capacidad informática, en un ejemplo de relación sinérgica en la revolución de la tecnología de la información.

Las telecomunicaciones también han sufrido la revolución producida por la combinación de las tecnologías de «nodo» (conmutadores y selectores de rutas electrónicas) y los nuevos enlaces (tecnologías de la transmisión). El primer conmutador electrónico que se produjo industrialmente, el ESS-1, fue presentado por los Laboratorios Bell en 1969. Para mediados de los años setenta, el avance en las tecnologías del circuito integrado ya había hecho posible el conmutador digital, que aumentaba la velocidad, la potencia y la flexibilidad, a la vez que se ahorraba espacio, energía y trabajo, frente a los dispositivos analógicos. Pese a ATT, los padres del descubrimiento, los Laboratorios Bell, al principio se mostraron reacios a su presentación debido a la necesidad de amortizar la inversión ya realizada en equipamiento analógico, pero cuando en 1977 Northern Telecom de Canadá se hizo con una parte del mercado estadounidense al llevar la delantera en conmutadores digitales, las empresas Bell se unieron a la carrera y desataron un movimiento similar en todo el mundo.

Los importantes avances en optoelectrónica (fibras ópticas y transmisión por láser) y en la tecnología de la transmisión de paquetes digitales ampliaron de forma espectacular la capacidad de las líneas de transmisión. Las Redes Digitales de Servicios Integrados de Banda Ancha (RDSI-BA) imaginadas en la década de 1990 podían sobrepasar con creces las revolucionarias propuestas de los años setenta de una Red Digital de Servicios Integrados (RDSI): mientras que la capacidad de transporte de la RDSI sobre alambre de cobre se estimaba en 144.000 bits, la RDSI-BA de los años noventa sobre fibra óptica, siempre y cuando se hiciera realidad a un alto precio, podría transportar mil billones de bits. Para medir el ritmo de cambio, recordemos que en 1956 el primer cable telefónico transatlántico conducía 50 circuitos de voz comprimidos; en 1995, las fibras ópticas podían conducir 85.000 circuitos semejantes. Esta capacidad de transmisión basada en la optoelectrónica, junto con avanzadas arquitecturas de conmutación y selección de rutas, como el Modo de Transferencia Asíncrono (Asynchronous Transfer Mode, ATM) y el Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Interconexión (Transmission Control Protocol/Interconnection Protocol [TCP/IP]), son la base de la denominada autopista de la información, cuyas características se exponen en el capítulo 5.

Las diferentes formas de utilización del espectro de la radio (transmisión tradicional, transmisión directa por satélite, microondas, telefonía celular digital), así como el cable coaxial y la fibra óptica, ofrecen una diversidad y versatilidad de tecnologías de transmisión que se están adaptando

a toda una gama de empleos y posibilitando una comunicación ubicua entre usuarios móviles. De este modo, la telefonía celular se difundió con fuerza por todo el mundo en la década de los noventa, salpicando literalmente toda Asia con buscapersonas sencillos y a América Latina con teléfonos celulares, símbolos de posición social, con la promesa (por ejemplo, de Motorola) de contar con un próximo aparato de comunicación personal con cobertura universal antes del año 2000. Cada paso de gigante en un campo tecnológico específico amplifica los efectos de las tecnologías de la información relacionadas. Así, el teléfono móvil, basado en el poder del ordenador para canalizar mensajes, proporciona al mismo tiempo la base para el procesamiento informático ubicuo y, en tiempo real, una comunicación electrónica interactiva.

#### • *La divisoria tecnológica de los años setenta*

Este sistema tecnológico en el que estamos plenamente sumergidos en la década de 1990 cuajó en los años setenta. Debido a la trascendencia de contextos históricos específicos para las trayectorias tecnológicas y a la forma particular de interacción de la tecnología y la sociedad, es importante recordar unas cuantas fechas asociadas con descubrimientos esenciales en las tecnologías de la información. Todos ellos tienen algo sustancial en común: aunque basados en buena medida en el conocimiento previo existente y desarrollados en prolongación de tecnologías clave, representaron un salto cualitativo en la difusión masiva de la tecnología en aplicaciones comerciales y civiles, debido a su asequibilidad y su coste descendente para una calidad en aumento. Así pues, el microprocesador, el artefacto clave en la expansión de la microelectrónica, se inventó en 1971 y comenzó a difundirse a mediados de los años setenta. El microordenador se inventó en 1975 y el primer producto que gozó de éxito comercial, el Apple II, se presentó en abril de 1977, en torno a la misma fecha en que Microsoft comenzó a producir sistemas operativos para microordenadores. El Xerox Alto, matriz de muchas tecnologías de *software* para los ordenadores personales de la década de 1990, fue desarrollado en los laboratorios PARC de Palo Alto en 1973. El primer conmutador electrónico industrial apareció en 1969 y el digital se desarrolló a mediados de la década de 1970 y se difundió comercialmente en 1977. La fibra óptica fue producida por primera vez de forma industrial por Corning Glass a comienzos de la década de 1970. También a mediados de esa década, Sony empezó a producir comercialmente máquinas de vídeo, basándose en descubrimientos estadounidenses e ingleses de los años sesenta que nunca alcanzaron una producción masiva. Y por último, pero no menos importante, fue en 1969 cuando el Departamento de Defensa estadounidense, por medio de la Advanced Research Project Agency

(ARPA), estableció una red de comunicación electrónica revolucionaria, que crecería durante la década siguiente para convertirse en la actual Internet. Le fue de gran ayuda el invento efectuado por Cerf y Kahn en 1974 del TCI/IP, el protocolo de red de interconexión que introdujo la tecnología de «entrada», permitiendo que diferentes tipos de redes se enlazaran<sup>49</sup>. Creo que se puede decir sin exagerar que la Revolución de la tecnología de la información, como tal revolución, nació en la década de 1970, sobre todo si se incluye en ella el surgimiento y difusión paralelos de la ingeniería genética en torno a las mismas fechas y lugares, un descubrimiento que merece, cuando menos, unas cuantas líneas de atención.

### *Las tecnologías de la vida*

Si bien los orígenes de la biotecnología pueden remontarse hasta una tablilla babilonia sobre la preparación de cerveza del 6000 a.C. y los de la revolución en la microbiología, hasta el descubrimiento científico de la estructura básica de la vida, la doble hélice del ADN, efectuado por Francis Crick y James Watson en la Universidad de Cambridge en 1953, no fue hasta comienzos de la década de 1970 cuando la unión de los genes y la recombinación del ADN, la base tecnológica de la ingeniería genética, cuajó en la forma de conocimiento acumulativo. Se suele atribuir a Stanley Cohen, de Stanford, y Herbert Boyer, de la Universidad de California en San Francisco, el descubrimiento de los procedimientos de clonación del gen, si bien su trabajo se basó en la investigación realizada por el Premio Nobel Paul Berg, de Stanford. En 1975, los investigadores de Harvard aislaron el primer gen de mamífero de la hemoglobina de un conejo; y en 1977 se clonó el primer gen humano.

Lo que siguió fue una carrera para poner en marcha firmas comerciales, la mayoría de ellas derivaciones de las principales universidades y centros de investigación hospitalaria, y agrupadas en California del Norte, Nueva Inglaterra y Maryland. Periodistas, inversores y activistas sociales sintieron por igual el impacto de las pasmosas posibilidades abiertas por la capacidad potencial de manipular la vida, incluida la humana. Genentech, en South San Francisco, Cetus, en Berkeley, y Biogen, en Cambridge (Massachusetts), fueron de las primeras compañías, organizadas en torno a los premios Nobel, en utilizar nuevas tecnologías genéticas para aplicaciones médicas. Pronto siguieron las empresas agrícolas; y se otorgó a los microorganismos, algunos alterados genéticamente, un número creciente de asignaciones, no la menos importante limpiar la contaminación, creada con frecuencia por las mismas empresas y organismos

<sup>49</sup> Hart et al., 1992.

que vendían los supermicrobios. No obstante, dificultades científicas, problemas técnicos e importantes obstáculos legales derivados de justificadas preocupaciones éticas y de seguridad, retrasaron la revolución biotecnológica durante la década de los ochenta. Se perdió una considerable suma de inversión de capital de riesgo y algunas de las compañías más innovadoras, incluida Genentech, se vieron absorbidas por las gigantes farmacéuticas (Hoffman-La Roche, Merck), que mejor que ningún otro comprendieron que no podían imitar la costosa arrogancia que habían exhibido las firmas informáticas de reconocido prestigio con respecto a las innovadoras que se ponían en marcha: comprar empresas pequeñas e innovadoras, junto con sus servicios científicos, se convirtió en una importante póliza de seguro para las multinacionales farmacéuticas y químicas, tanto para asimilar los beneficios comerciales de la revolución biológica, como para controlar su ritmo. Después se aflojó el paso, al menos en la difusión de sus aplicaciones.

Sin embargo, a finales de la década de los ochenta y comienzos de la siguiente, un importante impulso científico y una nueva generación de arriesgados empresarios científicos revitalizaron la biotecnología, que se centró de forma decisiva en la ingeniería genética, la verdadera tecnología revolucionaria dentro del campo. La clonación genética entró en una nueva etapa cuando, en 1988, Harvard patentó legalmente un ratón manipulado genéticamente, arrebatando a Dios y a la Naturaleza los derechos legales de la vida. En los siete años siguientes, otros siete ratones fueron también patentados como formas de vida de nueva creación, identificadas como propiedad de sus ingenieros. En agosto de 1989, los investigadores de la Universidad de Michigan y Toronto descubrieron el gen responsable de la fibrosis quística, abriendo el camino para la terapia genética.

A la estela de las expectativas generadas por este descubrimiento, el gobierno estadounidense decidió, en 1990, patrocinar y financiar con 3.000 millones de dólares un programa de quince años, coordinado por James Watson, que reunió a algunos de los equipos de investigación sobre microbiología más avanzados para trazar el mapa del genoma humano, esto es, para identificar y localizar los 60.000 a 80.000 genes que componen el alfabeto de la especie humana<sup>50</sup>. Mediante este esfuerzo y otros más, se ha identificado una corriente continua de genes humanos, relacionados con diversas enfermedades, de modo que para mediados de la década de 1990 ya se han localizado en torno a un 7% de los genes humanos y se posee un conocimiento adecuado de su función. Por supuesto, ello crea la posibilidad de actuar sobre esos genes y los que se identifiquen en el futuro, con lo que la humanidad es capaz no sólo de controlar

<sup>50</sup> Sobre el desarrollo de la biotecnología y la ingeniería genética, véase, por ejemplo, Teitelman, 1989; Hall, 1987; Congreso de los Estados Unidos, Evaluación de la Oficina de Tecnología, 1991; Bishop y Waldholz, 1990.

algunas enfermedades, sino de identificar predisposiciones biológicas e intervenir sobre ellas, alterando potencialmente el destino genético. Lyon y Gornier concluyen su equilibrada investigación de 1995 sobre los avances de la ingeniería genética humana con una predicción y una admonición:

En unas cuantas generaciones podríamos acabar quizá con ciertas enfermedades mentales, o con la diabetes, o con la alta presión sanguínea, o casi con cualquier dolencia que seleccionemos. Lo más importante que debe tenerse en cuenta es que la calidad de la toma de decisiones dicta si las elecciones que se efectúen serán sabias y justas. [...] El modo bastante ignominioso en que la elite científica y administrativa está manejando los primeros frutos de la terapia genética no augura nada bueno. [...] Los humanos hemos evolucionado intelectualmente hasta el punto de que, relativamente pronto, seremos capaces de comprender la composición, función y dinámicas del genoma en buena parte de su complejidad intimidante. Sin embargo, desde el punto de vista emocional, seguimos siendo monos, con todo el bagaje de comportamiento que ello supone. Quizá la forma suprema de la terapia genética para nuestra especie sea superar nuestra herencia más abyecta y aprender a aplicar nuestro nuevo conocimiento prudente y benévolo.<sup>51</sup>

No obstante, mientras científicos, legisladores y moralistas debaten sobre las implicaciones humanísticas de la ingeniería genética, investigadores convertidos en empresarios están tomando el camino más corto y estableciendo mecanismos para obtener el control legal y financiero del genoma humano. El intento más atrevido en este sentido fue el proyecto iniciado en 1990 en Rockville (Maryland) por dos científicos, J. Craig Venter, entonces con el Instituto Nacional de Salud, y William Haseltine, entonces en Harvard. Utilizando el poder de un superordenador, ordenaron en serie en sólo cinco años partes de cerca del 85% de todos los genes humanos, creando una gigantesca base de datos genética.<sup>52</sup> El problema es que no saben, y no lo sabrán en mucho tiempo, qué es cada trozo de gen o dónde se localiza: su base de datos comprende cientos de miles de fragmentos genéticos con funciones desconocidas. Entonces, ¿cuál es su interés? Por una parte, la investigación centrada en genes específicos puede aprovecharse (y de hecho lo hace) de los datos contenidos en esas secuencias. Pero, lo que es más importante y la principal razón de todo el proyecto, Craig y Haseltine se han dado prisa en patentar todos sus datos, de tal manera que, literalmente, puede que un día posean los derechos legales sobre una gran porción del conocimiento para manipular el genoma humano. La amenaza que ello suponía era tan seria que, si bien por una parte atrajeron decenas de millones de dólares de los inversores, por la otra, una importante compañía farmacéutica, Merck, otorgó fondos cuantiosos a la Universidad Washington para que prosiguiera con las mismas

<sup>51</sup> Lyon y Gornier, 1995, pág. 567.

<sup>52</sup> Véase *Business Week*, 1995e.

secuencias ciegas e hiciera públicos los datos para que no existiera un control privado de fragmentos de conocimiento que pudieran bloquear el desarrollo de productos basados en la comprensión sistemática futura del genoma humano.

La lección de tales batallas empresariales para el sociólogo va más allá de otro ejemplo de la codicia humana. Señala una aceleración de la velocidad y la profundidad en la revolución genética. Debido a su especificidad tanto científica como social, la difusión de la ingeniería genética se desarrolló a un ritmo más lento durante el periodo 1970-1990 que el observado en la electrónica. Pero en la década de 1990, la apertura de más mercados y el aumento de la capacidad educativa e investigadora por todo el mundo han acelerado la revolución biotecnológica. Todos los indicios apuntan hacia la explosión de sus aplicaciones con el cambio de milenio, desatando así un debate fundamental en la frontera ahora borrosa entre naturaleza y sociedad.

#### *El contexto social y las dinámicas del cambio tecnológico*

¿Por qué los descubrimientos sobre las nuevas tecnologías de la información se agruparon en la década de los años setenta y en su mayor parte en los Estados Unidos? ¿Y cuáles son las consecuencias de esta concentración de tiempo/lugar para el desarrollo futuro y para su interacción con las sociedades? Resultaría tentador relacionar de forma directa la formación de este paradigma tecnológico con las características de su contexto social. En particular, si recordamos que a mediados de la década de los años setenta los Estados Unidos y el mundo occidental se vieron sacudidos por una importante crisis económica, estimulada (pero no causada) por los choques petroleros de 1973-1974. Una crisis que impulsó la espectacular reestructuración del sistema capitalista a escala global, induciendo en realidad un nuevo modelo de acumulación en discontinuidad histórica con el capitalismo posterior a la Segunda Guerra Mundial, como he propuesto en el prólogo de este libro. ¿Fue el nuevo paradigma tecnológico una respuesta del sistema capitalista para superar sus contradicciones internas? ¿O fue además un modo de asegurar la superioridad militar sobre el enemigo soviético, respondiendo a su reto tecnológico en la carrera espacial y el armamento nuclear? Ninguna de estas dos explicaciones parece convincente. Si bien existe una coincidencia histórica entre el agrupamiento de nuevas tecnologías y la crisis económica de los años setenta, su sincronización es demasiado exacta, el «ajuste tecnológico» habría sido demasiado rápido, demasiado mecánico, cuando sabemos de las lecciones de la Revolución industrial y otros procesos históricos de cambio tecnológico que las sendas económica, industrial y tecnológica, aunque se relacionan, se mueven con lentitud y adecuan su interacción de forma imper-

fecta. En cuanto al argumento militar, al impacto del Sputnik de 1957-1960 se respondió con el programa espacial estadounidense mediante la inversión tecnológica masiva de los años sesenta, no de los setenta; y el nuevo impulso importante a la tecnología militar estadounidense se acometió en 1983 en torno al programa «Guerra de las Galaxias», que en realidad utilizó las tecnologías desarrolladas en la década prodigiosa precedente. De hecho, parece que ha de seguirse la pista del surgimiento de un nuevo sistema tecnológico en la década de 1970 hasta la dinámica autónoma del descubrimiento tecnológico y su difusión, incluidos los efectos sinérgicos entre varias tecnologías clave. Así, el microprocesador hizo posible el microordenador; los avances en las telecomunicaciones, como ya se ha mencionado, permitieron a los microordenadores funcionar en red, con lo que se aumentó su potencia y flexibilidad. Las aplicaciones de estas tecnologías a la fabricación electrónica acrecentó el potencial de nuevas tecnologías de diseño y fabricación en la producción de semiconductores. El nuevo *software* se vio estimulado por el rápido crecimiento del mercado de microordenadores, que a su vez se expandió por las nuevas aplicaciones, y de las mentes de los escritores de *software* surgieron en profusión tecnologías fáciles para el usuario. Y así sucesivamente.

El fuerte impulso tecnológico inducido por el ejército en la década de 1960 preparó a la tecnología estadounidense para el salto hacia adelante. Pero la invención realizada por Ted Hoff del microprocesador, cuando trataba de cumplir un pedido para una empresa japonesa de calculadoras manuales en 1971, se produjo por el conocimiento e ingenio acumulados en Intel, en estrecha interacción con el medio de innovación creado desde la década de 1950 en Silicon Valley. En otras palabras, la primera revolución de la tecnología de la información se concentró en los Estados Unidos, y en buena medida en California, en la década de 1970, atendiendo a los avances de las dos décadas previas y bajo la influencia de diversos factores institucionales, económicos y culturales. Pero no surgió de ninguna necesidad preestablecida: su inducción fue tecnológica, en lugar de ser determinada por la sociedad. Sin embargo, una vez que cobró existencia como sistema, en virtud del agrupamiento que he descrito, sus desarrollos y aplicaciones, y, en definitiva, su contenido, resultaron moldeados de forma decisiva por el contexto histórico en el que se expandió. En efecto, en la década de 1980, el capitalismo (en concreto, las principales empresas y los gobiernos del club de los países del G-7) ya habían emprendido un proceso sustancial de reestructuración económica y organizativa, en el que la nueva tecnología de la información desempeñaba un papel fundamental que la conformó decisivamente. Por ejemplo, el movimiento impulsado por las empresas hacia la desregulación y liberalización en la década de 1980 fue concluyente para la reorganización y el crecimiento de las telecomunicaciones, de modo más notable tras el desposeimiento de ATT. A su vez, la disponibilidad de nuevas redes de telecomunicaciones

y sistemas de información puso los cimientos para la integración global de los mercados financieros y la articulación segmentada de la producción y el comercio de todo el mundo, como examinaremos en el capítulo siguiente.

De este modo y hasta cierta medida, la disponibilidad de nuevas tecnologías constituidas como un sistema en la década de los setenta fue una base fundamental para el proceso de reestructuración socioeconómica de la década de los ochenta. Y los usos de esas tecnologías en esa década condicionaron en buena parte sus usos y trayectorias en la de 1990. El surgimiento de la sociedad red, que trataré de analizar en los capítulos siguientes de este volumen, no puede entenderse sin la interacción de estas dos tendencias relativamente autónomas: el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información y el intento de la antigua sociedad de reequiparse mediante el uso del poder de la tecnología para servir a la tecnología del poder. Sin embargo, el resultado histórico de esa estrategia consciente a medias es en buena medida indeterminado, ya que la interacción de tecnología y sociedad depende de la relación estocástica existente entre un número excesivo de variables casi independientes. Sin rendirnos necesariamente al relativismo histórico, cabe decir que la Revolución de la tecnología de la información se suscitó cultural, histórica y espacialmente, en un conjunto muy específico de circunstancias cuyas características marcaron su evolución futura.

#### MODELOS, ACTORES Y LOCALIDADES DE LA REVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN

Si la primera Revolución industrial fue británica, la primera Revolución de la tecnología de la información fue estadounidense, con una inclinación californiana. En ambos casos, científicos e industriales de otros países desempeñaron un papel importante, tanto en el descubrimiento como en la difusión de las nuevas tecnologías. Francia y Alemania fueron fuentes clave de talento y aplicaciones en la revolución industrial. Los descubrimientos científicos originados en Inglaterra, Francia, Alemania e Italia fueron las bases de las nuevas tecnologías de la electrónica y la biología. El ingenio de las compañías japonesas ha sido crítico para la mejora de los procesos de fabricación en la electrónica y en la penetración de las tecnologías de la información en la vida cotidiana de todo el mundo, mediante un aluvión de productos innovadores, de los vídeos y faxes a los videojuegos y buscapersoas<sup>53</sup>. En efecto, en la década de 1980, las compañías japonesas lograron dominar la producción de semiconductores en el mercado mundial, si bien a mediados de la de 1990 las compañías estado-

<sup>53</sup> Forester, 1993.

unidenses retomaron en conjunto la cabeza de la competición. La industria entera evolucionó hacia la interpenetración, las alianzas estratégicas y el establecimiento de redes entre firmas de diferentes países, como analizaré en el capítulo 3. Esto hizo que la diferenciación por origen nacional fuera menos importante. No obstante, no sólo hubo innovadores, firmas e instituciones estadounidenses en los orígenes de la revolución durante la década de 1970, sino que han continuado desempeñando un papel dirigente en su expansión, que probablemente se mantendrá en el siglo XXI; aunque sin duda seremos testigos de una presencia creciente de firmas japonesas, chinas y coreanas, así como de una contribución europea representativa en biotecnología y telecomunicaciones.

Para comprender las raíces sociales de la Revolución de la tecnología de la información en los Estados Unidos, más allá de los mitos que la rodean, recordaré brevemente el proceso de formación de su medio de innovación más famoso: Silicon Valley. Como ya he mencionado, fue allí donde se desarrollaron el circuito integrado, el microprocesador, el microordenador, entre otras tecnologías clave, y donde ha latido el corazón de la innovación electrónica cuatro décadas ya, mantenido por cerca de un cuarto de millón de trabajadores de la tecnología de la información<sup>54</sup>. Además, la zona de la Bahía de San Francisco en su conjunto (que incluye otros centros de innovación como Berkeley, Emeryville, Marin County y el mismo San Francisco) también se halló en los orígenes de la ingeniería genética y, en la década de 1990, es uno de los principales centros del mundo en *software* avanzado, ingeniería genética y diseño informático multimedia.

Silicon Valley (Condado de Santa Clara, a 48 km al sur de San Francisco, entre Stanford y San José) se convirtió en un medio de innovación por la convergencia en ese sitio del nuevo conocimiento tecnológico; de un gran mercado de expertos ingenieros y científicos de las principales universidades de la zona; de financiamiento generoso y un mercado asegurado por parte del Departamento de Defensa; y, en la primera etapa, del liderazgo institucional de la Universidad de Stanford. En efecto, los orígenes de la ubicación poco probable de la industria electrónica en una agradable zona semirural de California del Norte pueden remontarse hasta el establecimiento en 1951 del Parque Industrial de Stanford, realizado por el visionario decano de Ingeniería y vicerrector de la universidad, Frederick Terman. Había apoyado personalmente a dos de sus estudiantes doctorales, William Hewlett y David Packard, para crear una empresa electrónica en 1938. La Segunda Guerra Mundial fue una bonanza para Hewlett-Packard y otras empresas electrónicas que acababan

<sup>54</sup> Sobre la historia de la formación de Silicon Valley, dos libros provechosos y fáciles de leer son los de Rogers y Larsen, 1984 y Malone, 1985.

de ponerse en marcha. Así que, naturalmente, fueron los primeros inquilinos de una nueva y privilegiada ubicación donde sólo las firmas que Stanford juzgara innovadoras podrían beneficiarse de una renta de alquiler simbólica. Como el parque se llenó en seguida, las nuevas firmas electrónicas comenzaron a localizarse a lo largo de la autopista 101 hacia San José.

El hecho decisivo fue la contratación por parte de la Universidad de Stanford de William Shockley, inventor del transistor, en 1956. Y fue algo fortuito, aunque refleja la incapacidad histórica de las firmas electrónicas de prestigio reconocido para adoptar la tecnología revolucionaria de la microelectrónica. Shockley había solicitado el respaldo de grandes empresas de la Costa Este, como RCA y Raytheon, para desarrollar su descubrimiento en producción industrial. Cuando se lo negaron, aceptó la oferta de Stanford, sobre todo debido a que su madre vivía en Palo Alto, y decidió crear allí su propia compañía, Shockley Transistors, con el apoyo de Beckman Instruments. Contrató a ocho ingenieros jóvenes y brillantes, provenientes en su mayoría de los Laboratorios Bell y atraídos por la posibilidad de trabajar con él. Uno de ellos, aunque no precisamente de los Laboratorios Bell, era Bob Noyce. Pronto quedaron desilusionados. Aunque aprendieron los principios de la microelectrónica de vanguardia, les desalentó el autoritarismo y tozudez de Shockley, que condujeron a la empresa a un callejón sin salida. En particular querían, en contra de la decisión de Shockley, trabajar con silicio, como la vía más prometedora para una integración mayor de los transistores. Así que, pasado sólo un año, dejaron a Shockley (cuya firma se derrumbó) y crearon (con la ayuda de Fairchild Cameras) Fairchild Semiconductors, donde tuvo lugar la invención del proceso planar y del circuito integrado en los dos años siguientes. Tan pronto como descubrieron el potencial tecnológico y comercial de su conocimiento, cada uno de estos brillantes ingenieros dejó Fairchild para iniciar su propia empresa. Y sus nuevos contratados hicieron lo mismo tras cierto tiempo, de tal forma que los orígenes de la mitad de las ochenta y cinco firmas mayores de semiconductores estadounidenses, incluidos los principales productores actuales como Intel, Advanced Micro Devices, National Semiconductors, Signetics, etc., pueden remontarse hasta este proceso de escisión de Fairchild.

Fue esta transferencia de tecnología de Shockley a Fairchild y luego a una red de empresas escindidas la que constituyó la fuente inicial de innovación sobre la que se levantó Silicon Valley y la revolución en la microelectrónica. En efecto, a mediados de la década de 1950, Stanford y Berkeley aún no eran centros punteros en electrónica; lo era MIT y ello se reflejó en la ubicación original de la industria electrónica en Nueva Inglaterra. Sin embargo, tan pronto como Silicon Valley tuvo a su disposición el conocimiento, el dinamismo de su estructura industrial y la continua creación de nuevas empresas lo afirmaron ya como el centro mundial de la microelectrónica a comienzos de la década de 1970. Anna Saxenian

comparó el desarrollo de los complejos electrónicos de las dos zonas (la carretera 128 de Boston y Silicon Valley) y llegó a la conclusión de que la organización social e industrial de las empresas desempeñó un papel decisivo en el fomento u obstrucción de la innovación<sup>55</sup>. Así pues, mientras que las grandes empresas de prestigio reconocido del Este eran demasiado rígidas (y demasiado arrogantes) para reequiparse constantemente en pos de nuevas fronteras tecnológicas, Silicon Valley siguió produciendo una profusión de nuevas firmas y practicando la fertilización cruzada y la difusión del conocimiento mediante los cambios de trabajo y las escisiones. Las conversaciones nocturnas en el Walker's Wagon Wheel Bar and Grill de Mountain View hicieron más por la difusión de la innovación tecnológica que la mayoría de los seminarios de Stanford.

Un proceso similar se dio en el desarrollo del microordenador, que introdujo una divisoria histórica en los usos de la tecnología de la información<sup>56</sup>. A mediados de la década de 1970, Silicon Valley ya había atraído a cientos de miles de mentes jóvenes y brillantes provenientes de todo el mundo, que llegaban a la agitación de la nueva Meca tecnológica en busca del talismán de la invención y el dinero. Se reunían en clubes abiertos para intercambiar ideas e información sobre los últimos avances. Una de ellos era el Home Brew Computer Club (Club de Ordenadores de Fabricación Casera), cuyos jóvenes visionarios (que incluían a Bill Gates, Steve Jobs y Steve Wozniak) crearían en los siguientes años hasta 22 firmas, incluidas Microsoft, Apple, Comeco y North Star. Fue la lectura en el club de un artículo aparecido en *Popular Electronics* que informaba sobre la máquina Altair de Ed Roberts la que inspiró a Wozniak para diseñar un microordenador, Apple I, en su garaje de Menlo Park durante el verano de 1976. Steve Jobs vio el potencial y juntos fundaron Apple, con un préstamo de 91.000 dólares de un ejecutivo de Intel, Mike Markkula, que entró como socio. Casi al mismo tiempo, Bill Gates fundó Microsoft para proporcionar el sistema operativo a los microordenadores, aunque en 1978 ubicó su compañía en Seattle para aprovechar los contactos sociales de su acomodada familia.

Podría contarse un relato bastante similar sobre el desarrollo de la ingeniería genética: científicos sobresalientes de Stanford, la Universidad de California en San Francisco y Berkeley crearon en paralelo empresas, ubicadas al principio en la zona de la Bahía, que también atravesarían procesos frecuentes de escisión, aunque seguirían manteniendo estrechos vínculos con sus «alma mater»<sup>57</sup>. Procesos muy similares ocurrieron en Boston/Cambridge en torno a Harvard-MIT, en el Research Triangle que rodeaba a la Universidad Duke y la Universidad de Carolina del Norte y

en Maryland, en torno a los grandes hospitales de los institutos nacionales de investigación sobre la salud y la Universidad Johns Hopkins.

La enseñanza fundamental que se desprende de estos relatos es doble: el desarrollo de la revolución de la tecnología de la información fue tributario de la formación de medios de innovación donde interactuarían descubrimientos y aplicaciones, en un proceso recurrente de prueba y error, de aprender creando; estos entornos requirieron (y siguen haciéndolo en la década de los noventa, a pesar de la interconexión telefónica) la concentración espacial de los centros de investigación, las instituciones de educación superior, las empresas de tecnología avanzada, una red auxiliar de proveedores de bienes y servicios, y redes empresariales de capitales de riesgo para financiar las primeras inversiones. Una vez consolidado el medio, como lo estaba Silicon Valley en la década de los setenta, tiende a generar su dinámica propia y a atraer conocimiento, investigación y talento de todo el mundo. En efecto, en la década de los noventa Silicon Valley florece con compañías japonesas, taiwanesas, coreanas, indias y europeas, para las que una presencia activa en el valle es la vinculación más productiva con las fuentes de la nueva tecnología y valiosa información comercial. Además, debido a su posicionamiento en las redes de innovación tecnológica, la zona de la Bahía de San Francisco ha sido capaz de acoger todo nuevo avance tecnológico. Por ejemplo, la llegada del multimedia a mediados de la década de 1990 creó una red de vínculos tecnológicos y empresariales entre la capacidad de diseño informático de las compañías de Silicon Valley y los estudios productores de imágenes de Hollywood, etiquetada de inmediato como la industria «Siliwood». Y en un rincón venido a menos de San Francisco, artistas, diseñadores gráficos y escritores de *software* se unieron en la denominada «Multimedia Gulch» («Barranca Multimedia»), que amenaza con inundar nuestros cuartos de estar con imágenes provenientes de sus mentes febriles.

¿Puede extrapolarse este modelo social, cultural y espacial al resto del mundo? Para responder a esta pregunta, en 1988 mi colega Peter Hall y yo emprendimos un viaje de varios años por el mundo, que nos llevó a visitar y analizar algunos de los principales centros científicos/tecnológicos de este planeta, de California a Japón, de Nueva Inglaterra a la vieja Inglaterra, de París-Sur a Hsinchu-Taiwan, de Sofía-Antípolis a Akademgoródok, de Zelenograd a Daeduck, de Munich a Seúl. Nuestras conclusiones, presentadas en forma de libro<sup>58</sup>, confirman el papel crucial desempeñado por los medios de innovación en el desarrollo de la Revolución de la tecnología de la información: aglomeraciones de conocimiento científico/técnico, instituciones, empresas y trabajo cualificado constituyen las calderas de la innovación en la Era de la Información. No obstante, no

<sup>55</sup> Saxenian, 1994.

<sup>56</sup> Levy, 1984; Egan, 1995.

<sup>57</sup> Blakely *et al.*, 1988; Hall *et al.*, 1988.

<sup>58</sup> Castells y Hall, 1994.



necesitan reproducir el modelo cultural, espacial, institucional e industrial de Silicon Valley o de otros centros estadounidenses de innovación tecnológica, como California del Sur, Boston, Seattle o Austin.

Nuestro descubrimiento más sorprendente es que las viejas grandes áreas metropolitanas del mundo industrializado son los principales centros de innovación y producción en tecnología de la información fuera de los Estados Unidos. En Europa, París-Sur constituye la mayor concentración de producción e investigación de alta tecnología; y el corredor M-4 de Londres sigue siendo la ubicación preeminente para la electrónica británica, en continuidad histórica con las fábricas de armamento y material que trabajaban para la Corona desde el siglo XIX. El desplazamiento de Berlín por Munich está obviamente relacionado con la derrota alemana en la Segunda Guerra Mundial, que supuso el traslado deliberado de Siemens de Berlín a Baviera en previsión de la ocupación estadounidense de esa zona. Tokio-Yokohama continúa siendo el núcleo tecnológico de la industria de la tecnología de la información japonesa, a pesar de la descentralización de las plantas sucursales operada bajo el Programa Tecnópolis. Moscú-Zelenograd y San Petersburgo fueron y son los centros del conocimiento y la producción tecnológicos soviéticos y rusos, tras el fracaso del sueño siberiano de Jruschov. Hsinchu es de hecho un satélite de Taipei; Daeduck nunca desempeñó un papel significativo frente a Seúl-Inchon, a pesar de encontrarse en la provincia natal del dictador Park; y Pekín y Shanghai son, como veremos, el núcleo del desarrollo tecnológico chino. Al igual que lo son la ciudad de México en ese país, São Paulo-Campinas en Brasil y Buenos Aires en Argentina. En este sentido, el relativo retraso tecnológico de las viejas metrópolis estadounidenses (Nueva York-Nueva Jersey, a pesar de su papel prominente hasta la década de 1960; Chicago; Detroit; Filadelfia) es la excepción a nivel internacional, ligada con el excepcionalismo estadounidense del espíritu de frontera y con su huida interminable de las contradicciones de las ciudades construidas y las sociedades constituidas. Por otra parte, sería interesante explorar la relación que existe entre este excepcionalismo estadounidense y su indiscutible preeminencia en una revolución tecnológica caracterizada por la necesidad de romper moldes mentales para espolear la creatividad.

No obstante, el carácter metropolitano de la mayoría de los emplazamientos de la Revolución de la tecnología de la información en todo el mundo parece indicar que el ingrediente crucial en este desarrollo no es que sea nuevo el entorno cultural e institucional, sino su capacidad para generar sinergia basándose en el conocimiento y la información, directamente relacionados con la producción industrial y las aplicaciones comerciales. La fuerza cultural y empresarial de la metrópoli (viejas o nuevas; después de todo, la zona de la Bahía de San Francisco es una metrópoli de más de seis millones de habitantes) la convierte en el entorno privilegiado de esta nueva revolución tecnológica, que en realidad desmixtifica la no-

ción de que la innovación carece de lugar geográfico en la era de la información.

De modo similar, el modelo empresarial de la Revolución de la tecnología de la información parece estar oscurecido por la ideología. No sólo son los modelos japonés, europeo o chino de innovación tecnológica bastante diferentes de la experiencia estadounidense, sino que incluso esta experiencia capital con frecuencia se toma en sentido erróneo. El papel del Estado suele reconocerse como decisivo en Japón, donde las grandes compañías fueron guiadas y respaldadas por el MITI durante largo tiempo, hasta bien entrados los años ochenta, mediante una serie de arriesgados programas tecnológicos, algunos de los cuales fracasaron (por ejemplo, los ordenadores de quinta generación), pero la mayoría ayudó a transformar a Japón en una superpotencia tecnológica en sólo unos veinte años, como ha documentado Michael Borrus<sup>59</sup>. En la experiencia japonesa no puede hallarse la puesta en marcha de empresas innovadoras y las universidades tuvieron un papel pequeño. La planificación estratégica del MITI y la constante interfaz de *keiretsu* y gobierno son los elementos clave para explicar la proeza japonesa que abrumó a Europa y atajó a los Estados Unidos en varios segmentos de las industrias de la tecnología de la información. Un relato similar puede contarse sobre Corea del Sur y Taiwan, si bien en el último caso las multinacionales desempeñaron un papel mayor. Las fuertes bases tecnológicas de India y China están directamente relacionadas con su complejo industrial militar, financiado y dirigido por el Estado.

Pero también fue el caso de gran parte de las industrias electrónicas británicas y francesas, centradas en las telecomunicaciones y la defensa, hasta la década de 1980<sup>60</sup>. En el último cuarto del siglo XX, la Unión Europea ha seguido con una serie de programas tecnológicos para mantenerse a la altura de la competencia internacional, respaldando de forma sistemática a los «campeones nacionales», incluso con pérdidas, sin mucho resultado. En efecto, el único medio de las compañías europeas de tecnología de la información de sobrevivir fue utilizar sus considerables recursos (una parte sustancial de los cuales proviene de los fondos gubernamentales) para establecer alianzas con las compañías japonesas y estadounidenses, que cada vez más son su fuente principal de conocimientos prácticos en tecnología de la información avanzada<sup>61</sup>.

Hasta en los Estados Unidos es un hecho bien conocido que los contratos militares y las iniciativas tecnológicas del Departamento de Defensa desempeñaron un papel decisivo en la etapa formativa de la Revolución de la tecnología de la información, es decir, entre las déca-

<sup>59</sup> Borrus, 1988.

<sup>60</sup> Hall *et al.*, 1987.

<sup>61</sup> Freeman *et al.*, 1991; Castells *et al.*, 1991.

das de 1940 y 1960. Incluso la principal fuente de descubrimientos electrónicos, los Laboratorios Bell, desempeñó de hecho el papel de un laboratorio nacional: su compañía matriz (ATT) disfrutó de un monopolio en las comunicaciones establecido por el gobierno; una parte significativa de sus fondos de investigación provino del gobierno estadounidense; y ATT se vio de hecho obligada por el gobierno, desde 1956, a cambio de su monopolio sobre las telecomunicaciones públicas, a difundir los descubrimientos tecnológicos al dominio público<sup>62</sup>. MIT, Harvard, Stanford, Berkeley, UCLA, Chicago, Johns Hopkins y los laboratorios de armamento nacionales como Livermore, Los Alamos, Sandia y Lincoln trabajaron con los organismos del Departamento de Defensa y para ellos en programas que condujeron a avances fundamentales, de los ordenadores de la década de 1940 a la optoelectrónica y las tecnologías de la inteligencia artificial de los programas de la «Guerra de las Galaxias» de la década de 1980. DARPA, el organismo de investigación extraordinariamente innovador del Departamento de Defensa, desempeñó en los Estados Unidos un papel no demasiado diferente al del MITI en el desarrollo tecnológico japonés, incluido el diseño y la financiación inicial de Internet<sup>63</sup>. En efecto, en la década de 1980, cuando el ultraliberal gobierno de Reagan sintió el pellizco de la competencia japonesa, el Departamento de Defensa financió SEMATECH, un consorcio de empresas electrónicas estadounidenses, para apoyar costosos programas de I+D en la fabricación electrónica por razones de seguridad nacional. Y el gobierno federal también ayudó al esfuerzo cooperativo de importantes empresas para colaborar en la microelectrónica con la creación del MCC, ubicando SEMATECH y MCC en Austin (Tejas)<sup>64</sup>. También, durante las decisivas décadas de 1950 y 1960, los contratos militares y el programa espacial resultaron mercados esenciales para la industria electrónica, tanto para los gigantes contratistas de defensa de California del Sur como para los innovadores que se acababan de poner en marcha en Silicon Valley y Nueva Inglaterra<sup>65</sup>. No podrían haber sobrevivido sin la generosa financiación y los mercados protegidos de un gobierno estadounidense ansioso por recobrar la superioridad tecnológica sobre la Unión Soviética, una estrategia que acabaría siendo rentable. La ingeniería genética que se derivó de la investigación de las principales universidades, hospitales e institutos de investigación sobre la salud, fue en buena medida financiada y patrocinada con dinero gubernamental<sup>66</sup>. Así pues, el Es-

tado, no el empresario innovador en su garaje, tanto en los Estados Unidos como en el resto del mundo, fue el iniciador de la Revolución de la tecnología de la información<sup>67</sup>.

Sin embargo, sin estos empresarios innovadores, como los del origen de Silicon Valley o los ordenadores clónicos de Taiwan, la Revolución de la tecnología de la información habría tenido características muy diferentes y no es probable que hubiera evolucionado hacia el tipo de máquinas tecnológicas descentralizadas y flexibles que se están difundiendo en todos los ámbitos de la actividad humana. En efecto, desde los comienzos de la década de 1970, la innovación tecnológica se ha dirigido esencialmente al mercado<sup>68</sup>; y los innovadores, aunque aún suelen ser empleados de las principales compañías, sobre todo en Japón y Europa, continúan estableciendo sus propias empresas en los Estados Unidos y, cada vez más, a lo largo del mundo. Ello provoca la aceleración de la innovación tecnológica y la difusión más rápida de esa innovación, ya que las mentes creadoras, llevadas por la pasión y la codicia, escudriñan constantemente la industria en busca de nichos de mercado en productos y procesos. **En efecto, es por esta interfaz de programas de macroinvestigación y extensos mercados desarrollados por el Estado, por una parte, y la innovación descentralizada por una cultura de creatividad tecnológica y modelos de rápido éxito personal, por la otra, por lo que las nuevas tecnologías de la información llegaron a florecer.** Al hacerlo, agruparon a su alrededor redes de empresas, organizaciones e instituciones para formar un nuevo paradigma sociotécnico.

#### EL PARADIGMA DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN

Como escribe Christopher Freeman:

Un paradigma tecnoeconómico es un grupo de innovaciones técnicas, organizativas y gerenciales interrelacionadas, cuyas ventajas se van a encontrar no sólo en una nueva gama de productos y sistemas, sino en su mayoría en la dinámica de la estructura del coste relativo de todos los posibles insumos (*inputs*) para la producción. *En cada nuevo paradigma, un insumo particular o conjunto de insumos puede describirse como el «factor clave» de ese paradigma, caracterizado por la caída de los costes relativos y la disponibilidad universal.* El cambio contemporáneo de paradigma puede contemplarse como el paso de una tecnología basada fundamentalmente en insumos baratos de energía a otra *basada sobre todo en insumos baratos de información derivados de los avances en la microelectrónica y la tecnología de las comunicaciones*<sup>69</sup>.

<sup>62</sup> Bar, 1990.

<sup>63</sup> Tirman, 1984; Broad, 1985; Stowsky, 1992.

<sup>64</sup> Borrus, 1988; Gibson y Rogers, 1994.

<sup>65</sup> Roberts, 1991.

<sup>66</sup> Kenney, 1986.

<sup>67</sup> Véanse los análisis reunidos en Castells, 1988b.

<sup>68</sup> Banegas, 1993.

<sup>69</sup> C. Freeman, prólogo a la parte II, en Dosi *et al.*, 1988b, pág. 10.

La noción de paradigma tecnológico, elaborada por Carlota Pérez, Christopher Freeman y Giovanni Dosi, adaptando el análisis clásico de las revoluciones científicas de Kuhn, ayuda a organizar la esencia de la transformación tecnológica actual en su interacción con la economía y la sociedad<sup>70</sup>. Creo que sería útil, como una guía para nuestro próximo viaje por los senderos de la transformación social, precisar los rasgos que constituyen el núcleo del paradigma de la Tecnología de la Información. Tomados en conjunto, constituyen la base material de la sociedad de la información.

La primera característica del nuevo paradigma es que la información es su materia prima: *son tecnologías para actuar sobre la información*, no sólo información para actuar sobre la tecnología, como era el caso en las revoluciones tecnológicas previas.

El segundo rasgo hace referencia a *la capacidad de penetración de los efectos de las nuevas tecnologías*. Puesto que la información es una parte integral de toda actividad humana, todos los procesos de nuestra existencia individual y colectiva están directamente moldeados (aunque sin duda no determinados) por el nuevo medio tecnológico.

La tercera característica alude a *la lógica de interconexión* de todo sistema o conjunto de relaciones que utilizan estas nuevas tecnologías de la información. La morfología de red parece estar bien adaptada para una complejidad de interacción creciente y para pautas de desarrollo impredecibles que surgen del poder creativo de esa interacción<sup>71</sup>. Esta configuración topológica, la red, ahora puede materializarse en todo tipo de procesos y organizaciones mediante tecnologías de la información de reciente disposición. Sin ellas, sería demasiado engorroso poner en práctica la lógica de interconexión. No obstante, ésta es necesaria para estructurar lo no estructurado mientras se preserva su flexibilidad, ya que lo no estructurado es la fuerza impulsora de la innovación en la actividad humana.

<sup>70</sup> Pérez, 1983; Dosi *et al.*, 1988b; Kuhn, 1962.

<sup>71</sup> Kelly, 1995, págs. 25-27, amplía las propiedades de la lógica de la interconexión en unos certeros párrafos:

El átomo es el pasado. El símbolo de la ciencia para el siglo próximo es la red dinámica [...] Mientras que el átomo representa la simplicidad limpia, la red canaliza el poder desordenado de la complejidad [...] La única organización capaz de un crecimiento sin prejuicios o un aprendizaje sin guía es la red. Todas las demás topologías limitan lo que pueda pasar. Un enjambre de redes es todo bordes y, por ello, abierta, sin que importe por dónde se entre. En efecto, la red es la organización menos estructurada de la que pueda decirse que tiene una estructura [...] De hecho, una pluralidad de componentes verdaderamente divergentes sólo pueden guardar coherencia en una red. Ninguna otra disposición —cadena, pirámide, árbol, círculo, cubo— puede contener a la diversidad auténtica funcionando como un todo.

Aunque es posible que los matemáticos y los físicos rechacen algunas de estas afirmaciones, el mensaje básico de Kelly es interesante: la convergencia entre la topología evolutiva de la materia viva, la naturaleza abierta de una sociedad cada vez más compleja y la lógica interactiva de las nuevas tecnologías de la información.

En cuarto lugar y relacionado con la interacción, aunque es un rasgo claramente diferente, el paradigma de la Tecnología de la Información se basa en la *flexibilidad*. No sólo los procesos son reversibles, sino que pueden modificarse las organizaciones y las instituciones e incluso alterarse de forma fundamental mediante la reordenación de sus componentes. Lo que es distintivo de la configuración del nuevo paradigma tecnológico es su capacidad para reconfigurarse, un rasgo decisivo en una sociedad caracterizada por el cambio constante y la fluidez organizativa. Cambiar de arriba abajo las reglas sin destruir la organización se ha convertido en una posibilidad debido a que la base material de la organización puede reprogramarse y reequiparse. Sin embargo, debemos evitar un juicio de valor unido a este rasgo tecnológico. Porque la flexibilidad puede ser una fuerza liberadora, pero también una tendencia represiva si quienes reescriben las leyes son siempre los mismos poderes. Como Mulgan escribió, «las redes se han creado no sólo para comunicar, sino también para ganar posición, para sobrecomunicar»<sup>72</sup>. Así pues, es esencial mantener una distancia entre afirmar el surgimiento de nuevas formas y procesos sociales, inducidos y permitidos por las nuevas tecnologías, y extrapolar las consecuencias potenciales de tales desarrollos para la sociedad y la gente: sólo los análisis específicos y la observación empírica serán capaces de determinar el resultado de la interacción de las nuevas tecnologías y las formas sociales emergentes. No obstante, también es esencial identificar la lógica insertada en el nuevo paradigma tecnológico.

Una quinta característica de esta revolución tecnológica es la *convergencia creciente de tecnologías específicas en un sistema altamente integrado*, dentro del cual las antiguas trayectorias tecnológicas separadas se vuelven prácticamente indistinguibles. Así, la microelectrónica, las telecomunicaciones, la optoelectrónica y los ordenadores están ahora integrados en sistemas de información. Aún existe, y existirá durante cierto tiempo, alguna distinción empresarial entre fabricantes de chips y redactores de *software*, por ejemplo. Pero hasta esta diferenciación está quedando borrada por la creciente integración de las firmas empresariales en alianzas estratégicas y proyectos de colaboración, así como por la inscripción de los programas de *software* en el *hardware* de los chips. Además, en lo referente al sistema tecnológico, un elemento no puede imaginarse sin el otro: los microordenadores están en buena parte determinados por la potencia del chip y tanto el diseño como el procesamiento paralelo de los microprocesadores depende de la arquitectura del ordenador. Las telecomunicaciones son ahora sólo una forma de procesar la información; las tecnologías de transmisión y enlace están al mismo tiempo cada vez más diversificadas e integradas en la misma red, operada por los ordenadores<sup>73</sup>.

<sup>72</sup> Mulgan, 1991, pág. 21.

<sup>73</sup> Williams, 1991.

La convergencia tecnológica se extiende cada vez más hacia una interdependencia creciente de las revoluciones de la biología y la microelectrónica, tanto desde una perspectiva material como metodológica. Así, los decisivos avances en la investigación biológica, como la identificación de los genes humanos o de segmentos del ADN humano, sólo pueden seguir adelante debido al poder ingente de los ordenadores<sup>74</sup>. Por otra parte, el uso de materiales biológicos en la microelectrónica, aunque aún muy lejos de una aplicación generalizada, ya estaba en un estadio de experimentación en 1995. Leonard Adleman, científico informático de la Universidad de California del Sur, utilizó moléculas sintéticas de ADN, con la ayuda de una reacción química, para hacerlas funcionar según la lógica combinatoria del ADN, como base material de la informática<sup>75</sup>. Aunque los investigadores tienen aún un largo camino que recorrer hacia la integración material de la biología y la electrónica, la lógica de la primera (la capacidad de autogenerar secuencias no programadas y coherentes) se está introduciendo cada vez más en las máquinas electrónicas<sup>76</sup>. La vanguardia de la robótica es el campo de los robots con capacidad de aprendizaje, que se basan en la teoría de la red neural. Así, en el laboratorio de red neural del Centro de Investigación Conjunta de la Unión Europea ubicado en Ispira (Italia), el científico informático español José Millán ha enseñado pacientemente durante años a una pareja de robots a aprender por sí mismos, con la esperanza de que, en el futuro próximo, encuentren un buen puesto trabajando en aplicaciones tales como la vigilancia y el manejo de material en las instalaciones nucleares<sup>77</sup>. La convergencia en curso entre diferentes campos tecnológicos en el paradigma de la información es el resultado de su lógica compartida sobre la generación de la información, una lógica que es más evidente en las funciones del ADN y en la evolución natural, y que cada vez se reproduce más en los sistemas de información más avanzados, a medida que los chips, los ordenadores y el *software* alcanzan nuevas fronteras de velocidad, capacidad de almacenamiento y tratamiento flexible de la información desde fuentes múltiples. Si bien la reproducción del cerebro humano, con sus miles de millones de circuitos e insuperable capacidad de recombinación, es estricta ciencia ficción, los límites del poder de información de los ordenadores actuales se traspasan cada mes<sup>78</sup>.

De la observación de este cambio tan extraordinario en nuestras máquinas y el conocimiento de la vida, y con la ayuda proporcionada por es-

<sup>74</sup> *Business Week*, 1995e; Bishop y Waldholz, 1990.

<sup>75</sup> Allen, 1995.

<sup>76</sup> Para un análisis de las tendencias, véase Kelly, 1995; para una perspectiva histórica de la convergencia entre mente y máquinas, véase Mazlish, 1994; para una reflexión teórica, véase Levy, 1994.

<sup>77</sup> Millán, 1996; Kaiser *et al.*, 1995.

<sup>78</sup> Véase el excelente análisis de futuro de Gelernter, 1991.

tas máquinas y este conocimiento, está teniendo lugar una profunda transformación tecnológica. El historiador de la tecnología Bruce Mazlish propone la idea del necesario

reconocimiento de que la evolución biológica humana, ahora mejor comprendida en términos culturales, obliga a la humanidad —nosotros— a aceptar la conciencia de que herramientas y máquinas son inseparables de la naturaleza evolutiva humana. También requiere que nos demos cuenta de que el desarrollo de las máquinas, culminando en el ordenador, hace ineludible la percepción de que las mismas teorías que resultan útiles para explicar los funcionamientos de los artificios mecánicos también lo son para comprender al animal humano, y viceversa; ya que la comprensión del cerebro humano arroja luz sobre la naturaleza de la inteligencia artificial<sup>79</sup>.

Desde una perspectiva diferente, basada en los discursos de moda de la década de los ochenta sobre la «teoría del caos», en la de los noventa una red de científicos e investigadores convergió hacia un planteamiento epistemológico compartido, identificado por la palabra en código «complejidad». Organizados en torno a seminarios celebrados en el Instituto Santa Fe de Nuevo México (en su origen un club de físicos de alto nivel del Laboratorio Los Alamos, al que pronto se le unió una selecta red de ganadores del Premio Nobel y sus amigos), este círculo intelectual se propone integrar el pensamiento científico (incluidas las ciencias sociales) bajo un nuevo paradigma. Se centran en la comprensión del surgimiento de estructuras autoorganizadoras que crean complejidad de la simplicidad y un orden superior del caos por medio de diversos órdenes de interactividad de los elementos básicos que se encuentran en el origen del proceso<sup>80</sup>. Aunque este proyecto ha sido rechazado con frecuencia por las corrientes científicas establecidas como una propuesta no verificable, es un ejemplo del esfuerzo que se está realizando desde diferentes ámbitos en aras de encontrar un terreno común para la fertilización cruzada de ciencia y tecnología en la Era de la Información. No obstante, este planteamiento parece excluir todo marco integrador y sistémico. El pensamiento sobre la complejidad debe considerarse un método para comprender la diversidad, en lugar de una metateoría unificada. Su valor epistemológico podría provenir del reconocimiento del don de la naturaleza y la sociedad para descubrir cosas sin proponérselo. No que no existen reglas, sino que las reglas son creadas, y cambiadas, en un proceso constante de acciones deliberadas e interacciones únicas.

<sup>79</sup> Mazlish, 1993, pág. 233.

<sup>80</sup> La difusión de la teoría del caos a una audiencia amplia se debió en buena medida al *best-seller* de Gleick, 1987; véase también Hall, 1991. Para una historia interesante y de escritura clara sobre la escuela de la «complejidad», véase Waldrop, 1992.

El paradigma de la tecnología de la información no evoluciona hacia su cierre como sistema, sino hacia su apertura como una red multifacética. Es poderoso e imponente en su materialidad, pero adaptable y abierto en su desarrollo histórico. Sus cualidades decisivas son su carácter integrador, la complejidad y la interconexión.

De este modo, la dimensión social de la Revolución de la tecnología de la información parece obligada a seguir la ley sobre la relación entre tecnología y sociedad propuesta hace tiempo por Melvin Kranzberg: «La primera ley de Kranzberg dice lo siguiente: **La tecnología no es buena ni mala, ni tampoco neutral**»<sup>81</sup>. Es en efecto una fuerza, probablemente más que nunca bajo el paradigma tecnológico actual, que penetra en el núcleo de la vida y la mente<sup>82</sup>. Pero su despliegue real en el ámbito de la acción social consciente y la compleja matriz de interacción de las fuerzas tecnológicas desatadas por nuestra especie, y la misma especie, son una cuestión que ha de investigarse, más que una fatalidad por cumplirse. A continuación, procederé con dicha investigación.

## 2

### LA ECONOMÍA INFORMACIONAL Y EL PROCESO DE GLOBALIZACIÓN

#### INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas, ha surgido una nueva economía a escala mundial. La denomino informacional y global para identificar sus rasgos fundamentales y distintivos, y para destacar que están entrelazados. Es *informacional* porque la productividad y competitividad de las unidades o agentes de esta economía (ya sean empresas, regiones o naciones) depende fundamentalmente de su capacidad para generar, procesar y aplicar con eficacia la información basada en el conocimiento. Es *global* porque la producción, el consumo y la circulación, así como sus componentes (capital, mano de obra, materias primas, gestión, información, tecnología, mercados), están organizados a escala global, bien de forma directa, bien mediante una red de vínculos entre los agentes económicos. Es *informacional y global* porque, en las nuevas condiciones históricas, la productividad se genera y la competitividad se ejerce por medio de una red global de interacción. Y ha surgido en el último cuarto del siglo XX porque la revolución de la tecnología de la información proporciona la base material indispensable para esa nueva economía. El vínculo histórico entre la base de conocimiento-información de la economía, su alcance global y la revolución de la tecnología de la información es el que da nacimiento a un sistema económico nuevo y distinto, cuya estructura y dinámica exploraré en este capítulo.

<sup>81</sup> Kranzberg, 1985, pág. 50.

<sup>82</sup> Para una exposición informativa de los avances ocurridos en las encrucijadas de la ciencia y la mente humana, véase Baumgartner y Payr, 1995. Para una interpretación más contundente, aunque polémica, de uno de los fundadores de la revolución genética, véase Crick, 1994.