

Revoluciones tecnológicas y paradigmas tecnoeconómicos (*)

Carlota Pérez

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.

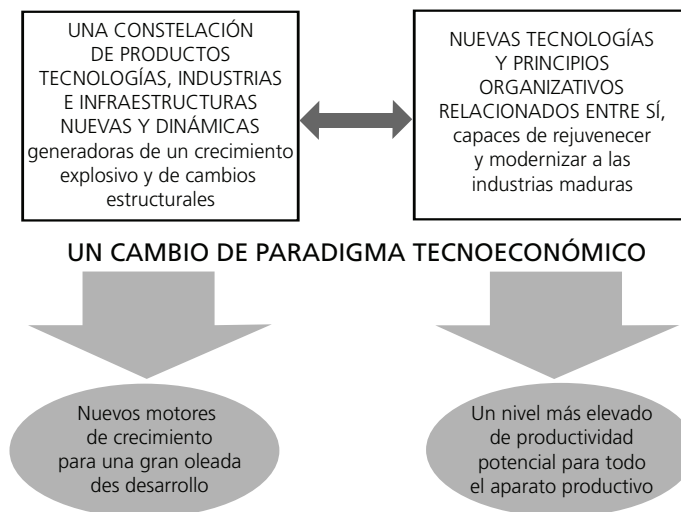
La irrupción de esas importantes constelaciones de industrias innovadoras en un lapso breve podría ser razón suficiente para llamarlas ‘revoluciones tecnológicas’. Sin

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 (diagrama 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 esas ‘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

(*) El texto que aquí se presenta es la transcripción del capítulo 2 (pp. 32-47) del libro de Carlota Pérez: *Revoluciones tecnológicas y capital financiero. La dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*. Siglo XXI Editores, México, 2004, 270 pp.

Diagrama 1



tecnológico'². Se trata de la óptima práctica 'económica' porque cada 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 (Kuhn, 1962), 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 período de propagación de ese conjunto de tecnologías.

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 períodos 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..." (Kuznets, 1971, en Kuznets, 1973, p. 166).

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" (Kuznets, 1973, p. 215; cursivas en el original).

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 períodos 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 1 identifica las cinco revoluciones tecnológicas.

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 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 (ver cuadro 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 (ver al respecto los capítulos 5, sección F y 6, sección B, en este libro).

Antes de articularse como una constelación y de ser reconocida como tal, cada revolución tecnológica pasa por un período 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 período amplio³.

No obstante, aquí se sugiere que para que una sociedad se enrumbé 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 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 de ferrocarril de Liverpool a Manchester. En 1875, Carnegie puso en funcionamiento la siderúrgica de 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 serían 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 un salto adelante en el desarrollo (*catching up*) sino también tomar la delantera (*forging ahead*)⁴. De hecho, podría argumentarse que haría falta identificar dos saltos tecnológicos, uno para cada país implicado en esta 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*⁵ 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

Cuadro 1
Cinco revoluciones tecnológicas sucesivas, 1770-2000

Revolución tecnológica	Nombre popular de la época	País o países-núcleo de la revolución	Big-bang iniciador	Año
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 EEUU)	Prueba del motor a vapor Rocket para el ferrocarril Liverpool-Manchester	1829
Tercera	Era del acero, la electricidad y la ingeniería pesada	EEUU 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	EEUU 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	EEUU (difundiéndose hacia Europa y Asia)	Anuncio del microprocesador Intel en Santa Clara, California	1971

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 período durante el cual se hace cada vez más visible el 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 cambio 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 es proceso concluye, de la revolución anterior apenas queda el rastro.

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 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 sesenta y aun antes. Sin embargo, es sólo el microproce-

sador 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. 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 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, 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 [de este libro].

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 fo-

recimiento 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 químicas 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.

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 período. 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

Cuadro 2
Las industrias e infraestructuras de cada revolución tecnológica

Revolución tecnológica País-núcleo	Nuevas tecnologías e industrias nuevas o redefinidas	Infraestructuras nuevas o redefinidas
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 EEUU)	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. EEUU y Alemania sobrepasando 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. EEUU (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. EEUU (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 adquieren un nuevo papel y dinamismo cuando sirven de materia prima y combustible para los ferrocarriles y la maquinaria del mundo.

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 afectiva de aplicar la revolución tecnológica y 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 beneficios⁶, 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.

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 paradigma⁷ 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 período. 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 (Chandler, 1977, pp. 281-283). En aquel 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’)⁸, 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 prácticas⁹. 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 período 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 (1977), 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 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 sociopolítico y social, y algo que se aproxima al ‘ideal’ del período. Podríamos entonces hablar de un *paradigma organizativo*. Eventualmente, el marco socioinstitucional rigido 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 organización pre-vaeciente 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 de adecuarse a organizaciones muchos más pequeñas¹⁰. 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 eventual-

Cuadro 3

Un paradigma tecnoeconómico diferente para cada revolución tecnológica, desde 1770 hasta más allá del 2000

Revolución tecnológica País-núcleo	Paradigma tecnoeconómico Principios de 'sentido común' para la innovación
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 EEUU)	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. EEUU 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 carteles) 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. EEUU (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 energía (con base en el petróleo) Materiales sintéticos Especialización funcional/Pirámides jerárquicas Centralización/Centros metropolitanos-suburbanización Poderes nacionales, acuerdos y confrontación mundiales
Quinta: Era de la informática y las telecomunicaciones. EEUU (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 Economía de cobertura y de especialización combinadas con escala Globalización/Interacción entre lo global y lo local Cooperación hacia adentro y hacia fuera/'Clusters' Contacto y acción instantáneas/Comunicación global instantánea

mente abarcará una muy amplia gama de instituciones donde probablemente estarán incluidas las del gobierno tanto global como local¹¹.

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 ideologías¹². Éstas, a su vez, determinarán la dirección 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.

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 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 períodos 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 (Pérez y Soete, 1988). Estos son, así mismo, tiempos en los cuales el exceso de inercia puede tener como conse-

cuencia el retroceso (*falling behind*). Por lo tanto, la capacidad para llevar a cabo caminos 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.

Notas

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

2 cf. Pérez (1985) y 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 organicidad más incluyente para representar una suerte de *metaparadigma*, el cual abarcaría los principios fundamentales compartidos por todas las trayectorias individuales de un período. 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 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.

4 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 [nota del traductor].

5 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.

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

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

8 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 'Régulation' 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, 1986; Coriat, 1978.

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

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

11 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).

12 Para un panorama completo de las múltiples implicaciones sociales, culturales, económicas 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' llevado a cabo por Manuel Castells (1996, 1997 y 1998).

Referencias bibliográficas

- Abramovitz, Moses (1986), "Catching up, Forging Ahead and Falling Behind", *Journal of Economic History*, vol. 46, pp. 385-406.
- Aglietta, Michel (1976; 1979) *A Theory of Capitalist Revolution*. London, New Left Books. [Versión en castellano: *Regulación y crisis del capitalismo. La experiencia de Estados Unidos*, 3ª ed., Editorial Siglo XXI, México, 1986].
- Castells, Manuel (1996, vol. 1; 1997, vol. 2; y 1998, vol. 3) *The Information Age: Economy, Society and Culture* (3 volúmenes). Oxford, Blackwell. [Versión en castellano: *La era de la información: economía, sociedad y cultura*. Editorial Siglo XXI, México, 1999].
- Chandler, Alfred (1977) *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*. Cambridge/London, Harvard University Press. [Versión en castellano: *La mano visible. La revolución en la dirección de la empresa norteamericana*. Centro de Publicaciones, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, Madrid, 1988].
- Coriat, Benjamin (1978) *L'atelier et le chronomètre*. C. Bourgeois, Paris. [Versión en castellano: *El taller y el cronómetro: ensayo sobre el taylorismo, el fordismo y la producción en masa*. Editorial Siglo XXI, Madrid, 1989].
- Dosi, Giovanni (1982) "Technical Paradigms et and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants of Technical Change", *Research Policy*, vol. 2, n 3, pp. 147-162.
- Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg, G.; Soete, L. (eds.) (1988) *Technical Change and Economic Theory*. London/New York: Pinter and Columbia University Press.
- Freeman, C. y Pérez, C. (1988) "Structural Crises of Adjustment: Business Cycles and Investment Behavior", en Dosi et al. (eds.), 1988, pp. 38-66.
- Kuhn, Thomas (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*, 2ª ed. aumentada (1970). Chicago. Chicago University Press. [Versión en castellano: *La estructura de las revoluciones científicas*. FCE, México, 1992].
- Kuznets, Simon (1971; 1973) "Modern Economic Growth, Selected Essays", New York: W.W. Norton. [Versión en castellano: *Población, capital y crecimiento*. Editores Asociados, México, 1976; Cap. 5: 'Crecimiento económico moderno: conclusiones y reflexiones'].
- Pérez, Carlota (1983) "Structural Change and the Assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems", *Futures*, vol. 15, nº 5, pp. 357-375.
- Pérez, Carlota (1985) "Microelectronics, long waves and world structural change: New perspectives for developing countries", *World Development*, vol. 13, nº 3, pp. 441-463.
- Pérez, Carlota (1986) "Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto", en Carlos Ominami (ed.) *La tercera revolución industrial, impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires, 1986.
- Pérez, C. y Soete, L. (1988) "Catching Up in Technology: Entry Barriers and Windows of Opportunity", en Dosi et al. (eds.), 1988, pp. 458-479.
- Stankiewicz, Rikard (2000) "The Concept of Design Space", en John Ziman (ed.) *Technological Innovation as an Evolutionary Process*. Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
- Tunzelmann, G. Nick Von (1977) "Innovation and Industrialization: a Long-Term Comparison", *Technological Forecasting and Social Change*, nº 56, pp. 1-23.
- Tylecote, Andrew (1992) *The Long Wave in the World Economy: The Current Crisis in Historical Perspective*. London/New York, Routledge.