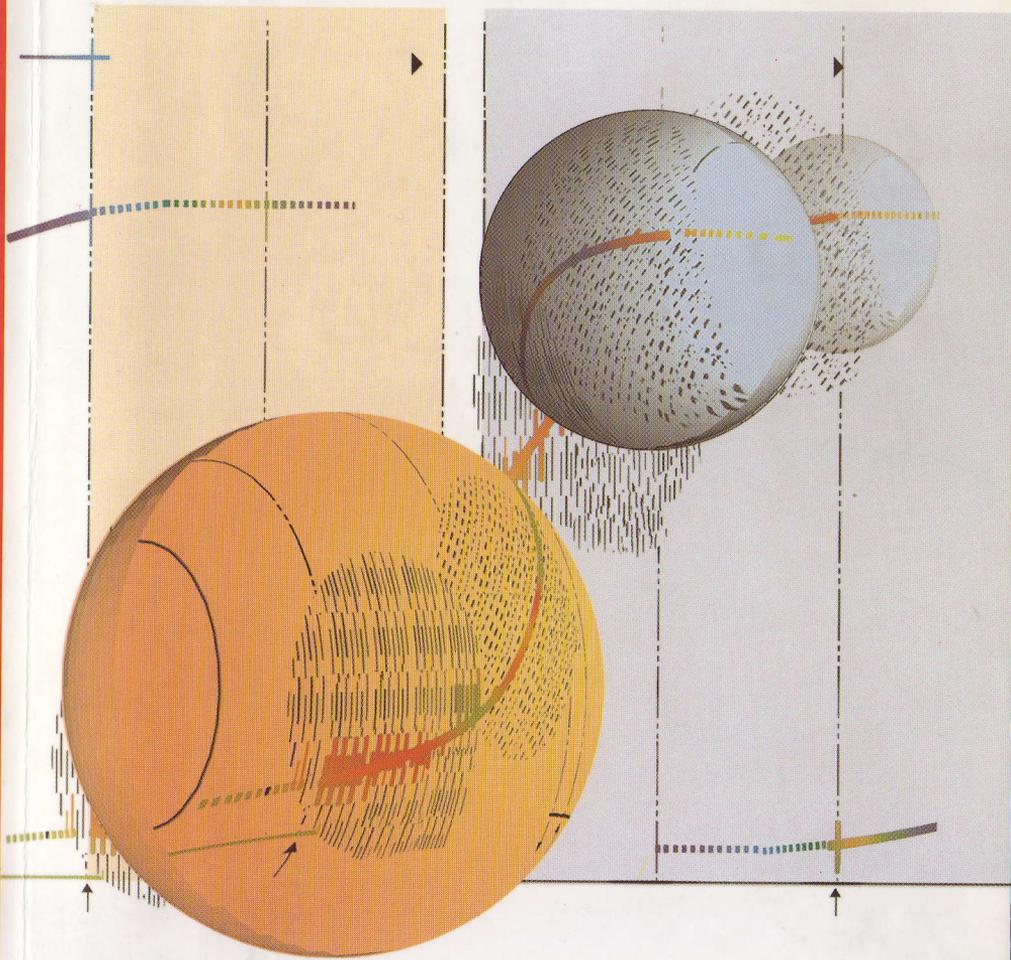


Carlota Pérez

REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS Y CAPITAL FINANCIERO

La dinámica de las grandes burbujas
financieras y las épocas de bonanza



1. EL TURBULENTO FINAL DEL SIGLO XX

Un día cualquiera de 1971, un pequeño evento en Santa Clara, California, estaba a punto de cambiar la historia del mundo. Bob Noyce y Gordon Moore lanzaron al mercado el primer microprocesador de Intel, el precursor de la computadora en un *chip*. Se trataba del salto tecnológico, del *big bang*, que daba origen a un nuevo universo, el de la ubicuidad de la computación y las telecomunicaciones digitales. Los *chips* eran poderosos, baratos y abrían innumerables posibilidades a la tecnología y a los negocios.

En aquel momento poca gente había oído hablar de capital de riesgo o de '*angels*'.* Aunque muchos ciudadanos comunes de los Estados Unidos poseían acciones y bonos, pocos seguían los cambios diarios del mercado de valores. Lo más parecido a 'derivados', eran las 'derivadas' matemáticas. La mayor parte de la clase media guardaba su dinero en bancos o en sociedades de ahorro y préstamo, y los millonarios 'por esfuerzo propio', elemento central del sueño americano, eran pocos y esporádicos. En las décadas siguientes, todo esto iba a cambiar rápidamente. Los millonarios abundarían y las finanzas se convertirían en la preocupación principal de viejos y nuevos ricos. A finales de la década de los noventa, aun los más modestos asalariados se habían convertido en 'inversionistas' esperanzados.

Henry Ford había sido el personaje principal de un evento similar en 1908. El modelo-T, de bajo precio, con su motor de combustión interna propulsado por gasolina barata, fue el *salto tecnológico* de la apertura del mundo del automóvil, de la producción en masa y del consumo masivo.

A mediados de la década de los veinte, se percibía al Mercado de Valores de Nueva York como el motor que dinamizaba la economía de los Estados Unidos y hasta del mundo. Como ocurriría después, en las décadas de los ochenta y los noventa, aparecieron por decenas los genios financieros, y las inversiones en la bolsa o en propiedades parecían tener garantizado un crecimiento cada vez mayor en un mercado de interminable tendencia alcista. La enorme riqueza de los apostadores fue el resultado; la exuberancia irracional era el talante. Hacia finales de los años veinte hasta las viudas, los

* Angels (ángeles) fue el modo como se dio en llamar a los agentes financieros que proveían capital de riesgo para apoyar a los emprendedores noveles en California y otras partes [1].

pequeños agricultores y los limpiabotas ponían su dinero en aquel sacralizado casino. El colapso de la bolsa fue inesperado; la recesión y depresión siguientes resultaron excepcionalmente profundas y prolongadas.

Esta secuencia había ocurrido tres veces antes de forma similar aunque específica en cada caso. Una década después de que la primera revolución industrial abriera el mundo de la mecanización en Inglaterra y condujera a una rápida extensión de la red de caminos, puentes, puertos y canales para dar soporte al flujo comercial creciente, se produjo la manía de los canales seguida del pánico correspondiente. Más o menos quince años después de que la vía férrea de Liverpool a Manchester inaugurara la edad de la máquina de vapor y los ferrocarriles, hubo un asombroso auge de la inversión en acciones de compañías constructoras de ferrocarriles, una verdadera 'manía' que terminó en pánico y debacle en 1847. De un modo similar, después de que la siderúrgica Bessemer de Andrew Carnegie señalara en 1875 el salto tecnológico hacia la edad del acero y la ingeniería pesada, una enorme transformación comenzó a cambiar la economía del mundo entero, con los viajes y el comercio transcontinental por tren y barcos de vapor, acompañados por la electricidad y el telégrafo internacional. El crecimiento de los mercados de valores en los años ochenta y noventa de ese siglo era para entonces, no sólo en ferrocarriles sino también en el sector industrial, no sólo nacional sino cada vez más internacional. Los colapsos de la bolsa ocurrieron en diferentes formas en Estados Unidos y en Argentina, en Italia y Francia, y en muchas otras partes del mundo.

[Cada revolución tecnológica ha llevado al remplazo masivo de un conjunto de tecnologías por otro, bien por sustitución o bien por modernización del equipamiento, los procesos y las formas de operar existentes. Cada una supuso profundos cambios en la gente, las organizaciones y las habilidades, cual huracán que barre con los hábitos existentes. Cada una condujo a un periodo de explosión en los mercados financieros.]

Nuevos actores, por lo general jóvenes, entran en acción sacudiendo un mundo firmemente establecido y satisfecho de sí mismo. La inversión en las nuevas industrias la llevan a cabo empresarios noveles, mientras que los jóvenes genios de las finanzas crean un torbellino que succiona una inmensa cantidad de la riqueza del mundo para colocarla en manos más arriesgadas o irresponsables: algunas para la especulación con bienes raíces (o en lo que esté disponible en el momento). Una parte de esa riqueza va a las nuevas industrias, otra a expandir la infraestructura, otra a modernizar las industrias establecidas, pero la mayor parte se mueve en un frenesí de dinero-que-hace-dinero, generando inflación en los valores y creando una atmósfera de casino dentro de una burbuja que se infla cada vez más. El

colapso tiene que sobrevenir eventualmente. Pero para cuando ocurra, el cambio ya habrá tenido lugar. Habrán crecido nuevas industrias, existirá ya una nueva infraestructura, habrán aparecido nuevos millonarios, y la nueva manera de hacer cosas con las nuevas tecnologías se habrá convertido en "sentido común". Falta todavía algo crucial: la articulación sistemática del nuevo marco regulatorio y de las instituciones apropiadas, capaces de dirigir y facilitar el funcionamiento de la nueva economía de una manera social y económicamente sostenible.

[En cada ciclo recurrente, allí donde la vieja economía había empezado a fallar, echa sus raíces lo que puede considerarse una 'nueva economía'. Pero todo ello se logra de una forma violenta, con alto desperdicio y mucho sufrimiento. La nueva riqueza acumulada en un extremo, tiende a ser más que contrabalaceada por el aumento de la pobreza en el otro. Éste es, en realidad, el periodo cuando el capitalismo nos muestra su cara más fea e insensible. Son los tiempos descritos por Charles Dickens y Upton Sinclair, por Friedrich Engels y Thorstein Veblen; los tiempos cuando los ricos se hacen más ricos y arrogantes, y los pobres se hacen más pobres sin merecerlo; un tiempo cuando una porción de la población celebra la prosperidad y la otra porción (generalmente mucho mayor) experimenta total deterioro y degradación. Se trata, ciertamente, de una sociedad fracturada, de un mundo de dos caras. Pero mientras los pobres generalmente pueden ver el consumo conspicuo de los ostentosos miembros de la nueva 'clase ociosa', para éstos, con frecuencia los pobres son invisibles. En el actual mundo globalizado de la economía informática, esto es más cierto aún, dado que la brecha entre los excesivamente ricos y los extremadamente pobres es básicamente internacional. Si no fuera por la televisión satelital y las migraciones masivas ilegales, la invisibilidad podría ser casi total.]

Cuando sobreviene la debacle financiera, la fiesta ha terminado y llegan los tiempos de analizar lo que se hizo mal y cómo se puede impedir que ocurra de nuevo lo mismo. Aunque el debate acerca de las causas y las culpas pueda continuar indefinidamente, pronto se emprende la tarea más práctica de establecer un sistema regulatorio adecuado y un conjunto de salvaguardas efectivas. Gracias al colapso de la bolsa y a la recesión, hay una nueva disposición a aceptar esas reglas como parte de la magia financiera, hasta entonces arrogante, ahora moderada.

Si en este punto de quiebre los ajustes institucionales se llevan a cabo exitosamente, lo que sigue puede ser una época de bonanza. Puede haber un periodo de pleno empleo e inversiones productivas generalizadas, un periodo en el cual la *producción* está en el centro de atención, cuando por fin los beneficios del sistema comienzan a difundirse hacia abajo y se instala

una era de 'bienestar' y de bonanza. Puede verse entonces la mejor cara del capitalismo. Ésta es la cara del progreso y de la relativa coincidencia entre los intereses individuales y los colectivos. El capital financiero se retira de la vista pública para ir a los salones de directorio y a las oficinas. Desde allí apoya cada vez más a las grandes empresas productoras que generan verdadera riqueza, y crece *con* ellas, al paso que éstas marcan. Para ese momento, ya las principales compañías pueden ser el resultado de fusiones y pueden haberse convertido en lo que en cada periodo serán las *grandes* corporaciones, las cuales con frecuencia operan como oligopolios.¹ Esto reduce la ferocidad de la competencia anterior y lleva a un interés común por disponer de cómodos márgenes de beneficio y por extender los mercados, mediante la ampliación del consumo hacia la base. En la medida en que lo permite la mejoría de la distribución del ingreso, el consumo crece y se expande. El nuevo estilo de vida, establecido por los *nuevos ricos*, comienza a difundirse hacia abajo, de un estrato a otro, en versiones más 'populares'. Éstos son los tiempos en que el capitalismo se identifica con el progreso, y se hace más creíble la idea de que la justicia social es alcanzable. Son tiempos de crecimiento de la esperanza. En la fase siguiente, sin embargo, las expectativas no cumplidas conducirán a la frustración y a las protestas.

Este libro sostiene que la secuencia *revolución tecnológica-burbuja financiera-colapso-época de bonanza-agitación política* se reinicia cada medio siglo aproximadamente, y se origina en mecanismos causales propios de la naturaleza del capitalismo. Estos mecanismos surgen de tres rasgos del sistema, los cuales interactúan y se influyen mutuamente:

- el hecho de que los cambios tecnológicos se agrupan en constelaciones de innovaciones radicales, formando revoluciones sucesivas y distintas, las cuales modernizan toda la estructura productiva.
- la separación funcional entre el capital financiero y el capital productivo, cada uno de los cuales persigue la ganancia por distintos medios, y
- la enorme inercia y resistencia al cambio del marco socioinstitucional, en comparación con la esfera tecnoeconómica, aguijoneada por las presiones competitivas.²

Obviamente, esa secuencia recurrente se oculta tras sucesivas capas de

¹ En la primera y segunda revolución todavía eran típicas las firmas personales o familiares, y su tamaño, aunque considerado grande por los contemporáneos, era pequeño con relación a cada industria en su conjunto. Las corporaciones verdaderamente gigantescas y la formación de oligopolios y cárteles se hicieron características del sistema sólo desde finales del siglo XIX, con la tercera revolución tecnológica.

factores, eventos y circunstancias singulares. Estas capas son algunos de los aspectos más importantes de la historia de cualquier país y del mundo: cultura, política, personalidades dirigentes, guerras, descubrimientos de oro, catástrofes naturales, etc. Además, a causa del desarrollo desigual característico del capitalismo, las regularidades sólo son visibles en los países núcleo del sistema mundial, los cuales también cambian con el tiempo (como fue el caso cuando Estados Unidos le tomó la delantera a Inglaterra en el siglo XX).

No obstante eso, las regularidades dinámicas presentadas en este modelo pueden ser identificadas desde muchos ángulos. Cuando A. C. Pigou, el sucesor de Alfred Marshall en la universidad de Cambridge, observó los cambios en el modo de entender el dinero a lo largo de la primera mitad del siglo XX, estaba precisamente detectando la secuencia en cuestión:

[En los años que precedieron a la primera guerra mundial, estaba en uso corriente entre los economistas gran número de metáforas, de igual tendencia todas ellas, acerca del papel que desempeña la moneda: 'La moneda es el manto que cubre el cuerpo de la vida económica'; 'La moneda es un velo tras el cual se oculta la acción de las fuerzas económicas reales...'

...en 1925 y la gran crisis económica de 1939, ...la moneda, el velo pasivo, tomó la apariencia de un activo genio del mal; el manto se convirtió en una camisa de Nessus; la envoltura fue cosa explosiva. En resumen, la moneda, que antes era poca cosa o nada, lo era todo después...

Luego, con la segunda guerra mundial, el tono cambió de nuevo. El trabajo, el equipo y la organización recobraron su prestigio. La importancia de la moneda disminuyó hasta llegar a la insignificancia...²]

Sin embargo, este esfuerzo por identificar fenómenos recurrentes no está dirigido a simplificar la historia o a aplicar modelos mecanicistas a su infinita complejidad o a su carácter fundamentalmente impredecible. Está dirigido sobre todo a servir a dos propósitos útiles en relación con las políticas, el crecimiento y el desarrollo:

- 1] Ayudar a reconocer la dinámica y la naturaleza cambiante del capitalismo para evitar extrapolar cualquier periodo particular —sea éste bueno o malo— como el 'final de la historia', como la crisis final del capitalismo, o como la llegada del progreso indetenible o como cualquier "nueva" característica del sistema de ahí en adelante.

² Pigou (1949), pp. 18-19 [vc 1950, p.18].

2] Ayudar a mirar prospectivamente hacia la siguiente fase de la secuencia, a fin de diseñar a tiempo las acciones requeridas para aprovechar las oportunidades que estén por presentarse.

Según el modelo a desarrollar aquí, el logro de este segundo propósito exige una profunda comprensión de la naturaleza de la revolución tecnológica en proceso de despliegue. Una de las principales ideas a ser adelantadas es que cada una de estas revoluciones se acompaña de un conjunto de lineamientos de 'óptima práctica', bajo la forma de un *paradigma tecnoeconómico*, capaz de romper con los hábitos existentes en tecnología, economía, gerencia e instituciones sociales. La manera particular de aplicación de estos lineamientos, cada vez y en cada caso, está bajo la fuerte influencia de todas las capas mencionadas antes. Por lo tanto, los modos de crecimiento adoptados, si bien responden a estructuras formales similares, pueden ser profundamente distintos en cuanto a su contenido social.³

El mundo se encuentra nuevamente en una encrucijada en la cual se manifiesta fuertemente la necesidad de criterios explicativos y orientadores. El siglo XX dejó un turbulento legado porque después de haber cantado el advenimiento de una 'nueva economía' tiene ahora que desentrañar el significado de la implosión de la burbuja de internet y sus secuelas. Comprender algunas de las causas subyacentes de la estancación y de la crisis de la deuda de los años ochenta, así como las del milagro financiero de los noventa, puede ser útil para sobreponerse a las consecuencias del colapso iniciado en el año 2000. Se espera que el modelo a presentar contribuya a esa comprensión. Las posibilidades abiertas son profundamente distintas: puede ser un mundo para los pocos o un mundo para la mayoría. Quizás un debate fructífero acerca de las causas estructurales de ese cambio de condiciones pueda guiar hacia acciones positivas para la construcción de la próxima época de bonanza y para la maximización de sus beneficios sociales tanto en los países centrales como globalmente.

En este modelo juegan un papel central las revoluciones tecnológicas y el despliegue de su potencial. El siguiente capítulo está dedicado a la definición del término y a la identificación de las cinco revoluciones que han configurado los últimos dos siglos. También define dos conceptos asociados

³ La revolución de la producción en masa, cuyo potencial marcó la mayoría de las instituciones del siglo XX, fue el basamento del gobierno centralizado y de los patrones de consumo masivo de los cuatro grandes modos de crecimiento establecidos para obtener ventaja de esas tecnologías: las democracias keynesianas, el nazi-fascismo, el socialismo soviético, y el desarrollismo de Estado en el llamado 'Tercer Mundo', cada uno con amplias variantes específicas.

entre sí que juegan un importante papel en el modelo a presentarse. Uno es el de *paradigma tecnoeconómico*, como representación del 'sentido común' que guía la difusión de cada revolución. El otro es el de *grandes oleadas de desarrollo*, para designar el proceso de instalación y despliegue de cada revolución y su paradigma en el sistema económico y social.

2. REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS Y PARADIGMAS TECNOECONÓMICOS

[Una *revolución tecnológica* puede ser definida como un poderoso y visible conjunto de tecnologías, productos e industrias nuevas y dinámicas, capaces de sacudir los cimientos de la economía y de impulsar una oleada de desarrollo de largo plazo. Se trata de una constelación de innovaciones técnicas estrechamente interrelacionadas, la cual suele incluir un insumo¹ de bajo costo y uso generalizado —con frecuencia una fuente de energía, en otros casos un material crucial— además de nuevos e importantes productos, procesos, y una nueva infraestructura. Esta última usualmente hace avanzar la frontera, en cuanto a la velocidad y confiabilidad del transporte y las comunicaciones, a la vez que reduce drásticamente el costo de su utilización.]

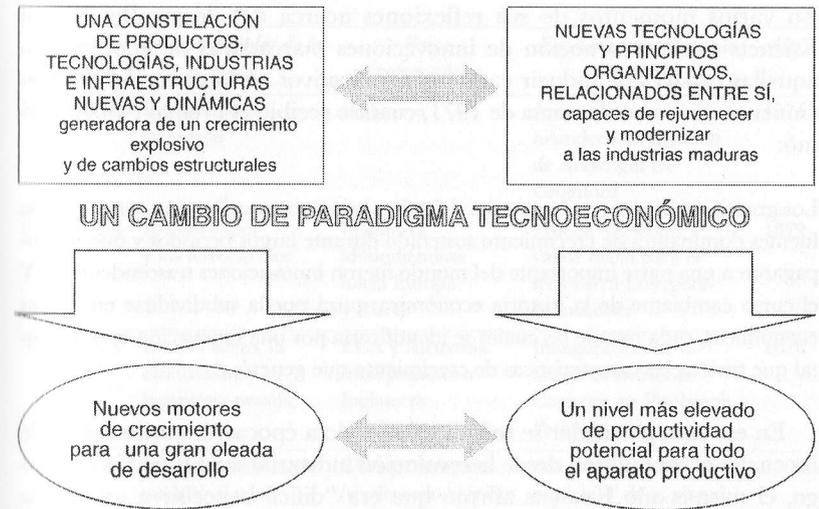
La irrupción de esas importantes constelaciones de industrias innovadoras en un lapso breve podría ser razón suficiente para llamarlas ‘revoluciones tecnológicas’. Sin embargo, lo que les garantiza semejante denominación para el propósito que nos ocupa es que cada uno de esos conjuntos de saltos tecnológicos se difunde mucho más allá de los confines de las industrias y sectores donde se desarrolló originalmente. Cada uno ofrece un conjunto de tecnologías genéricas y principios organizativos interrelacionados entre sí que hacen posible e inducen un salto cuántico de la productividad potencial para la inmensa mayoría de las actividades económicas (figura 2.1). Esto lleva cada vez a la modernización y regeneración del sistema productivo en su conjunto, de manera que el promedio general de eficiencia se eleva a nuevos niveles cada 50 años aproximadamente.

El principal vehículo de difusión de estas ‘herramientas’ genéricas —duras, blandas e ideológicas— cuyo conjunto modifica la frontera de óptima práctica para todos, es lo que la autora ha denominado un ‘paradigma tecnoeconómico’.² Se trata de la óptima práctica ‘económica’, porque cada

¹ El papel de este insumo de bajo costo se discute en Pérez (1983 y 1986).

² Pérez (1985), Freeman y Pérez (1988). El término ‘paradigma tecnológico’, como analogía kuhniana en el área del cambio técnico, fue usado por primera vez por Giovanni Dosi (1982) para referirse a la lógica conductora de la trayectoria de tecnologías, productos e industrias individuales. La autora (Pérez 1985) propuso usar el concepto con un sentido ‘tecnoeconómico’ y organizacional más incluyente, para representar una suerte de *metaparadigma*, el cual

FIGURA 2.1.
LA DOBLE NATURALEZA DE LAS REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS



FUENTE: Basado en Pérez (1998), p. 68.

transformación tecnológica trae consigo un importante cambio en la estructura de precios relativos, guiando a los agentes económicos hacia el uso intensivo de los nuevos insumos asociados a tecnologías más poderosas. Es un ‘paradigma’ en el sentido kuhniano,³ porque define el modelo y el terreno de las prácticas innovadoras ‘normales’, prometiendo el éxito a quienes sigan los principios encarnados en las industrias-núcleo de la revolución.

Cada revolución tecnológica, entonces, es una explosión de nuevos productos, industrias e infraestructuras la cual conduce gradualmente al surgimiento de un nuevo paradigma tecnoeconómico capaz de guiar a los empresarios, gerentes, innovadores, inversionistas y consumidores, tanto en sus decisiones individuales como en su interacción, durante todo el periodo de propagación de ese conjunto de tecnologías.

abarcaría los principios fundamentales compartidos por todas las trayectorias individuales de un periodo. Actualmente, sin embargo, el término paradigma está siendo ampliamente usado con un sentido poco preciso, para representar una ‘idea fija’ acerca de algo. Así, pues, la eventual revisión de la terminología podría ser prudente, para evitar mayores confusiones.

³ Kuhn (1962).

A. CINCO REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS
EN DOSCIENTOS AÑOS

En varios momentos de sus reflexiones acerca del desarrollo, Simon Kuznets exploró la noción de innovaciones marcadoras de época como aquellas capaces de inducir cambios significativos en la dirección del crecimiento. En su conferencia de 1971, cuando recibió el Premio Nobel, afirmó:

Los grandes adelantos en la marcha del saber humano, aquellos que constituyeron fuentes dominantes de crecimiento sostenido durante largos periodos y que se propagaron a una parte importante del mundo fueron innovaciones trascendentales. Y el curso cambiante de la historia económica quizá pueda subdividirse en épocas económicas, cada una de las cuales se identificaría por una innovación trascendental que tuviera las características de crecimiento que generó...⁴

En ese caso particular se refería sobre todo a épocas de varios siglos, de las cuales el capitalismo desde la revolución industrial sería una. Sin embargo, el mismo año Kuznets afirmó que era “difícil concebir a una etapa como algo estático, como parte de un proceso en el cual su surgimiento y desaparición final son los únicos cambios pertinentes e importantes”. Por lo tanto, contemplaba “secuencias *dentro* de cada etapa” como “parte indispensable de una teoría de etapas”.⁵

Lo que sostiene este libro es que el crecimiento económico desde finales del siglo XVIII ha atravesado por cinco etapas distintas, asociadas con cinco revoluciones tecnológicas sucesivas. Esto ha sido captado por la imaginación popular, la cual designa los periodos relevantes según las tecnologías más notables. Revolución industrial fue el nombre dado a la irrupción de la máquina y la inauguración de la era industrial. A mediados del siglo XIX era común que la gente se refiriera a su tiempo como la era del vapor y los ferrocarriles y, más adelante, cuando el acero reemplazó al hierro y la ciencia transformó a la industria, el nombre fue el de era del acero y la electricidad. Hacia 1920 se habló de la era del automóvil y la producción en masa, y desde la década de los setenta, las denominaciones era de la información o sociedad del conocimiento son cada vez más comunes. El cuadro 2.1. identifica las cinco revoluciones tecnológicas.

⁴ Kuznets (1971) en 1973 p. 166.

⁵ Kuznets (1973) p. 215 (cursivas en el original).

CUADRO 2.1.

CINCO REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS SUCESIVAS, 1770- 2000

<i>Revolución tecnológica</i>	<i>Nombre popular de la época</i>	<i>País o países-núcleo</i>	<i>Big-bang iniciador de la revolución</i>	<i>Año</i>
PRIMERA	Revolución industrial	Inglaterra	Apertura de la hilandería de algodón de Arkwright en Cromford	1771
SEGUNDA	Era del vapor y los ferrocarriles	Inglaterra (difundiéndose hacia Europa y EUA)	Prueba del motor a vapor <i>Rocket</i> para el ferrocarril Liverpool-Manchester	1829
TERCERA	Era del acero, la electricidad y la ingeniería pesada	EUA y Alemania sobrepasando a Inglaterra	Inauguración de la acería Bessemer de Carnegie en Pittsburgh, Pennsylvania	1875
CUARTA	Era del petróleo, el automóvil y la producción en masa	EUA y Alemania (rivalizando al inicio por el liderazgo mundial) Difusión hacia Europa	Salida del primer modelo-T de la planta Ford en Detroit, Michigan	1908
QUINTA	Era de la informática y las telecomunicaciones	EUA (difundiéndose hacia Europa y Asia)	Anuncio del microprocesador Intel en Santa Clara, California	1971

Cada una de estas constelaciones revolucionarias irrumpe en un país particular, y algunas veces sólo en una región particular. Lancashire fue con mucho la cuna y el símbolo de las industrias clave de la primera revolución industrial, de la misma manera que *Silicon Valley* lo ha sido para la revolución microelectrónica. De hecho, cada revolución tecnológica se desarrolla originalmente en un país-núcleo, el cual actúa como líder económico mundial durante esa etapa. Ahí se despliega completamente y de ahí se propaga a otros países. Las primeras dos revoluciones fueron lideradas por Gran Bretaña, la cuarta y la quinta actual por los Estados Unidos. La tercera se caracterizó por un complejo núcleo triple, formado por el viejo gigante —aún inmensamente poderoso— que era Gran Bretaña, y dos dinámicos retadores, Alemania y Estados Unidos (véase cuadro 2.1, columna 3). Esto es particularmente importante porque, aunque las oleadas de desarrollo que impulsan las revoluciones tecnológicas en el largo plazo son fenómenos

mundiales, la propagación del cambio ocurre en forma gradual y se dirige desde el núcleo hacia la periferia. Esto significa que la datación del despliegue de la revolución no es la misma para todos los países y que dicho despliegue puede demorarse hasta dos o tres décadas en algunos casos (véase capítulos 5 sección F y 6 sección B).

Antes de articularse como una constelación y de ser reconocida como tal, cada revolución tecnológica pasa por un periodo de gestación cuya duración puede ser muy larga, por lo cual las innovaciones que contribuyen a configurarla pueden haber existido durante mucho tiempo. Esto dificulta el establecimiento de una fecha de inicio para cada revolución y por ello lo que parecería más razonable es señalarla con un periodo amplio.⁶

No obstante, aquí se sugiere que para que una sociedad se enrumbe decididamente en la dirección de un nuevo conjunto de tecnologías, debe aparecer un 'atractor' muy visible, que simbolice todo el nuevo potencial y sea capaz de despertar la imaginación tecnológica y de negocios de una pléyade de pioneros. Este atractor no puede ser un mero salto técnico. Su enorme poder reside en que además sea barato o deje en claro que los negocios basados en las innovaciones asociadas con él tendrán un costo competitivo. Ese evento es lo que se define aquí como el *big-bang* de la revolución (cuadro 2.1, columna 4).

Cuando en 1771 se puso en funcionamiento la planta hiladora de algodón de Arkwright en el poblado de Cromford, Inglaterra, se vieron con claridad las rutas futuras hacia la mecanización de bajo costo en textiles de algodón y otras industrias. Sesenta años después, en 1829, el mundo de las ferrovías y la energía de vapor fue anunciado por el triunfo de la locomotora a vapor *Rocket* de Stephenson en el concurso para la línea del ferrocarril de Liverpool a Manchester. En 1875, Carnegie puso en funcionamiento la siderúrgica Bessemer de alta eficiencia, inaugurando con ella la era del acero. Por supuesto, estos eventos únicamente se pueden singularizar viéndolos con mirada retrospectiva, no sólo porque en su momento eran obvios exclusivamente para una pequeña comunidad de empresarios y técnicos, sino también porque su florecimiento o no en un país particular depende de un conjunto complejo de circunstancias. En el caso de la tercera revolución, por ejemplo, no estaba para nada claro alrededor de 1870 que Inglaterra se quedaría atrás (*falling behind*) y que serían los Estados Unidos y Alemania quienes explotarían hasta sus últimas consecuencias el potencial de generación de riqueza de esa revolución, lo cual les permitiría no sólo dar

⁶ Esto es lo que Chris Freeman y la autora hicieron en el artículo en Dosi *et al.* (1988). Fue también lo que Andrew Tylecote (1992) hizo en su libro sobre la materia.

un salto adelante en el desarrollo (*catching up*) sino también tomar la delantera (*forging ahead*).^{*} De hecho, podría argumentarse que haría falta identificar dos saltos tecnológicos, uno para cada país implicado en esa oleada. Otras opciones son quizás menos controversiales. El Ford Modelo-T luce como el atractor obvio de la era del petróleo, el automóvil y la producción en masa. Sin embargo, la datación precisa no es evidente. El verdadero Modelo-T producido en masa, fabricado en líneas rodantes de ensamblaje, sólo fue posible en 1913. Sin embargo, aun sin la línea de ensamblaje completa, el primer Modelo-T de 1908 era ya el prototipo claro de los productos estandarizados, idénticos, característicos del futuro patrón de producción. También prefiguraba los costos decrecientes que lo harían accesible a la masa de la población. Finalmente, el primer microprocesador de Intel en 1971, el primero y más sencillo de los 'computadores en un *chip*' puede verse como el nacimiento de la Era de la Informática, basada en el sorprendente poder de la microelectrónica barata.

Así, el empeño en determinar una fecha precisa para el *big-bang*⁷ de cada revolución no es más que un artificio útil para facilitar la comprensión de la cadena de procesos siguiente. El evento en cuestión, aunque pequeño en apariencia y relativamente aislado, es experimentado por los pioneros de su tiempo como el descubrimiento de un nuevo territorio, como un poderoso anuncio de lo que esas tecnologías pueden ofrecer en el futuro y como un llamado a los emprendedores a la acción.

En cambio, cualquier intento por indicar una fecha de finalización para cada revolución resultaría irrelevante. Es verdad que la sociedad puede interpretar ciertos eventos como heraldos del 'fin de una era', tal como ocurrió con la crisis energética de 1973 y el colapso del acuerdo de Bretton Woods sobre el dólar. Sin embargo, como se discutirá en el próximo capítulo, cada conjunto de tecnologías pasa por un difícil y prolongado periodo durante el cual se hace cada vez más visible el inminente agotamiento de su potencial. Este fenómeno es determinante para la interpretación aquí presentada. Al irrumpir una revolución tecnológica, la lógica y los efectos de su predecesora dominan aún y ejercen una poderosa resistencia. El cam-

^{*} Se trata del uso de los conocidos términos originales de Abramovitz (1986), '*catching up, forging ahead and falling behind*' cuya traducción al castellano no parece haber alcanzado un acuerdo. A lo largo del texto se incluirá por lo tanto el vocablo en inglés con la traducción más adecuada para cada contexto [T.].

⁷ Desafortunadamente esta metáfora cosmológica también fue escogida para señalar la desregulación financiera de los años ochenta. A pesar del riesgo de confusión, el término se mantuvo aquí por describir con mucha propiedad un evento puntual en el tiempo cuya explosión abre un universo expansivo de posibilidades.

bio generalizado hacia la 'lógica de lo nuevo' requiere dos o tres décadas turbulentas de transición, en las que la instalación exitosa de las capacidades nuevas y superiores acentúa la declinación de las viejas. Para el momento en que ese proceso concluye, de la revolución anterior apenas queda el rastro.

B. CINCO CONSTELACIONES DE NUEVAS INDUSTRIAS E INFRAESTRUCTURAS

Cada revolución tecnológica es resultado de la interdependencia sinérgica de un grupo de industrias con una o más redes de infraestructura. El cuadro 2.2 identifica las constelaciones que conforman cada una de las cinco revoluciones.

Las tecnologías y productos constituyentes de una revolución no son solamente aquellos que experimentan los mayores saltos. Con frecuencia la articulación de las tecnologías nuevas con algunas de las viejas es lo que genera el potencial revolucionario. De hecho, muchos de los productos e industrias que aparecen juntos en la nueva constelación habían existido ya durante algún tiempo, bien en un papel económico relativamente menor o como complemento importante de las industrias predominantes. Éste fue el caso del carbón y el hierro, los cuales después de una larga historia de uso antes y durante la Revolución industrial se transformaron, gracias a la máquina de vapor, en las industrias motrices de la era del ferrocarril. Ya desde la década de 1880, el petróleo había venido siendo desarrollado para múltiples usos por una industria sumamente activa; algo similar se puede decir acerca del motor de combustión interna y del automóvil, el cual fue producido durante bastante tiempo como vehículo de lujo. Pero es la conjunción de los tres con la producción en masa lo que los hace conformar una verdadera revolución. La electrónica existía ya desde comienzos de siglo y en cierta manera fue decisiva en los años veinte; los transistores, semiconductores, computadoras y controles eran ya tecnologías importantes para los años sesenta y aun antes. Sin embargo, es sólo con el microprocesador en 1971, cuando el nuevo y vasto potencial de la microelectrónica *barata* se hace visible, la noción de 'una computadora en un *chip*' enciende la imaginación, y todas las tecnologías relacionadas con la revolución informática se reúnen en una poderosa constelación.

Con frecuencia se ha sugerido que la biotecnología, la bioelectrónica y la nanotecnología podrían conformar la próxima revolución tecnológica.

CUADRO 2.2

LAS INDUSTRIAS E INFRAESTRUCTURAS DE CADA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

<i>Revolución tecnológica</i> <i>País-núcleo</i>	<i>Nuevas tecnologías e industrias nuevas</i> <i>o redefinidas</i>	<i>Infraestructuras nuevas o redefinidas</i>
PRIMERA: Desde 1771 La Revolución industrial. Inglaterra	Mecanización de la industria del algodón Hierro forjado Maquinaria	Canales y vías fluviales Carreteras con peaje Energía hidráulica (con molinos de agua muy mejorados)
SEGUNDA: Desde 1829 Era del vapor y los ferrocarriles. Inglaterra (difundiéndose hacia Europa y EUA)	Máquinas de vapor y maquinaria (de hierro, movida con carbón) Hierro y minería del carbón (ahora con un rol central en el crecimiento)* Construcción de ferrocarriles Producción de locomotoras y vagones Energía de vapor para numerosas industrias (incluyendo la textil)	Ferrocarriles (uso del motor a vapor) Servicio postal estandarizado de plena cobertura Telégrafo (sobre todo nacional, a lo largo de las líneas de ferrocarril) Grandes puertos, grandes depósitos, y grandes barcos para la navegación mundial Gas urbano
TERCERA: Desde 1875 Era del acero, la electricidad y la ingeniería pesada. EUA y Alemania sobrepassando a Inglaterra	Acero barato (especialmente Bessemer) Pleno desarrollo del motor a vapor para barcos de acero Ingeniería pesada química y civil Industria de equipos eléctricos Cobre y cables Alimentos enlatados y embotellados Papel y empaques	Navegación mundial en veloces barcos de acero (uso del Canal de Suez) Redes transnacionales de ferrocarril (uso de acero barato para la fabricación de rieles y pernos de tamaño estándar) Grandes puentes y túneles Telégrafo mundial Teléfono (sobre todo nacional) Redes eléctricas (para iluminación y uso industrial)
CUARTA Desde 1908 Era del petróleo, el automóvil y la producción en masa. EUA (con Alemania rivalizando por el liderazgo mundial) Difusión hacia Europa	Producción en masa de automóviles Petróleo barato y sus derivados Petroquímica (sintéticos) Motor de combustión interna para automóviles, transporte de carga, tractores, aviones, tanques de guerra y generación eléctrica Electrodomésticos Alimentos refrigerados y congelados	Redes de caminos, autopistas, puertos y aeropuertos Redes de oleoductos Electricidad de plena cobertura (industrial y doméstica) Telecomunicación analógica mundial (para teléfono, télex y cablegramas) alámbrica e inalámbrica
QUINTA: Era de la informática y las telecomunicaciones. EUA (difundiéndose hacia Europa y Asia)	La revolución de la información: Microelectrónica barata Computadoras, software Telecomunicaciones Instrumentos de control Desarrollo por computadora de biotecnología y nuevos materiales	Comunicación digital mundial (cable, fibra óptica, radio y satélite) Internet/Correo y otros servicios electrónicos Redes eléctricas de fuentes múltiples y de uso flexible Transporte físico de alta velocidad (por tierra, mar y aire)

* Estas industrias tradicionales adquieren un nuevo papel y dinamismo cuando sirven de materia prima y combustible para los ferrocarriles y la maquinaria del mundo.

Ciertamente, en la actualidad estas tecnologías se están desarrollando intensamente dentro de la lógica de la sociedad informática. Parecerían estar en una etapa equivalente a la de la industria petrolera y del automóvil a finales del siglo XIX o a la electrónica en los años cuarenta o cincuenta del siglo XX, con la televisión de tubos, el radar y los equipos analógicos de control y de telecomunicaciones. La ruptura clave que podría hacerlas baratas y permitirles movilizar las fuerzas de la vida y el poder contenido en lo infinitamente pequeño es impredecible aún. Aparte de las cuestiones éticas, cuya influencia tenderá a moldear el ritmo y la dirección de la búsqueda, ese salto tendrá mayor probabilidad de ocurrir cuando la actual revolución informática se acerque al límite de su potencial de generación de riqueza, como se discutirá en el capítulo 3.

Así, cada revolución combina productos e industrias verdaderamente nuevos con otros preexistentes, redefinidos. Cuando éstos son articulados por saltos tecnológicos críticos en un conjunto de oportunidades de negocio poderosas, interactivas, coherentes y capaces de influir en toda la economía, su impacto agregado puede hacerse verdaderamente ubicuo.

Las redes de infraestructura existentes pueden extender su alcance y con ello marcar diferencias cualitativas importantes. Los ferrocarriles de *hierro* de la segunda revolución tecnológica llevaron hacia redes *nacionales* de transporte y telégrafo. Los ferrocarriles de *acero*, junto con los vapores y el telégrafo mundial de la tercera revolución, crearon *redes* transcontinentales y facilitaron el funcionamiento de verdaderos mercados internacionales. En lo concerniente a la electricidad, el montaje de las redes eléctricas básicas convirtió a la industria de equipamiento eléctrico en uno de los principales motores del crecimiento en la tercera revolución; mientras que, durante la cuarta, fue su condición de servicio público *universal*, en toda empresa y en todo hogar, lo que la convirtió en una infraestructura crítica para la difusión de la revolución de la producción en masa.

Finalmente, es importante notar que cada constelación contiene muchos sistemas tecnológicos, desarrollados a diversos ritmos y en una secuencia a menudo dependiente de los lazos de retroalimentación entre ellos. La revolución informática comienza con la explosión de los *chips* y el *hardware*, cuyo crecimiento condujo al florecimiento del *software* y los equipamientos de telecomunicaciones, seguidos por la explosión de internet y así sucesivamente. Cada uno se fue beneficiando de los avances técnicos y de mercado logrados por los otros, a la vez que favorecía el mayor desarrollo de aquéllos. Lo mismo pudo verse en el despliegue del potencial de la tercera revolución, cuando el impacto del acero barato se dejó sentir primero en las vías férreas, los barcos y la ingeniería civil, y más tarde en el equipamiento de

las nuevas industrias química y eléctrica. La importancia particular de algunos de estos sistemas tecnológicos y su aparición secuencial hace que luzcan como revoluciones separadas y no como lo que son, sistemas interdependientes bajo un paraguas común más amplio.

C. CINCO PARADIGMAS TECNOECONÓMICOS; CINCO CAMBIOS EN EL SENTIDO COMÚN ORGANIZATIVO

La irrupción de un conjunto de nuevas industrias poderosas y dinámicas acompañadas por una infraestructura facilitadora, obviamente va a tener enormes consecuencias tanto en la estructura industrial como en las direcciones preferenciales de la inversión durante el periodo. Pero, como se indicó antes, los viejos modelos organizativos no pueden aprovechar todas las ventajas del nuevo potencial. Las nuevas posibilidades y sus requerimientos también desatan una profunda transformación en el 'modo de hacer las cosas' en toda la economía y más allá. Por lo tanto, cada revolución tecnológica ineluctablemente induce un cambio de paradigma.

Un paradigma tecnoeconómico es, entonces, un modelo de óptima práctica constituido por un conjunto de principios tecnológicos y organizativos, genéricos y ubicuos, el cual representa la forma más efectiva de aplicar la revolución tecnológica y de usarla para modernizar y rejuvenecer el resto de la economía. Cuando su adopción se generaliza, estos principios se convierten en la base del sentido común para la organización de cualquier actividad y la reestructuración de cualquier institución.

El surgimiento de un nuevo paradigma tecnoeconómico afecta las conductas relacionadas con la innovación y la inversión de tal manera que puede compararse a una fiebre del oro o al descubrimiento de un nuevo y vasto territorio. Se trata de un amplio espacio de diseño, productos y beneficios,⁸ cuya apertura enciende rápidamente el fuego de la imaginación de ingenieros, empresarios e inversionistas, quienes a través de sus múltiples experimentos con el nuevo potencial creador de riqueza, van generando las prácticas exitosas y las conductas que gradualmente terminan definiendo la nueva frontera de óptima práctica.

⁸ El concepto de 'espacio de diseño' fue propuesto por Stankiewicz (2000) para referirse a las tecnologías individuales de amplio espectro de posibilidades.

La acción de estos agentes pioneros abre el camino, permitiendo el surgimiento de externalidades y condicionamientos crecientes —incluyendo la experiencia en la producción y el entrenamiento de los consumidores— los cuales les facilitan a otros seguir su ejemplo. Los éxitos de aquéllos se convierten en una poderosa señal en dirección a las ventanas de oportunidad que ofrecen mayores ganancias. Es así como el nuevo paradigma⁹ llega a convertirse en el nuevo ‘sentido común’ general, el cual termina por enraizarse en la práctica social, la legislación y otros componentes del marco institucional, facilitando las innovaciones compatibles y obstaculizando las incompatibles. Este mecanismo de inclusión-exclusión forma parte de la explicación del cambio técnico por revoluciones, a ser discutida en el capítulo siguiente.

El concepto de paradigma tecnoeconómico es mucho más elusivo y difícil de aprehender que el de revolución tecnológica. Es, sin embargo, tan poderoso como aquél, si no más, en términos de la dirección de la gran transformación que sigue al salto tecnológico de una revolución. Su análisis y descripción, en cada caso particular, es crucial para identificar dos rasgos importantes de la dirección del cambio en términos de discontinuidades organizativas: el primero es el conjunto de principios que contribuye a la creciente comprensión mutua entre los actores contemporáneos en sus decisiones e interacciones; el segundo es el isomorfismo en los cambios transmitidos de una institución a otra, comenzando con las empresas.]

La tarea es exigente. Dado que un paradigma tecnoeconómico es una suerte de mapa mental de las opciones de óptima práctica, su reconstrucción se hace, en parte, comprendiendo los aspectos de aplicabilidad universal de las tecnologías genéricas mismas y, en parte, mediante la identificación de los principios del sentido común general que penetran la cultura del periodo. Las tecnologías genéricas se identifican con facilidad, por supuesto: mecanización, energía de vapor, electricidad, producción en masa, TIC (tecnologías de información y comunicación), etc. Los principios y líneas maestras son menos obvios, aunque al menos en la actual era informática miles de consultores han diseñado tablas del tipo ‘antes y ahora’ para indicar la dirección precisa del cambio en la mejor práctica competitiva. Algo similar ocurrió con el tercer paradigma, cuando las sociedades de ingenieros mecánicos desarrollaron la óptima práctica estableciendo estándares y difundiéndolos entre los industriales.¹⁰ En aquel

⁹ El término ‘paradigma’ será usado en algunos casos, a todo lo largo del texto, como forma abreviada de ‘paradigma tecnoeconómico’.

¹⁰ Chandler (1977), pp. 281-283.

momento, se enseñaron versiones modificadas de las primeras ideas de Taylor. Décadas más tarde, con el paradigma de la producción en masa, la versión del taylorismo aplicada a la línea de ensamblaje, llamada ‘gerencia científica’ (en su forma ‘fordista’),¹¹ se enseñó y aplicó en todo el espectro industrial.

La tarea se torna más difícil cuanto más lejos se vaya en dirección del pasado, porque en la vida real un paradigma es sobre todo un modelo imitativo, construido con principios implícitos pronto convertidos en ‘talento’ inconsciente y más tarde subsumidos en reglas prácticas.¹² Así, la identificación explícita de esas líneas maestras puede no encontrarse con facilidad en los registros históricos. Sin embargo, pueden abstraerse de la lógica de las tecnologías genéricas del periodo así como de la conducta de las empresas, tal como fueran descritas en los registros contemporáneos y en los análisis históricos. Un buen ejemplo de esto último es el libro *The visible hand* de Chandler,¹³ en el cual se desarrolla una descripción ampliamente documentada de la cambiante estructura y práctica de la empresa, desde la firma personal de los primeros tiempos hasta la corporación gerencial moderna.

Sin proponerse ser exhaustivas, las listas del cuadro 2.3 ilustran e indican el tipo de lineamientos básicos de un paradigma tecnoeconómico.

El lector notará que los principios listados no se limitan estrictamente a la organización de la producción sino que se extienden hasta incluir la estructura de las empresas, las formas de propagación geográfica, la estructura del espacio geopolítico y social, y algo que se aproxima al ‘ideal’ del periodo. Podríamos entonces hablar de un *paradigma organizativo*. Eventualmente, el marco socioinstitucional regido por esos principios básicos permitirá el total despliegue de esa revolución tecnológica, adecuándose a ella. Por lo tanto, los mapas mentales que guiarán la eficiencia de las actividades económicas y de las no-económicas serán congruentes entre sí.

Como ejemplo, se puede observar el proceso de cambio organizativo producido por la revolución informática. Hasta 1980 aproximadamente, la

¹¹ El término ‘fordismo’ se ha popularizado para referirse al modelo de organización de la producción en masa. Sin embargo, el sentido del concepto propuesto por la escuela francesa de la ‘*Regulation*’ va más allá de las formas de organización o normas de producción para abarcar también el patrón (o modo) de consumo y el contexto institucional que los facilita. Véase Aglietta (1988); Coriat (1978).

¹² Esto es análogo a la manera como Kuhn vio el establecimiento de los principios que guían la ‘ciencia normal’. Kuhn (1962) cap. II.

¹³ Chandler (1977).

CUADRO 2.3
UN PARADIGMA TECNOECONÓMICO DIFERENTE PARA CADA REVOLUCIÓN
TECNOLÓGICA, DESDE 1770 HASTA MÁS ALLÁ DEL 2000

<i>Revolución tecnológica</i> <i>País-núcleo</i>	<i>Paradigma tecnoeconómico</i> <i>Principios de 'sentido común' para la innovación</i>
PRIMERA: La 'Revolución industrial'; Inglaterra	Producción en fábricas Mecanización Productividad/Medición y ahorro de tiempo Fluidez de movimientos (como meta ideal para máquinas movidas por energía hidráulica y para el transporte por canales y otras vías acuáticas) Redes locales
SEGUNDA: Era del vapor y los ferrocarriles; Inglaterra (difundiéndose hacia Europa y EUA)	Economías de aglomeración/Ciudades industriales/Mercados nacionales Centros de poder con redes nacionales La gran escala como progreso Partes estandarizadas/Máquinas para fabricar máquinas Energía donde se necesite (vapor) Movimiento interdependiente (de máquinas y medios de transporte)
TERCERA: Era del acero, la electricidad y la ingeniería pesada; EUA y Alemania sobrepasando a Inglaterra	Estructuras gigantescas (acero) Economías de escala en planta/Integración vertical Distribución de energía para la industria (electricidad) La ciencia como fuerza productiva Redes e imperios mundiales (incluyendo cárteles) Estandarización universal Contabilidad de costos para control y eficiencia Grandes escalas para dominar el mercado mundial/ Lo 'pequeño' es exitoso si es local
CUARTA: Era del petróleo, el automóvil y la producción en masa. EUA (con Alemania rivalizando por el liderazgo mundial) Difusión hacia Europa	Producción en masa/Mercados masivos Economías de escala (volumen de producción y mercado)/Integración horizontal Estandarización de productos Uso intensivo de la energía (con base en el petróleo) Materiales sintéticos Especialización funcional/Pirámides jerárquicas Centralización/Centros metropolitanos-suburbanización Poderes nacionales, acuerdos y confrontaciones mundiales
QUINTA: Era de la informática y las telecomunicaciones EUA (difundiéndose hacia Europa y Asia)	Uso intensivo de la información (con base en la microelectrónica TIC) Integración descentralizada/Estructuras en red El conocimiento como capital/Valor añadido intangible Heterogeneidad, diversidad, adaptabilidad Segmentación de mercados/Proliferación de nichos Economías de cobertura y de especialización combinadas con escala Globalización/Interacción entre lo global y lo local Cooperación hacia adentro y hacia afuera/ 'Clusters' Contacto y acción instantáneas/Comunicación global instantánea

organización prevaleciente que servía como marco óptimo al despliegue de la revolución de la producción en masa era la pirámide jerárquica centralizada y compartimentada por funciones. Esta estructura fue aplicada en la economía por casi todas las corporaciones, pero también fue reproducida en cualquier otra organización que confrontara una tarea vasta y compleja como el gobierno, los hospitales, las universidades, los sindicatos y los partidos políticos, en el mundo occidental y en el sistema soviético, en los países desarrollados y en los subdesarrollados. Con la llegada de las computadoras e internet, esas grandes pirámides se revelaron rígidas y difíciles de manejar. En su lugar, la estructura en redes descentralizadas y flexibles, con un núcleo estratégico y un sistema de comunicación rápido, mostró su capacidad para adecuarse a organizaciones mucho más grandes y complejas al igual que a organizaciones más pequeñas.¹⁴ Su sentido común, es decir, la lógica que facilita su funcionamiento fluido, reforzado por la naturaleza y capacidades de las tecnologías informáticas disponibles, se ha estado difundiendo en forma gradual y eventualmente abarcará una muy amplia gama de instituciones donde probablemente estarán incluidas las del gobierno tanto global como local.¹⁵

Es importante notar que el paradigma tecnoeconómico sirve a la vez como impulsor de la difusión y como fuerza ralentizadora. Es un impulsor porque proporciona un modelo que puede ser seguido por todos, pero su configuración lleva tiempo —alrededor de una década o más después del *big-bang*— y, dado que cada revolución es por definición diferente de las anteriores, la sociedad tendrá que aprender los nuevos principios. Pero este aprendizaje debe sobreponerse a las fuerzas de la inercia producto de los éxitos del pasado con el paradigma anterior, cuya predominancia es el principal obstáculo para la difusión de la siguiente revolución. Estas fuerzas enfrentadas, estas batallas entre lo nuevo y lo viejo, están en el centro de toda la interpretación aquí presentada.

Por lo tanto, las transformaciones inducidas por las revoluciones tecnológicas van mucho más allá de la economía; penetran la esfera de lo político e incluso las ideologías.¹⁶ Estas, a su vez, determinarán la dirección

¹⁴ Castells (vol. 1, 1996) estudió en profundidad y amplitud las múltiples consecuencias en todas las esferas de la vida de este cambio a organizaciones en red. Véase también en el vol. 2 (1997) cap. 1 y Conclusión; y el vol. 3 (1998), cap. 5.

¹⁵ Una interesante comparación de las características de los paradigmas liderados por Gran Bretaña durante el siglo XIX y de los del siglo XX, bajo liderazgo estadounidense, se encuentra en Von-Tunzelmann (1977).

¹⁶ Para un panorama completo de las múltiples implicaciones sociales, culturales, econó-

preferente de despliegue del potencial. Esta influencia mutua entre la tecnología y la política no ocurre por azar, sino por necesidad. Esto se discutirá en el capítulo 3, donde se muestra cómo el marco socioinstitucional tiene que cambiar para adaptarse a las transformaciones que ocurren en la esfera tecnoeconómica cada vez que una revolución tecnológica irrumpe en la escena.

D. REVOLUCIONES, PARADIGMAS Y GRANDES OLEADAS DE DESARROLLO

La visión tradicional del progreso como desarrollo lineal y acumulativo es tan inadecuada como la idea de que el cambio tecnológico es continuo y aleatorio. Ambos procesos aparecen como de crecimiento constante cuando se les observa en el muy largo plazo, ignorando las grandes y pequeñas variaciones. Para algunos propósitos esto es lo adecuado. Sin embargo, una vez que se reconoce el impacto de las sucesivas revoluciones tecnológicas, y se mueve el foco en dirección del complejo conjunto de cambios interrelacionados implicado por ellas, emerge una comprensión muy diferente. El desarrollo es un proceso escalonado con enormes oleadas cada cinco o seis décadas, cada una de las cuales conlleva profundos cambios estructurales dentro de la economía y en casi toda la sociedad.

[Una oleada de desarrollo se define aquí como el proceso mediante el cual una revolución tecnológica y su paradigma se propagan por toda la economía, trayendo consigo cambios estructurales en la producción, distribución, comunicación y consumo, así como cambios cualitativos profundos en la sociedad.] El proceso evoluciona desde pequeños brotes, en sectores y regiones geográficas restringidas, hasta terminar abarcando la mayor parte de las actividades del país o países-núcleo, difundiéndose hacia periferias cada vez más lejanas, según la capacidad de la infraestructura de transporte y comunicaciones.

Así, cada oleada representa un nuevo estadio en la profundización del capitalismo en la vida de la gente y en su expansión por todo el planeta. Cada revolución incorpora nuevos aspectos de la vida y de las actividades productivas a los mecanismos del mercado; cada oleada amplía el grupo

micas y políticas de un cambio de paradigma en todas las áreas de la vida, el lector puede referirse al vasto análisis de la actual 'era de la información' llevada a cabo por Manuel Castells (1996, 1997 y 1998).

de países que conforma el centro avanzado del sistema y cada una extiende la penetración del capitalismo a otros rincones, dentro de cada país y de un país a otro.

Además, una revolución tecnológica, gracias al paradigma configurado en su difusión, establece un nivel nuevo y superior de productividad y de calidad promedio, alcanzable en todo el ámbito del aparato productivo. La oleada de desarrollo resultante de la completa asimilación social de su potencial, termina por empujar a las economías de todos los países centrales hacia ese nivel más alto de productividad.

Esencialmente lo que esto significa es que para que las fuerzas generadoras de riqueza de cada nuevo paradigma alcancen su máximo esplendor, se requieren cambios inmensos y en correspondencia en los patrones de inversión, en los modelos de organización de máxima eficiencia, en los mapas mentales de todos los actores sociales y en las instituciones que regulan y habilitan los procesos sociales y económicos. Significa también que el progreso puede requerir cambios de rumbo significativos; que la acumulación puede requerir 'desacumulación' de tiempo en tiempo; que lo instalado puede requerir ser 'desinstalado', que el avance continuo por ciertos caminos puede llevar a callejones sin salida, mientras otros ya se han incorporado a las nuevas caravanas de cambio; que aprender lo nuevo puede requerir desaprender mucho de lo viejo.

Por otra parte, estos cambios de dirección pueden ofrecer periodos de enorme ventaja para los recién llegados. Un cambio de paradigma abre las ventanas de oportunidad necesarias para adelantarse (*forging ahead*) y para dar alcance (*catching up*) en la carrera del desarrollo, mientras que los punteros están aprendiendo también.¹⁷ Éstos son asimismo tiempos en los cuales el exceso de inercia puede tener como consecuencia el retroceso (*falling behind*). Por lo tanto, la capacidad para llevar a cabo cambios estructurales en la dirección más ventajosa es una habilidad societal muy valiosa para alcanzar el desarrollo y para, después, preservar e incrementar la ventaja a medida que van cambiando el contexto y las oportunidades.

El papel del capital financiero es determinante para habilitar los inmensos cambios de rumbo en las inversiones requeridas en cada revolución. La discusión de cómo ocurre ese proceso, junto con sus contradictorias consecuencias, será el objeto de la segunda parte de este libro.

¹⁷ Pérez y Soete (1988).

3. EL MOLDEO SOCIAL DE LAS REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS

Si las revoluciones tecnológicas permanecieran como fuerzas de cambio en la esfera económica y la sociedad se adaptara en forma fácil y gradual a los nuevos productos y a los nuevos medios de transporte y comunicaciones, todo ese proceso podría describirse simplemente como la forma que toma el 'progreso', y la tecnología podría ser tratada como una variable exógena. Tales cambios, sin embargo, distan mucho de ocurrir sin tropiezos. Cada revolución tecnológica sacude y moldea profundamente a las sociedades y, a su vez, el potencial tecnológico es moldeado y orientado por efecto de las intensas confrontaciones y compromisos sociales, políticos e ideológicos. Es precisamente este carácter sistémico lo que hace de la complejidad del cambio técnico un tema tan crítico para comprender el desarrollo capitalista.

A. DE LAS INNOVACIONES TECNOLÓGICAS A LAS REVOLUCIONES INSTITUCIONALES

La noción de 'destrucción creadora' muy influida por Nietzsche y concebida como la naturaleza del progreso a través de la innovación, fue un elemento importante en la *Zeitgeist** europea del siglo XX. Siguiendo el espíritu del Renacimiento, se la vio como una noble y placentera obligación, propia de la humanidad, de inventar; de romper la inercia que amenazaba con encadenar y esclavizar a la sociedad en el culto del *statu quo*. Werner Sombart, el economista alemán, fue el primero en expresar la idea del 'espíritu creativo de destrucción' en la economía, en su obra *Krieg und Kapitalismus*.²

Hoy en día se suele acreditar a Schumpeter la noción de 'destrucción creadora' como el modo de describir la naturaleza contradictoria de las revoluciones tecnológicas.³ Más aún, Schumpeter entendió la innovación

en nuevos productos, nuevos procesos o simplemente en nuevas maneras de hacer cosas, como la esencia misma del motor de crecimiento capitalista. Veía el capitalismo como un "proceso de mutación industrial... que revoluciona incesantemente la estructura económica *desde dentro*, destruyendo ininterrumpidamente lo antiguo y creando continuamente elementos nuevos".⁴

Debido a la doble naturaleza del proceso de destrucción creadora, Schumpeter consideró la innovación no sólo como la fuerza impulsora del progreso, sino también como la causa de las recesiones recurrentes y, en general, de la conducta cíclica de los índices de crecimiento y de otras magnitudes económicas. A pesar de estar consciente de los factores sociales y económicos, Schumpeter permaneció muy atado al mercado y sus fuerzas de equilibrio como factor determinante, y a la economía como la esfera donde se absorbía la transformación. Tratárase de los ciclos de 3 a 5 años de Kitchin, de los de 7 a 11 años de Juglar, o de las ondas largas de Kondratieff⁵ de 45 a 60 años de duración, todos ellos constituían, según Schumpeter, desviaciones del equilibrio causadas por explosiones innovadoras. Al definir los ciclos más prolongados, los de 45 a 60 años u ondas largas, se refirió a cada uno de ellos como la irrupción de "una 'revolución industrial' y la asimilación de sus efectos...".⁶

Quizás pueda justificarse una explicación, en términos de fuerzas puramente económicas, para los ciclos más cortos de 'inventario' e 'inversión'. Pero, en el caso de los fenómenos de largo plazo, conocidos como 'ondas largas', ese tipo de explicación es claramente inaceptable. Ésos son procesos mucho más complejos que abarcan a toda la sociedad.⁷ De hecho en este libro se optó por una denominación diferente a fin de que tanto el concepto como el objeto mismo se distanciasen en forma tajante de cualquier definición restringida a lo económico. El concepto de 'grandes oleadas de desarrollo' se introdujo ya en el capítulo anterior para representar el turbulento proceso de difusión de cada revolución tecnológica, de aproximadamente medio siglo de duración. Con ello se trata de quitar el acento de los síntomas para ponerlo en las causas subyacentes e intentar comprenderlas.⁸

⁴ Schumpeter (1942:1975) cap. VII, p. 84 [vc 1961, p. 121], cursivas en el original.

⁵ Kondratieff (1926).

⁶ Schumpeter (1942: 1975), p. 67 [vc 1971, p. 102], cursivas en el original.

⁷ Pérez (1983), p. 359.

⁸ Desde 1983 y hasta ahora, la autora había usado el término 'ondas largas', aunque siempre intentando marcar la distancia. El actual cambio de denominación resalta la diferencia en

* Espíritu de la época.

¹ Para una discusión de esta tradición, véase Reinert y Daastøl (1997).

² Sombart (1913) p. 207 [vc 1979].

³ Schumpeter (1942: 1975) cap. VII, p. 83.

Estos dificultosos procesos de transformación de largo plazo forman parte de la naturaleza del sistema capitalista e involucran interacciones intensas entre la economía y las instituciones sociales, así como cambios profundos en ambas. Cada revolución tecnológica es percibida como una conmoción, y su difusión encuentra poderosa resistencia tanto en las instituciones establecidas como en la gente misma. En consecuencia, al comienzo la manifestación de su enorme potencial de generación de riqueza tiene efectos sociales más bien caóticos y contradictorios y termina exigiendo una significativa recomposición institucional. Ésta pasará por cambios en el marco regulatorio capaces de afectar a todos los mercados y actividades económicas, por el rediseño de una importante variedad de instituciones, empezando por el gobierno, incluyendo la regulación financiera, y llegando hasta la educación y a modificaciones en los comportamientos sociales y en las ideas. Es gracias a esa reestructuración del contexto para adecuarse al potencial de la revolución como es posible alcanzar la 'época de bonanza' en cada ocasión.

El auge victoriano a mediados del siglo XIX se materializó dos décadas después que la máquina de vapor *Rockel* mostrara su poder para mover la locomotora del ferrocarril de Liverpool a Manchester, y luego de que la "manía ferrocarrilera", culminada en un pánico financiero, hubiese propiciado la instalación de una red básica de vías férreas. Esa prosperidad se basó en una serie de instituciones que ordenaron los mercados nacionales y regularon la banca y las finanzas a escala del país. Todo esto facilitó la expansión continua del sistema ferroviario y la red de fábricas movidas por máquinas de vapor en las crecientes ciudades industriales.

Dos décadas después del *big-bang* de la era del acero, de nuevo fue necesario introducir cambios profundos. La *belle époque* basada en el despliegue del pleno potencial del tercer paradigma, con mercados verdaderamente internacionales, requirió regulaciones de carácter mundial (desde la aceptación general del patrón oro con base en Inglaterra, hasta acuerdos mundiales sobre medidas, patentes, seguros, transporte, comunicaciones, y prác-

el concepto. Kondratieff, Schumpeter y la mayoría de sus seguidores midieron cada ola entre punto mínimo y punto mínimo de crecimiento, lo cual en la práctica significa encerrar juntas la segunda mitad de una revolución y la primera mitad de la siguiente. Aquí se identifican las oleadas —aunque no se miden— de la cresta de la una a la cresta —o punto máximo— de la siguiente, cubriendo el ciclo de vida completo de cada revolución. Ésta es la razón por la cual el presente modelo sigue el despliegue de cada oleada y las transformaciones estructurales que éstas inducen en toda la economía y la sociedad, en lugar de examinar las estadísticas de crecimiento.

ticas navieras), mientras que los cambios estructurales en la producción, incluyendo el crecimiento de importantes industrias de base científica, tuvieron que ser facilitados por reformas educativas profundas y legislación social.

El desencadenamiento de la 'época de bonanza' asentada en las tecnologías de producción en masa, propias del cuarto paradigma y difundidas desde las dos primeras décadas del siglo XX, requería de instituciones que facilitaran el consumo masivo de la gente o de los gobiernos. Sólo en un contexto semejante podía alcanzarse el verdadero florecimiento. En esa época fueron establecidos el fascismo, el socialismo y las democracias keynesianas como modelos sociopolíticos distintos, todos impulsando procesos de crecimiento organizados con base en la producción y consumo masivos.⁹ La tendencia de todos ellos fue comenzar por la homogeneización de los patrones de consumo dentro de los mercados nacionales y luego utilizarlos como plataforma para la expansión internacional.

La creación del contexto apropiado para el desarrollo armónico asentado en el potencial de la revolución informática, podría requerir de una red global de instituciones, involucrando niveles regulatorios supranacionales, nacionales, y locales.

[Por lo tanto, cada revolución tecnológica trae consigo, no sólo la reorganización de la estructura productiva sino, eventualmente, también una transformación tan profunda de las instituciones gubernamentales, de la sociedad, e incluso de la ideología y la cultura que se puede hablar de la construcción de *modos de crecimiento* sucesivos y distintos en la historia del capitalismo.¹⁰ El proceso de destrucción creadora ocurre, entonces, cada 50 o 60 años tanto en la economía como en el ámbito sociopolítico.¹¹]

Estos cambios suelen ser forzados por una combinación de presiones provenientes primero de los requerimientos de una economía en rápida

⁹ Estos ejemplos resaltan la variedad de posibilidades en cada paradigma y la importancia de los procesos sociopolíticos para definir el modo específico de crecimiento.

¹⁰ Este concepto se asemeja al de *modo de producción* propuesto por Marx (Marx y Engels, 1847) para referirse a los grandes cambios históricos de largo plazo. El *modo de crecimiento* tiene un sentido mucho más restringido y se refiere a los cambios institucionales de carácter sistémico dentro del capitalismo.

¹¹ Empezando por Daniel Bell (1973), pasando por Toffler (1980) y llegando a Castells (1996, 1997 y 1998) muchas voces han sostenido que los cambios actuales llevan a una sociedad distinta de carácter 'post-industrial'. Esto parece ocurrir con cada revolución tecnológica (por algo se les llama 'revoluciones!'). Para quienes la experimentan, cada conmoción transformadora parece una discontinuidad fundamental. En esta ocasión se les podría reconocer la razón a quienes sostienen la tesis de la ruptura profunda, dada la creciente proporción de intangibles en la producción y el comercio

transformación y, más tarde, de las consecuencias del modo turbulento como se difunde la tecnología, llevando a tensiones sociales intensas y a veces violentas. Al final, las presiones más efectivas para el cambio institucional y especialmente para la intervención del Estado en la economía vienen de la recesión que acompaña al colapso de la economía financiera, el cual tiende a ocurrir un par de décadas después del *big-bang* inicial.

Fue para un periodo como éste que Keynes presentó su caso a favor de la implementación de políticas anticíclicas por parte del Estado.¹² Hasta Schumpeter estuvo dispuesto a desconfiar de los poderes curativos del mercado y a reconocer que, cuando se trataba de sacar a la economía de una depresión, “la razón para la acción gubernamental era incomparablemente más fuerte”.¹³

De hecho, aunque las revoluciones tecnológicas sean transformaciones profundas de la economía, el solo funcionamiento de los mercados no puede explicar la recurrencia de los grandes colapsos bursátiles y las depresiones, o la aparición de tendencias centrífugas duraderas, la turbulencia y el caos, y mucho menos rendir cuenta del retorno a la prosperidad. Para explicar la emergencia de estos fenómenos más vastos, que afectan el tejido mismo de la sociedad, el análisis debe introducir en el cuadro las tensiones, la resistencia, los obstáculos y las discordancias que surgen del seno del terreno más amplio de lo social e institucional.

B. LA ABSORCIÓN DE LAS REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS COMO DESACOPAMIENTO Y REACOPAMIENTO DEL SISTEMA

Es precisamente la necesidad de reformas y la inevitable resistencia social a ellas lo que subyace a las profundas crisis y al comportamiento cíclico del sistema en el largo plazo. Cada revolución tecnológica, originalmente recibida como un conjunto de oportunidades auspiciosas, pronto es vista como una amenaza a la forma establecida de hacer las cosas en las empresas, en las instituciones y en toda la sociedad.

El nuevo paradigma tecnoeconómico asume gradualmente la forma de un nuevo ‘sentido común’ para la acción efectiva en cualquier área de acti-

¹² Keynes (1936).

¹³ Schumpeter (1939) vol. I, p. 155 [vc 2001, p. 141].

vidad. Pero mientras las fuerzas competitivas, la búsqueda de ganancias y las presiones de supervivencia ayudan a difundir los cambios en la economía, las vastas esferas social e institucional, donde también se necesita el cambio, permanecen rezagadas por la fuerte inercia derivada de la rutina, la ideología y los intereses creados. Es esta diferencia entre el ritmo de cambio de las esferas tecnoeconómica y socioinstitucional lo que explicaría el turbulento periodo que sigue a cada *big-bang* y por lo tanto, el retraso en el pleno aprovechamiento social del nuevo potencial.

Es así como los primeros 20 a 30 años de difusión de cada revolución tecnológica conducen a un desajuste creciente entre la economía y el sistema social y regulatorio. Estos últimos fueron desarrollados para adecuarse a los requerimientos del paradigma anterior y no pueden hacer frente a las nuevas condiciones. Además los cambios que ocurren en la esfera tecnoeconómica suponen un inmenso costo social en términos de pérdida de empleos y habilidades así como en el desplazamiento geográfico de las actividades. El marco previo difícilmente podría estar preparado para absorber o compensar estos costos. Por lo tanto, a medida que el desajuste crece, las tensiones centrífugas y los procesos de desacoplamiento socavan las bases de la economía, acarreando problemas de gobernabilidad y de cuestionamiento a la legitimidad del marco institucional establecido. Puede haber demandas sociales persistentes o brotes de violencia bajo distintas formas, como pudo verse en las revoluciones de 1848 en Europa o mucho después en las distintas revueltas, golpes de Estado y agudas tensiones sociales de las décadas de 1920 y 1930. Las manifestaciones contra la Organización Mundial de Comercio (OMC) y contra la liberalización de los mercados globales durante el encuentro de Seattle, en noviembre de 1999, pueden haber marcado el comienzo de una ola de presión internacional creciente para cambiar el llamado ‘Consenso de Washington’.

Cualquiera sea su forma de expresarse, las presiones políticas exigiendo acción terminan por impulsar los cambios requeridos. El colapso financiero que suele señalar el final de este periodo es el último instrumento de persuasión y con frecuencia el más fuerte de todos ellos para propiciar los cambios necesarios. Una vez alcanzado el nuevo ‘ajuste’ mediante la articulación de un modo de crecimiento apropiado, viene un proceso de reacoplamiento y convergencia. Durante los siguientes 20 a 30 años se observará el total despliegue del nuevo paradigma, tanto en intensidad como en extensión, de sector a sector y en todas las regiones y países.

Según las mediciones estadísticas, estas ‘épocas de bonanza’ no son necesariamente los tiempos de máximo ritmo de crecimiento; sin embargo, es la fase percibida y aceptada como ‘la edad de oro’ porque representa un

proceso armonioso de crecimiento que incorpora a la mayor parte de los sectores de la economía. Éste puede ser también un tiempo de elevación del nivel de vida de grupos de la población cada vez amplios, especialmente en los países más centralmente involucrados en la difusión del paradigma y donde se han establecido los marcos institucionales más adecuados.¹⁴

La secuencia de 'tiempos buenos y tiempos malos' tendría entonces su origen en la interacción entre la dinámica de la economía como tal y la de la sociedad en su conjunto. Más aún, este fenómeno es uno de los principales factores explicativos de por qué lo que parece una evolución técnica continua tiene lugar dentro de los "envoltorios" sucesivos de diferentes revoluciones tecnológicas.

C. ¿POR QUÉ OCURRE EL CAMBIO TÉCNICO EN FORMA DE REVOLUCIONES?

Kuznets arroja dudas acerca del nexo causal establecido por Schumpeter entre la aparición de la constelación de innovaciones que forma la revolución tecnológica y la aglomeración (*cluster*) de las habilidades empresariales.¹⁵ Ésta es ciertamente una cuestión clave para quienes propongan explicaciones de las fluctuaciones económicas con base en la innovación. Lo sugerido aquí es que los estallidos de actividad emprendedora sí ocurren en la realidad, pero como respuesta a una explosión de oportunidades. Las habilidades innovadoras se manifiestan cuando aparece un nuevo paradigma tecnoeconómico definiendo un espacio amplio y nuevo para el diseño, para nuevos productos y grandes ganancias, capaz de inflamar la imaginación de los nuevos emprendedores potenciales. En otras palabras, las grandes constelaciones de talento hacen su aparición *después* que la revolución se ha hecho visible y *a causa* de su visibilidad.

Esto asoma dos preguntas cruciales. Una es, si el talento está siempre a disposición, entonces ¿por qué no es continuo el cambio?, ¿por qué ocurre mediante revoluciones? La otra, derivada de aquélla, es la cuestión de la causa inicial o ¿por qué llega simultáneamente el pequeño conjunto de saltos tecnológicos desencadenantes de la revolución?

Las condiciones favorables para el estallido de la siguiente revolución

¹⁴ Estos aspectos cualitativos del crecimiento rara vez se incluyen en las interpretaciones usuales de las 'ondas largas'.

¹⁵ Kuznets (1940), pp. 261-262.

aparecen cuando el potencial de la revolución anterior está cercano al agotamiento. El proceso involucra un complejo conjunto de mecanismos de inclusión-exclusión propios del modo como la sociedad se adapta a cada paradigma. La asimilación completa de una revolución tecnológica y su paradigma tecnoeconómico tiene lugar cuando la sociedad ha aceptado su sentido común, ha establecido el marco regulatorio apropiado así como otras instituciones, y ha aprendido a dirigir el nuevo potencial hacia sus propios fines. Esto lleva a dos condiciones que favorecen las innovaciones compatibles y filtran las incompatibles.

Por una parte, el ambiente social e institucional está altamente dispuesto a facilitar el despliegue de cualquier oportunidad y posibilidad compatible con el paradigma. Las externalidades de todo tipo le son tan abrumadoramente favorables que ingenieros, diseñadores, gerentes, empresarios e inversionistas siguen 'naturalmente' ciertos principios comunes porque anticipan buenos negocios obvios. Miles de plásticos siguieron al primer salto tecnológico en materiales sintéticos; el cableado eléctrico de las casas podía incorporar docenas de electrodomésticos sucesivos nuevos; la revolución agrícola pudo combinar el uso de maquinaria variada y cada vez más especializada movida por petróleo con numerosos pesticidas y fertilizantes de origen petroquímico. Lo mismo ocurrió esta vez con los juegos de computadora, los paquetes de software, las sucesivas generaciones de computadoras personales y posteriormente con los servicios 'punto com' en internet. Una vez que el camino ha sido transitado con éxito, nuevos grupos pueden sumarse a la caravana. Lo mismo ocurre con cada uno de los sistemas interconectados que conforman una revolución tecnológica particular y el paradigma de 'sentido común' asociado con ella.

Esto es, en realidad, el equivalente para el ámbito de la tecnología y los negocios, de lo que Kuhn definió como 'ciencia normal'.¹⁶ Una vez que se conocen las trayectorias válidas para los nuevos productos y procesos, así como para sus mejoras, pueden generarse muchas innovaciones sucesivas y exitosas en serie. Éstas serán compatibles entre sí, interactuarán sin dificultad, conseguirán los insumos que requieran, el personal calificado y los canales de mercado, mientras se benefician de una creciente aceptación social basada en el aprendizaje con los productos previos.

Por otro lado, estas condiciones favorables se convierten en un poderoso mecanismo de *exclusión* para todas las posibles innovaciones *incompatibles* o que no engranan adecuadamente en el marco existente. Los intentos de

¹⁶ Kuhn (1962:1970) pp. 10 y 24 [vc 1992].

introducir ese tipo de innovaciones pueden ser rechazados por los inversionistas o por los clientes o, como ocurre con frecuencia, pueden adaptarse exitosamente a una aplicación menor dentro del paradigma predominante. No obstante, tales adaptaciones menores pueden conducir al crecimiento de industrias importantes, llamadas a jugar un papel central en un paradigma futuro. Por el momento, crecen restringidas a los usos adecuados al tejido económico, mucho antes de que pueda imaginarse siquiera lo que serán sus aplicaciones más significativas. Los ferrocarriles se desarrollaron primero para ayudar a sacar el carbón de las minas; su importancia real como medio de transporte de personas y bienes era difícil de concebir en un mundo de canales, carreteras y caballos. La refinación del petróleo y el motor de combustión interna se desarrollaron dentro del mundo de la máquina de vapor de la tercera revolución y se usaron principalmente para los automóviles de lujo. Los semiconductores, en forma de transistores, sirvieron para hacer portátiles los radios y otros equipos domésticos típicos del paradigma de la producción en masa, extendiendo sus mercados, antes de que nadie pudiera imaginar una microcomputadora.

La excepción más conspicua al mecanismo de exclusión son los gastos de guerra. La aplicación de criterios políticos y militares, más que de lógica económica, abre vías de investigación, tecnología y producción capaces de alejarse del paradigma tecnoeconómico imperante, lo cual implica incurrir en costos extravagantes, normalmente irrecuperables en el mercado. Cuando estalla una guerra en la fase de madurez de un paradigma, esas excursiones voluntaristas hacia nuevos territorios tecnológicos pueden convertirse en un semillero para la siguiente revolución tecnológica. La carrera armamentista y del espacio durante la década de 1960 es, por supuesto, el ejemplo más notorio de esos gastos.

Cualquiera sea su origen, las posibilidades reales de una innovación radical pueden ser tan difíciles de prever antes de la instalación del paradigma, que hasta quienes las llevan a cabo suelen subestimar su potencial. Edison pensó que el fonógrafo, inventado por él en los años setenta del siglo XIX, sería útil para grabar los testamentos de los moribundos; en los años cincuenta del siglo XX el presidente de la IBM aún pensaba que unas pocas computadoras podrían cubrir la demanda mundial total, y así sucesivamente.¹⁷ Aquellos innovadores que sí logran anticipar el futuro encuentran grandes dificultades en hacerse entender, tal como le ocurrió a Alexander

¹⁷ Por supuesto que hay casos de pronosticadores como Diebold (1952), quien desde muy temprano escribió acerca del potencial futuro de las computadoras.

Graham Bell con su teléfono todavía primitivo en un mundo de telégrafos eficientes.¹⁸

Por contraste, cuando una innovación está dentro de la trayectoria natural¹⁹ del paradigma prevaleciente, entonces todos —ingenieros, inversionistas y consumidores— entienden para qué sirve el producto y quizás hasta pueden sugerir mejoras. Un mundo ya acostumbrado a ver decenas de electrodomésticos en la cocina considera que vale la pena diseñar, producir, comprar y usar productos menores y de dudosa utilidad, como el abrebotas eléctrico o el cuchillo eléctrico. Lo mismo ocurre con las sucesivas aplicaciones de los principios generales del paradigma prevaleciente. En el caso de la producción en masa continua, por ejemplo, después del completo desarrollo de todos los principios de la manufactura y del refinamiento de sus prácticas organizacionales, la tarea de aplicar el modelo a cualquier otra actividad era sumamente sencilla. El turismo de masas, análogo a la 'línea de ensamblaje' con la movilización de gente del avión al autobús, del autobús al hotel, y del hotel al autobús, era fácil de concebir y de poner en práctica, y su aceptación por los consumidores, en su momento, no presentaba obstáculos.

Sin embargo, las trayectorias no son eternas. El potencial de un paradigma, independientemente de su poder, terminará agotándose. Las revoluciones tecnológicas y los paradigmas tienen un ciclo de vida de cincuenta años aproximadamente y siguen más o menos el tipo de curva epidémica característica de cualquier innovación.

Como se muestra en la figura 3.1, en la fase uno, después del *big-bang*, comienza un periodo de crecimiento explosivo y rápida innovación en las industrias recién creadas. Los nuevos productos se suceden, revelando los principios que definen su trayectoria ulterior. Así se va configurando el paradigma y su 'sentido común' se hace capaz de guiar la propagación de la revolución.

La fase dos corresponde a la rápida difusión del paradigma, con el florecimiento de nuevas industrias, sistemas tecnológicos e infraestructuras con enormes inversiones y agrandamiento de los mercados. El rápido crecimiento continúa en la fase tres con el despliegue total del paradigma a lo largo y ancho de toda la estructura productiva.

La fase cuatro corresponde a la llegada de la madurez. En un cierto punto, el potencial de la revolución comienza a encontrar límites. Se siguen

¹⁸ Mackay (1997).

¹⁹ Nelson y Winter (1977), pp. 36-76, usaron la expresión 'trayectoria natural' para referirse al camino que parecen seguir naturalmente las sucesivas innovaciones a una tecnología.

FIGURA 3.1
EL CICLO DE VIDA DE UNA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA



introduciendo nuevos productos, nacen industrias nuevas y hasta sistemas tecnológicos completos, aunque cada vez son menos numerosos y de menor importancia. Pero las industrias-núcleo, motores del crecimiento, comienzan a enfrentar la saturación del mercado y retornos decrecientes a la inversión en innovación tecnológica. Esto anuncia la proximidad de la madurez de esas industrias y el agotamiento gradual del dinamismo de toda esa revolución.²⁰

Cuando el potencial de un paradigma comienza a tocar fondo, cuando el espacio abierto por un paradigma se restringe, la productividad, el crecimiento y los beneficios se ven seriamente amenazados. Es ahí cuando surge la necesidad convertida en demanda efectiva por nuevas soluciones, por innovaciones radicales, por apartarse de los caminos trillados.²¹ Sin embar-

²⁰ El fenómeno es similar a la ley de Wolf (1912) de los retornos decrecientes a la inversión en las innovaciones incrementales en productos y procesos particulares. Es también afín a la teoría del ciclo de vida de los productos desarrollada por Hirsch (1965 y 1967), Vernon (1966) y otros.

²¹ Kuznets (1953, p. 113) ya había sugerido algo similar, cuando intentó entender la idea de Schumpeter sobre la tendencia de las innovaciones a aglutinarse en *clusters*: "podríamos decir que la electricidad no estuvo disponible antes porque tenía que esperar hasta que las potencialidades de la máquina de vapor fueran agotadas por el sistema económico".

go, para entonces, después de décadas de exitoso desarrollo bajo el paradigma prevaleciente, el ambiente se encuentra sobreadaptado. No sólo las empresas sino también la gente y la sociedad como un todo aceptaron y adaptaron la lógica del paradigma establecido como *el* criterio de 'sentido común'. Sin embargo, el camino hacia adelante se encuentra obstaculizado por el inminente agotamiento.

Las industrias-núcleo de la revolución tecnológica, ahora maduras, cosechan los últimos beneficios de las economías de escala y están probablemente atadas a sus inmensas inversiones de capital fijo.²² Pueden también estar en una posición fuerte (oligopolio o cuasimonopolio), lo cual les da los medios para buscar salidas efectivas del atolladero. Estas salidas pueden ser las fusiones, la migración y algunas prácticas poco ortodoxas que serán discutidas en el capítulo 8 en relación con el capital financiero. Para el propósito presente, sin embargo, los procesos de interés son los conducentes a la revolución tecnológica siguiente. De éstos, uno de los más importantes es la disposición a experimentar con innovaciones radicales, a manera de mejoras, para estirar el ciclo de vida de las tecnologías establecidas o reducir el costo de las actividades periféricas.

A principios del siglo XIX ya se estaba ensayando con versiones primitivas de la máquina de vapor a alta presión para aumentar la productividad de la maquinaria textil; la 'gerencia científica' de la organización del trabajo, elemento crucial de la producción en masa, fue desarrollada primero por Taylor a fines del siglo XIX para aumentar la productividad de la movilización de productos en los patios de las acerías; los primeros ensayos de automatización tuvieron lugar alrededor de 1960 en la industria automovilística; el desarrollo de instrumentos de control predigitales avanzó desde temprano en las industrias de procesos; las máquinas de control numérico computarizado fueron introducidas en la manufactura de calzado y la industria aeroespacial entre 1960 y 1970. Es así como la introducción de algunas tecnologías nuevas puede estar atada a la revitalización de industrias maduras en problemas.

Puede haber también disposición para introducir innovaciones radicales que amplíen la variedad de tecnologías existentes en el mercado, como fue el caso de los transistores en productos de audio, los cuales, al ser portátiles, abrieron nuevos mercados inmensos desde finales de la década de 1950.

Mientras más sectores y empresas confrontan la madurez y la satura-

²² Soete (1985) argumentaba esto en apoyo de la posibilidad de que recién llegados no atados por fuertes inversiones en las viejas tecnologías pudieran ser capaces de dar un salto tecnológico para alcanzar el desarrollo (*catching up*). Esa idea se retoma en Pérez y Soete (1988).

ción, más se intensifican las actividades de ensayo y error. Al igual que en el modelo de la 'ciencia revolucionaria' de Kuhn, la ruptura con las tendencias tradicionales y la búsqueda de nuevas direcciones es amparada y facilitada por el choque con los límites y las crisis en el paradigma establecido.²³ Los obstáculos específicos encontrados por cada paradigma tecnológico a medida que se desarrolla hasta sus últimas consecuencias, servirán como lineamientos poderosos en la búsqueda del nuevo conjunto de tecnologías.²⁴ Sin embargo, para lograr el surgimiento de una revolución tecnológica, tienen que abrirse nuevos caminos radicales y tienen que darse rupturas tecnológicas decisivas.

Las innovaciones radicales pueden tener lugar en cualquier momento, aunque su periodo de gestación puede ser muy largo. Dada la autonomía relativa de la producción científica y tecnológica, siempre habrá innovaciones potenciales en diversos campos esperando tras bastidores. En cualquier punto del tiempo los espacios de lo científicamente concebible y lo tecnológicamente posible son mucho más amplios que los espacios de lo económicamente viable o lo socialmente aceptable. Por lo tanto, muchas tecnologías importantes pueden estar ya incorporadas a la economía, en diversas etapas de su desarrollo y en usos menores o limitados. El verdadero potencial de algunas de ellas sólo se hará completamente visible una vez que converjan para formar una revolución (otras deberán esperar muchas más décadas o podrían no explotarse nunca). Así, dadas las condiciones apropiadas de presión y demanda, una nueva constelación de innovaciones radicales puede configurarse gradualmente a partir de los desarrollos disponibles.²⁵

En consecuencia, la tecnología evoluciona por revoluciones porque la prevalencia de un paradigma específico, con sus amplias oportunidades interrelacionadas, induce una profunda adaptación social a sus características. Esto crea un poderoso mecanismo de inclusión-exclusión, el cual evita

²³ Kuhn (1962) caps. VII-VIII [ve 1992].

²⁴ Freeman y Pérez (1988), tabla 3.1, columna 7, pp. 50-53.

²⁵ Gerhard Mensch (1979) adelantó una hipótesis muy similar, donde se sugería que en el origen de las recesiones (tales como la estancación que comenzó a mediados de la década de 1970) estaba una 'tranca [*stalemate*] tecnológica'. Desafortunadamente, su método para demostrarlo consistió en contar y comparar las innovaciones radicales en varios periodos a fin de identificar las constelaciones que coincidían con recesiones. De esta manera, tomó la fecha de la primera introducción como la del nacimiento de una innovación. Esto fue objeto de la crítica de Freeman *et al.* (1982) quienes mostraron que las innovaciones radicales pueden estar dispersas en el tiempo y lo que realmente importa en términos del impacto significativo en el crecimiento es la difusión de la combinación de innovaciones.

las divergencias radicales del paradigma prevaleciente hasta que el inmenso potencial de esa revolución se haya consumido y se aproxime al agotamiento.²⁶ Es entonces cuando se hace más probable que haya demanda para el talento emprendedor del tipo tendente a realizar innovaciones radicales. Sin embargo, así como en el seno de una ciencia dada es altamente probable que los candidatos exitosos para convertirse en nuevo paradigma provengan de practicantes de otras ciencias, asimismo es probable que los caminos radicalmente nuevos en tecnología se deban a 'gente de fuera', a tecnólogos o empresarios no imbuidos del paradigma anterior, pudiendo perfectamente ser jóvenes y no formar parte de las firmas poderosas establecidas, como fueron los casos de Andrew Carnegie o Alexander Graham Bell, Edison o Ford, Noyce, Steve Jobs o Bill Gates.

Para entender cómo se abren las puertas para que entren masivamente 'los de afuera', hay que examinar el papel jugado por el capital financiero.

II EL PAPEL DEL CAPITAL FINANCIERO EN EL SURGIMIENTO DE UN NUEVO PARADIGMA

En contraste con el mundo científico, la innovación comercial se hace con el beneficio en mente. Si el innovador trabaja en su propio garaje o en el laboratorio de una gran empresa, siempre tendrá que haber alguien que considere lo que él o ella hace como una enorme fuente de ganancias y disponga del dinero requerido para poner a prueba el proceso, lanzar el producto o expandir la producción. Es aquí donde, como decía Schumpeter, la institución del crédito, en una u otra forma, juega un papel decisivo.²⁷

Alguien tiene que poner el dinero para romper las trayectorias rutinarias y facilitar los cambios radicales. Es probable que las grandes firmas establecidas, puesto que enfrentan las restricciones del paradigma, ofrezcan dinero para financiar soluciones que prolonguen la vida de sus propios productos y procesos. Éstos con frecuencia suponen usos menores de las nuevas tecnologías radicales. Pueden intentar también la ampliación del espectro de las tecnologías conocidas y la investigación en nuevas direcciones. Todas estas actividades pueden desembocar en productos y tecnologías completamente nuevos (como fue el caso de los laboratorios Bell con el

²⁶ La identificación de este mecanismo de exclusión fue una de las condiciones exigidas a los proponentes de las ondas largas por Rosenberg y Frischak (1984).

²⁷ Schumpeter (1939: 1982) vol. 2, cap. III, pp. 109-118.

transistor, por ejemplo). Sin embargo, no es probable que subsidien a gente verdaderamente extraña a su mundo.

Es aquí donde la separación entre el capital financiero y el capital productivo rinde sus mayores frutos. Los nuevos emprendedores pueden convertir sus ideas en realidades comerciales porque en manos de los no-productores hay dinero disponible buscando beneficio. Es así como la posibilidad de operar con dinero prestado se convierte en una fuerza verdaderamente dinamizadora. El capital financiero va a apoyar a los nuevos emprendedores a pesar del alto riesgo y ello será tanto más probable cuanto más agotadas estén las posibilidades de inversión en las direcciones acostumbradas.²⁸

[A medida que comienzan a disminuir las oportunidades de inversión de bajo riesgo en el paradigma establecido, una masa creciente de capital ocioso busca usos capaces de proporcionarle ganancias y se dispone a aventurarse en direcciones nuevas. Por lo tanto, el agotamiento de un paradigma trae consigo *tanto* la necesidad de emprendedores en innovaciones radicales *como* el capital ocioso capaz de asumir grandes riesgos por ensayo y error.]

Bajo estas condiciones confluyen diversas líneas de innovación; algunas provienen de las grandes empresas que intentan superar los obstáculos, otras de los emprendedores noveles con ideas inéditas y otras asociadas con las múltiples innovaciones subutilizadas o marginales, introducidas previamente. Éstas podrían incorporar parte del gran caudal de conocimientos aplicables disponible tras bastidores o producir conocimiento nuevo. Eventualmente, los saltos tecnológicos necesarios se realizan —o se reconocen como tales— y se reúnen con otras tecnologías nuevas o redefinidas para conformar la nueva revolución tecnológica. A partir de entonces, el capital financiero está disponible aun más ampliamente para los emprendedores, a fin de permitirles innovar explotando las trayectorias definidas por el nuevo paradigma. Como se discutirá después (capítulos 9 y 13), en ese momento se desarrollan nuevos instrumentos financieros a fin de adecuarse a las peculiaridades de los nuevos productos y de su difusión.

Quizás no sea posible comprobar de manera sencilla si en otros momentos hay tantos emprendedores buscando financiamiento para sus innovaciones como al final del ciclo de vida de un paradigma. Lo que se puede decir con escaso margen de error es que, cuando se ha hecho visible el espa-

²⁸ Ésta fue una de las principales afirmaciones de Mensch (1979). Su formulación apareció muy temprano en el debate, justo cuando los capitales de riesgo empezaban a ponerse a disposición de Silicon Valley y de otros innovadores.

cio de diseño, productos y beneficios de un nuevo paradigma, se enciende la imaginación de un vasto número de ingenieros potenciales, diseñadores y emprendedores para innovar dentro de la nueva trayectoria general. En la medida en que el financiamiento hace posibles sus proyectos y en la medida en que sus éxitos llamativos hacen el paradigma cada vez más visible y atractivo para un mayor número de personas, crecerán sin duda las filas de quienes sienten el llamado.²⁹

Así, los síntomas de agotamiento del paradigma prevaeciente crean la demanda de nuevas trayectorias innovadoras y lucrativas; las reservas de opciones tecnológicas represadas comienzan a fluir, el capital financiero ocioso proporciona el fertilizante, la sucesión de nuevas tecnologías eventualmente conduce a saltos radicales, el nuevo paradigma multiplica el número de empresarios innovadores, sus éxitos atraen nuevo capital financiero y más empresarios, y así sucesivamente.

Por lo tanto, ciertamente hay alta variabilidad en la manifestación del espíritu emprendedor como lo sostuvo Schumpeter, pero el origen de esta variabilidad reside en las condiciones y oportunidades cambiantes del contexto. Esto no debe entenderse como la afirmación de que sólo 'los de afuera' son verdaderos innovadores. Por el contrario, si sólo se tratara de números probablemente se encontraría que, vistas a lo largo del tiempo, la gran mayoría de las innovaciones se ha realizado dentro de firmas existentes; y no sólo las modificaciones más o menos importantes de la tecnología utilizada, sino también la introducción de muchos nuevos productos y procesos. Incluso algunas de las rupturas tecnológicas determinantes (tales como el precursor del circuito integrado en los Laboratorios Bell, ya mencionado) pueden ocurrir dentro de firmas establecidas o ser adquiridas e introducidas por ellas.

No obstante, las firmas establecidas son las principales portadoras del paradigma imperante. Como se discutió antes, el paradigma es un modelo guía tan poderoso que se convierte en un mecanismo de inclusión-exclusión fuertemente reforzado por la adaptación social y la sobreadaptación gradual. Por lo tanto, en términos tecnológicos, se podría decir que en los tiempos de agotamiento de un paradigma las firmas más poderosas suelen convertirse en las fuerzas más conservadoras. Aunque algunas firmas inteligentes pueden hacer grandes innovaciones, su enorme inversión atada a algunas de las tecnologías ahora maduras las hace preferir evitar cambios verdaderamente revolucionarios, los cuales podrían traer la obsolescencia

²⁹ El efecto de caravana (*bandwagon*) de Schumpeter (1942).

de su equipamiento y de sus prácticas. Sin embargo, e irónicamente, como su productividad, mercado e índices de crecimiento de las ganancias probablemente se estén estancando, su única esperanza de revitalización reside en la realización de cambios radicales.

Por lo tanto, las grandes firmas existentes tienden a ser al mismo tiempo agentes y víctimas de la cerrazón paradigmática. La salida a esta situación exigirá inevitablemente la participación de 'gente de fuera'. Cuando éstos aparecen, el capital financiero ocioso les permite manifestarse completamente y fructificar.³⁰

³⁰ Cabe preguntarse si la razón por la cual el socialismo soviético fue incapaz de realizar las innovaciones que lo hubieran ayudado a superar las restricciones del paradigma desde la década de 1970 no fue, al menos en parte, la falta de una institución capaz de proporcionar una flexibilidad equivalente para facilitar el cambio. Véase Gomulka (1990).

4. LA PROPAGACIÓN DE UN PARADIGMA: TIEMPO DE INSTALACIÓN; TIEMPO DE DESPLIEGUE

En la vida real, la trayectoria de una revolución tecnológica no es tan regular y continua como la curva de la figura 3.1. El proceso de instalación de cada nuevo paradigma tecnoeconómico en la sociedad comienza con una batalla contra el poder de lo viejo, el cual se encuentra engranado en la estructura de producción prevaeciente y enraizado tanto en el ambiente sociocultural como en el marco institucional. Sólo cuando esa batalla haya sido ganada en la práctica, podrá el nuevo paradigma difundirse plenamente por toda la economía de los países-núcleo y posteriormente por todo el mundo. Tal como se adelantó en el capítulo 2, el complejo proceso de propagación de las revoluciones tecnológicas y los paradigmas tecnoeconómicos a través de la economía y la sociedad toma la forma de grandes oleadas de crecimiento discontinuo.

Vista a grandes rasgos, cada oleada atraviesa dos periodos de naturaleza muy diferente, cada uno de los cuales dura aproximadamente tres décadas. Como se indica en la figura 4.1, la primera mitad de la oleada puede ser denominada *periodo de instalación*. Es entonces cuando las nuevas tecnologías irrumpen en una economía ya madura y avanzan como un rompehielos indetenible, desarticulando el tejido instalado y construyendo nuevas redes industriales, estableciendo nuevas infraestructuras y difundiendo nuevas y mejores formas de hacer las cosas. Al comenzar ese periodo, la revolución es pequeña en hechos y grande en promesas; al final, cuando ha vencido la resistencia del viejo paradigma, es una poderosa fuerza lista para servir como propulsora de un amplio proceso de crecimiento.

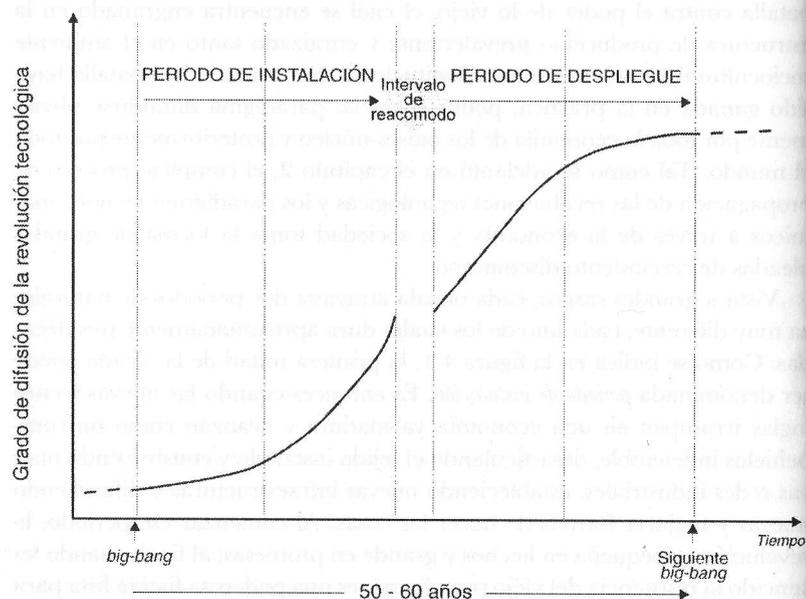
La segunda mitad es el *periodo de despliegue*, cuando el tejido económico articulado y rediseñado gracias al poder modernizador del paradigma triunfante, al convertirse en modelo de óptima práctica, posibilita el pleno desenvolvimiento de su potencial de generación de riqueza.

El intervalo de reacomodo entre instalación y despliegue es una encrucijada decisiva, con frecuencia una severa recesión. Su ocurrencia abre paso a la recomposición de todo el sistema, en particular del contexto regulatorio, permitiendo el reinicio del crecimiento y la total fructificación de la revolución tecnológica. Como se verá en los capítulos 10 y 11, hacia fina-

les del periodo de instalación hay una fase de inversiones frenéticas en nuevas industrias e infraestructura, estimulada por el auge del mercado de valores y acompañada por lo general de una burbuja, cuyo colapso de un modo u otro es inevitable. Como se muestra en la figura 4.1 este frenesi acarrea la aceleración incontenible de la difusión del paradigma. La recesión crea las condiciones para la reestructuración de las instituciones y la reorientación del crecimiento por un camino sustentable.

FIGURA 4.1

DOS PERIODOS DISTINTOS EN CADA GRAN OLEADA DE DESARROLLO



Este capítulo echa una mirada a los cambios tecnológicos, económicos e institucionales involucrados en ese proceso y profundamente relacionados entre sí.

A. DESTRUCCIÓN CREADORA Y POLARIZACIÓN SOCIAL

La noción schumpeteriana de 'destrucción creadora' expresa con propiedad los efectos de las innovaciones radicales. Cuando los productos-núcleo de una revolución tecnológica comienzan a articularse, inevitablemente chocan con el ambiente establecido y las formas habituales de hacer las cosas. La máquina hiladora de Arkwright fue una clara amenaza para los hiladores manuales tanto en Inglaterra como en la India. El ferrocarril de Liverpool a Manchester anunció la extinción del coche de caballos para viajes de pasajeros a distancias largas y afectó diversas ocupaciones, desde los posaderos hasta los veterinarios.¹ El Canal de Suez prácticamente eliminó los barcos de vela en los viajes a la India al mismo tiempo que, al acortar el tiempo de viaje de tres meses a uno, provocó la obsolescencia de la red inglesa de inmensos depósitos de carga, amenazando el poder de las grandes empresas comerciales y abriendo oportunidades a las más pequeñas.² El acero Bessemer barato fue una amenaza evidente para los productores de hierro forjado (véase figura 4.2). Los rápidos y poderosos barcos de vapor fabricados en acero con depósitos para carga refrigerada, abrieron los mercados de carne y granos del hemisferio norte a la competencia de los países del sur. La producción masiva de automóviles fue un claro anuncio del desplazamiento de los trenes a vapor y los carros tirados por caballos como los medios principales para transportar pasajeros.]

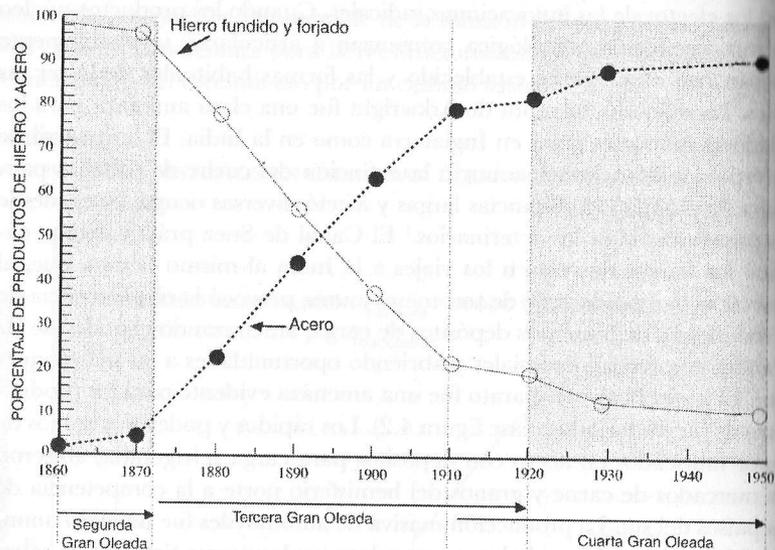
Naturalmente, estas amenazas tardan en materializarse y la resistencia de los afectados puede prolongar la transición. Sin embargo, cuando una tecnología superior se encuentra disponible y demuestra ser más productiva y tener un mayor crecimiento potencial, el resultado a mediano plazo es prácticamente inevitable. Esto es tanto más así porque, como se sugirió antes, los desarrollos revolucionarios generalmente tienen lugar cuando las oportunidades de inversión rentables ligadas al paradigma anterior están casi agotadas.

Lo inaugurado por cada *big-bang*, al convertirse en un poderoso atractor, es un nuevo rumbo para las inversiones. Las innovaciones radicales exitosas prometen y reciben ganancias extraordinarias en un paisaje industrial maduro y aletargado. Los nuevos productos e infraestructura experimentan

¹ Contrariamente a lo que podría esperarse, el número de caballos en realidad *aumentó* durante más de 50 años, por la necesidad del transporte a tracción de sangre desde las estaciones de tren hasta los barcos, casas, posadas, etc. Este fenómeno es similar a las expectativas incumplidas de oficinas sin papel, levantadas al comienzo de la revolución informática.

² Wells (1889: 1893), p. 32.

FIGURA 4.2
EL ACERO DESPLAZA AL HIERRO COMO PRINCIPAL MATERIAL DE INGENIERÍA DE LA SEGUNDA A LA TERCERA OLEADA



FUENTE: Ayres (1988). Oleadas indicadas por la autora.

sorprendentes ritmos de crecimiento. Pronto, las nuevas tecnologías y las innovaciones organizativas que las acompañan permiten a otros productos e industrias unirse a la caravana del cambio (*bandwagon*), por medio de la modernización. Este estiramiento del ciclo de vida es particularmente bien recibido por las industrias todavía poderosas de la revolución anterior, las cuales muy probablemente estarán experimentando un fuerte agotamiento de su paradigma. En las décadas de 1870 y 1880, las empresas ferrocarrileras, reemplazaron el hierro por el acero en sus rieles y en sus motores, ahora mejorados, tan pronto como pudieron. En las décadas de 1970 y 1980, la industria madura del automóvil incorporó *chips* electrónicos en sus vehículos, control computarizado en sus equipos de producción y adoptó el modelo de organización flexible desarrollado originalmente por los japoneses. En general, quienes pusieron a prueba las primeras computadoras y minicomputadoras fueron las gigantescas corporaciones maduras, en las décadas de 1960 y 1970, tratando de aumentar el control administrativo y la productividad en la oficina.

Por lo tanto, la irrupción de la revolución tecnológica señala también una división del mundo de la economía a lo largo de varias líneas de tensión:

Entre las industrias nuevas y las maduras;

Entre las industrias modernas —sean éstas nuevas o actualizadas con los nuevos métodos— y las empresas aún apegadas a los viejos modos de hacer;

Regionalmente, entre los reductos de las industrias ahora viejas y los nuevos espacios ocupados o preferidos por las nuevas industrias;

En capacidades, entre los formados para participar en las nuevas tecnologías y aquellos cuyas habilidades se hacen cada vez más obsoletas;

En la población activa, entre quienes trabajan en las empresas modernas o viven en las regiones dinámicas, y quienes permanecen en las regiones estancadas amenazados por el desempleo o la incertidumbre de sus ingresos;

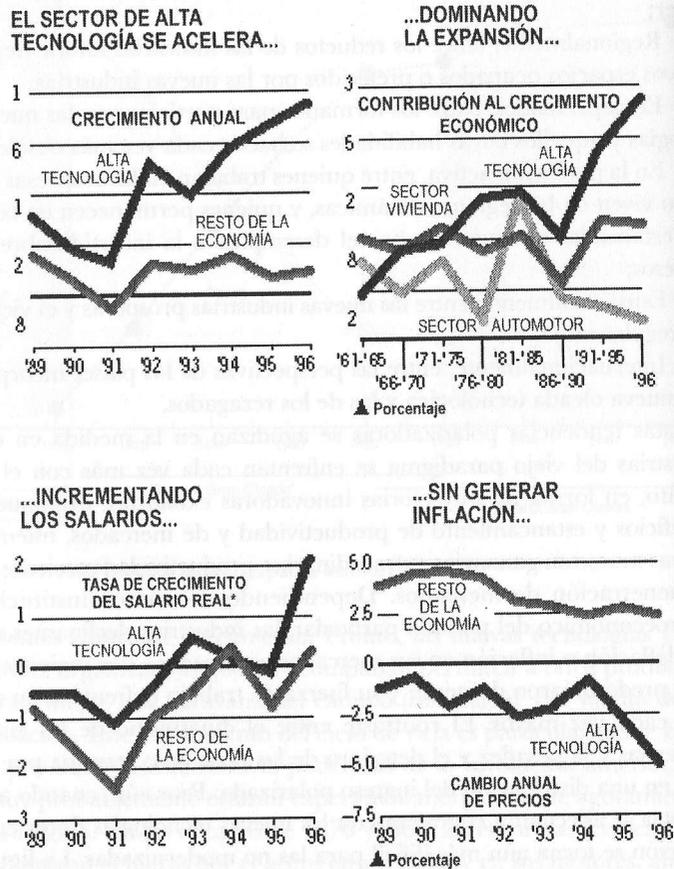
Estructuralmente, entre las nuevas industrias prósperas y el viejo sistema regulatorio;

Internacionalmente, entre las perspectivas de los países incorporados a la nueva oleada tecnológica y las de los rezagados.

Estas tendencias polarizadoras se agudizan en la medida en que las industrias del viejo paradigma se enfrentan cada vez más con el agotamiento, en forma de trayectorias innovadoras exhaustas, disminución de beneficios y estancamiento de productividad y de mercados, mientras las nuevas muestran ganancias extraordinarias, productividad creciente y rápida penetración de mercados. Dependiendo del marco institucional y macroeconómico del periodo particular, las industrias declinantes enfrentan deflación o inflación en sus mercados estancados.³ Las regiones donde éstas predominaron decaerán y su fuerza de trabajo enfrentará un desempleo cada vez mayor. El contraste entre el dinamismo de las empresas modernas y la pesadez y el deterioro de las rezagadas termina por traducirse en una distribución del ingreso polarizada. Peor aún, cuando algunas de éstas se adecuan y engranan con las nuevas tecnologías florecientes, la situación se torna aún más difícil para las no modernizadas. La figura 4.3 muestra cómo la revista *Business Week* vio el desacoplamiento progresivo de la economía estadounidense, desde finales de la década de 1980 hasta

³ Aquellos economistas para quienes la economía es un sistema autocontenido probablemente se espantarán ante la idea de que una misma causa pueda llevar a la deflación en un periodo de mercados sin restricciones, como ocurrió durante las décadas de 1870 y 1880, o a la inflación en economías como las del siglo XX, caracterizadas por estructuras oligopólicas e intervención estatal.

FIGURA 4.3
EL DESACOPLO DEL SISTEMA: COMPORTAMIENTO DIFERENCIADO DEL SECTOR DE "ALTA TECNOLOGÍA" Y EL RESTO DE LA ECONOMÍA EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1989-1996



FUENTE: Mandel (1997). Reproducido de la edición del 31 de marzo de 1997, de *Business Week*, edición latinoamericana, por autorización. Copyright © 1997 por McGraw-Hill.

mediados de la década de 1990, abriendo una brecha entre el sector de alta tecnología, ligado a la informática, y el resto de la economía.

Estos destinos divergentes se reflejan en el mercado de valores, donde, como se verá en la segunda parte, tiende a desarrollarse una burbuja centrada en las empresas de nueva tecnología y la nueva infraestructura asociada a ellas.

Gradualmente, en la medida en que los poseedores de riqueza y éxito se van haciendo más ricos y exitosos, mientras los pobres o débiles se empobrecen y debilitan más, la legitimidad de los regímenes políticos establecidos va siendo cada vez más cuestionada y las presiones para tratar de revertir las tendencias centrífugas se hacen cada vez más fuertes y claras. Por lo tanto, en las primeras dos o tres décadas de destrucción creadora después del salto tecnológico, la turbulencia va en aumento y los beneficios del crecimiento se distribuyen con gran desigualdad. Como se dijo antes, muy probablemente se confrontarán protestas. Éstas pueden tomar formas específicas muy diversas, desde las explosivas revueltas sociales de 1848 en los días tempranos de la industrialización europea hasta las manifestaciones transnacionales organizadas contra la globalización en Seattle, Génova y otros lugares. Las respuestas políticas también varían considerablemente dependiendo del contexto histórico particular. En el decenio de 1930 fueron condiciones sociales desesperadas de ese tipo las que, por una parte, facilitaron el ascenso de Hitler al poder en Alemania y, por la otra, inspiraron el 'Nuevo Trato' (*New Deal*) de Franklin D. Roosevelt en Estados Unidos.

II. LOS PERIODOS DE INSTALACIÓN Y DESPLIEGUE: DESACOPLO Y REACOPLO DE LA ECONOMÍA Y LAS INSTITUCIONES

La asimilación de una revolución tecnológica, entonces, requiere múltiples cambios en diferentes niveles. En primer lugar, las nuevas tecnologías van a necesitar el establecimiento de toda una red de servicios interconectados como son la infraestructura específica y los suplidores especializados, canales de distribución, capacidades de mantenimiento y otros elementos para proveer las externalidades territoriales facilitadoras de la difusión. Sin carreteras, estaciones de gasolina y mecánicos no se podrían usar los automóviles; sin embargo, sin suficientes automóviles en las carreteras no podrían ser rentables las estaciones de gasolina o los talleres mecánicos. La

difusión, por tanto, tiene lugar mediante intrincados lazos de retroalimentación.

Luego, hay una adaptación cultural a la lógica de las tecnologías de la revolución. Debe darse un vasto proceso de aprendizaje acerca de la producción y el uso de los nuevos productos entre los ingenieros, gerentes, empleados de ventas y servicios, y obviamente también entre los consumidores. Esto no sólo supone aprender a manejar un automóvil o a usar una radio o una lavadora, sino también entender la dirección de la innovación, de manera que las novedades puedan ser adoptadas y aceptadas con facilidad. La progresión gradual de la computadora personal de escritorio a la *laptop* y a la *palm top* se llega a ver como la secuencia 'normal' del cambio, tanto en la producción como en el consumo. La adaptación también supone la adquisición de las nociones organizativas propias del paradigma. Éstas comienzan transformando la empresa y paulatinamente se difunden más y más hacia actividades no económicas.

Finalmente interviene el conjunto más vasto de habilitadores institucionales, incluyendo normas y regulaciones, la capacitación especializada y la educación, los estándares, los entes supervisores, las innovaciones financieras, etc. Tanto la señalización para el tránsito de vehículos como el crédito al consumo, para el pago mensual de automóviles y electrodomésticos, fueron necesarios para el crecimiento de los respectivos mercados de la cuarta oleada.

Por supuesto, no se trata de una adaptación pasiva. La forma específica como una sociedad dada se transforma a fin de asimilar un potencial tecnológico moldeará, a su vez, el sesgo en la dirección de las tecnologías y la intensidad de su difusión. Un caso extremo de estas variaciones se dio con las democracias occidentales y el sistema soviético cuando ambos adoptaron la producción en masa, el automóvil, el taylorismo, la electrificación masiva, los sintéticos y la mayoría de las tecnologías asociadas con la cuarta revolución tecnológica, pero con resultados muy diferentes en estilos de vida y perfiles de producción.

Sin importar cuán similares o distintos sean los procesos de asimilación social de una revolución tecnológica dada, éstos moldearán y adaptarán el ambiente y la economía de manera que, cuando el proceso culmine, habrá una coherencia casi completa entre todas las esferas de la sociedad. Ésta se convierte en el reino de un paradigma particular, ahora inconsciente e invisible hasta el punto de considerársele el sentido común universal.

En este punto es importante notar que el proceso de adopción profunda de un paradigma facilita la difusión completa de cada oleada, aunque tienda a inhibir el cambio verdaderamente revolucionario, ubicado fuera

del ámbito de la revolución tecnológica en proceso de despliegue. Mediante este mecanismo de inclusión-exclusión, el sistema permite recoger todos los frutos de las grandes inversiones en infraestructura, equipamiento, desarrollo tecnológico, entrenamiento, experiencia y aprendizaje social asociados al paradigma. Todo este esfuerzo económico y social se convierte en un conjunto de externalidades para inversiones ulteriores y para la creación de riqueza basada en la expansión del mercado y de las innovaciones compatibles. Por lo tanto, se forma un círculo virtuoso de autorrefuerzo, el cual favorece el uso y difusión del potencial disponible. Sólo cuando aparezcan los signos de agotamiento estará el terreno listo para el remplazo de ese paradigma por otro.

Cuando la economía se ve una vez más estremecida por un poderoso conjunto de oportunidades nuevas con el surgimiento de la siguiente revolución tecnológica, la sociedad se encuentra aún estrechamente vinculada al viejo paradigma y a su marco institucional. El mundo de las computadoras, la producción flexible e internet tiene una lógica diferente y requisitos distintos de los que facilitaron la difusión del automóvil, los materiales sintéticos, la producción en masa y las redes de autopistas. Repentinamente, en relación con las nuevas tecnologías, los viejos hábitos y regulaciones se tornan obstáculos, los viejos servicios e infraestructura se vuelven insuficientes, y las viejas organizaciones e instituciones inadecuadas. Debe crearse un nuevo contexto; debe emerger y propagarse un nuevo 'sentido común'.

Esto significa que tendrá lugar un penoso y difícil proceso de aprendizaje y adaptación, el cual llevará consigo la destrucción creadora en todas las esferas del sistema social. Ello también explica por qué los frutos del nuevo potencial de crecimiento no pueden cosecharse del todo en las primeras décadas cuando tienen lugar la adaptación y mutuo moldeo entre la sociedad y la nueva economía, bajo el impulso del afán de ganancia, a pesar de la inercia institucional y la resistencia humana.

Por lo tanto, la polarización creciente y el desacoplamiento tanto en el interior de la economía como entre la economía y el viejo marco social son característicos de los inicios de la difusión de una revolución tecnológica. Por ello, el periodo de instalación es de tensa coexistencia entre dos paradigmas, uno declinante y otro ocupando más y más terreno sobre el territorio, en el mercado y en la mente de la gente. Estos procesos divergentes están destinados a conmocionar, desafiar y cambiar el ambiente institucional. Las transformaciones son turbulentas y han durado históricamente entre 20 y 30 años, contados a partir del *big-bang* de la revolución. De ordinario terminan abruptamente en un colapso o pánico bursátil. Como se verá en la segunda parte, la llegada de una revolución tecnológica atrae al

capital financiero porque despierta expectativas de elevación enorme de los beneficios y ello eventualmente conduce a la inflación de los activos y a una burbuja financiera destinada al colapso.

El frenesí financiero es una poderosa fuerza impulsora de la propagación de la revolución tecnológica, especialmente de su infraestructura y de la percepción creciente —hasta la exageración misma— de la superioridad de los nuevos productos, industrias y tecnologías genéricas. La ostentación del éxito lleva al primer plano la lógica del nuevo paradigma, convirtiéndolo en el ideal de vitalidad y dinamismo de la época. Ello también contribuye al cambio institucional, al menos en lo concerniente a la mitad destructiva del proceso de destrucción creadora.

Al mismo tiempo, como se dijo antes, toda esa exaltación divide a la sociedad, ampliando la brecha entre ricos y pobres, y haciéndola cada vez menos soportable en términos sociales. La economía también se hace insostenible por la aparición de dos desequilibrios crecientes. Uno es el desajuste entre el perfil de la demanda y el de la oferta potencial. El mismo proceso de concentración del ingreso en la parte superior del espectro, gracias al cual fue posible intensificar las inversiones, se convierte en un obstáculo para la expansión de la producción de cualquiera de los productos y para el logro pleno de las economías de escala. El otro es la brecha entre los valores de papel y los valores reales. Por ello el sistema es estructuralmente inestable y no puede crecer indefinidamente siguiendo ese rumbo.

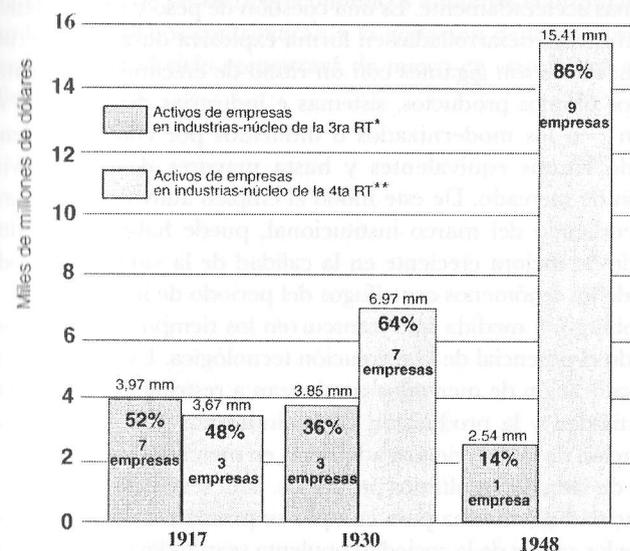
Con el colapso llega la recesión —la depresión en algunos casos— trayendo de nuevo a la realidad al capital financiero. Esto, junto con la presión social creciente, crea las condiciones para la reestructuración institucional. En esta atmósfera de urgencia muchas de las innovaciones sociales surgidas gradualmente durante el periodo de instalación se unen a nuevas regulaciones en la esfera financiera y en otras, para crear un contexto favorable al reacoplamiento y a la total expansión del potencial de crecimiento. Esta recomposición crucial ocurre en el *intervalo de acomodado* dejando atrás los tiempos turbulentos de instalación y transición del paradigma para entrar en la 'época de bonanza', cuyo advenimiento dependerá de las decisiones finalmente tomadas en lo institucional y lo social.

Las siguientes dos o tres décadas caracterizadas por la generalización del nuevo paradigma, ahora triunfante, constituyen el *periodo de despliegue*. Cuando éste llega, se hace claramente visible la oleada de desarrollo basada en la total difusión de los niveles de productividad más altos a todo lo largo de la economía. El nuevo sentido común envuelve todas las actividades, comenzando por los negocios, pasando por la regulación y la educación, y llegando hasta el gobierno. Como resultado, se asienta una era de

bienestar general caracterizada por la creciente coherencia en el seno de la economía. El marco institucional facilitador del pleno desenvolvimiento del paradigma incluye los medios para expandir la demanda a fin de adecuarla al enorme potencial ya instalado de aumento de la producción. Esto puede ocurrir de muchas formas y suele incluir la extensión de los beneficios del crecimiento hacia capas sucesivas de población.

FIGURA 4.4
LAS INDUSTRIAS PETROLERA Y AUTOMOTRIZ REMPLAZAN A LA DEL ACERO
COMO MOTOR DEL CRECIMIENTO DE LA TERCERA A LA CUARTA OLEADA

Las 10 empresas más grandes según el monto de sus activos en 1917, 1930 y 1948, agrupadas por revoluciones tecnológicas (RT)



Notas:

* Acero y carne enlatadas

** Petróleo, automóviles, maquinaria agrícola, química orgánica y electrodomésticos

FUENTE: Datos de Chandler (1990), pp. 639-657, clasificados por la autora.

Para entonces las industrias originales de la revolución tecnológica se han convertido en motores del crecimiento de toda la economía y el país

donde se desarrollaron se yergue como centro del sistema mundial. Tomadas en su conjunto, estas industrias representan una importante porción del producto nacional de ese centro y, generalmente, sus principales empresas tienden a convertirse en las mayores del país y quizás también del mundo. La figura 4.4 utiliza los datos de Chandler sobre las mayores corporaciones de EUA en tamaño accionario⁴ entre 1917 y 1948, para ilustrar el cambio de poder de la tercera a la cuarta oleada. El acero continuará siendo extremadamente importante para el automóvil y otros productos de la cuarta revolución tecnológica, pero el gran auge de las inversiones en esa industria ha concluido y pronto será desplazada de la cúspide.

Más aún, durante el periodo de despliegue, tiene lugar un proceso de avance (*catching up*) de los rezagados en la economía. Los pioneros dinámicos de la revolución se vuelven lentos en razón de su tamaño, mientras los recién incorporados a la caravana (*bandwagon*) del cambio de paradigma avanzan más aceleradamente. Es una cuestión de peso y ritmo relativo. Las nuevas industrias, desarrolladas en forma explosiva durante el periodo de instalación, ahora son gigantes con un ritmo de crecimiento 'normal'. En cambio, los últimos productos, sistemas e industrias dentro de la misma revolución —o los modernizados o inducidos por ella— pueden estar alcanzando ritmos equivalentes y hasta mayores de productividad y ampliación de mercado. De este modo el empleo aumenta constantemente y, dependiendo del marco institucional, puede haber un sentimiento compartido de mejora creciente en la calidad de la vida en general, muy diferente de los fenómenos centrífugos del periodo de instalación.

Sin embargo, a medida que transcurren los tiempos de prosperidad se va gastando el potencial de la revolución tecnológica. La madurez tecnológica y la saturación de mercados comienzan a restringir el crecimiento de la productividad y la producción en las industrias-núcleo. Entretanto, la generalización de la experiencia adquirida en mercados y producción acorta el ciclo de vida de los últimos productos. Esta restricción creciente reduce la capacidad del sistema para cumplir su promesa de progreso constante, aunque los rasgos de la sociedad opulenta sean todavía fuertes y visibles. Esto, a su vez, conduce al descontento laboral y político. Históricamente, algunas de las mayores oleadas de huelgas tuvieron lugar hacia finales del periodo de despliegue.

⁴No se intenta convertir valores corrientes en constantes por dos razones. En primer lugar, el objeto es ver proporciones relativas en cada punto del tiempo, lo cual se hace más adecuadamente con valores corrientes. En segundo lugar, el periodo considerado es de gran turbulencia económica, e incluye tanto la gran depresión como una gran guerra en cada extremo, de manera que todos los intentos de estandarización serían tan heroicos como cuestionables.

Un historiador del movimiento sindical británico se refiere a los periodos finales de la segunda y tercera oleadas en los siguientes términos:

El final de la década de los sesenta y el comienzo de los setenta del diecinueve fueron, sin duda, años emocionantes para los sindicatos. El Congreso de Sindicatos fue organizado efectivamente... en 1868. La Sociedad Integrada de Ingenieros fue a la huelga por el día de nueve horas... y los mineros de Yorkshire se hicieron particularmente agresivos en sus demandas por aumento de salario...⁵

Los conflictos industriales empezaron a aumentar dramáticamente en vísperas de la primera guerra mundial... La mejoría en las condiciones económicas animó a los sindicatos a intentar revertir las reducciones de salario sufridas en décadas anteriores...⁶

De esta forma, lo que comienza como una época de oro o de bonanza termina en medio de problemas económicos e intensa confrontación política. Ambos fenómenos contribuirán a la gestación de la próxima revolución tecnológica y el ciclo comenzará de nuevo en otra forma singular y específica.

⁵Laybourn (1991), p. 53.

⁶Laybourn (1991), p. 104. Como apunta Hobsbawm, la *belle époque* en la mayor parte de Europa incorporó a las clases medias a la prosperidad pero no llegó hasta las clases trabajadoras (Hobsbawm, 1987: 1989) p. 55. Ello coincide con la observación hecha en la sección F del capítulo 5, según la cual toda la tercera oleada en Inglaterra tuvo rasgos de fase de madurez.