Las nuevas tecnologías:
Una Visión de Conjunto

Carlota Pérez

Publicado en C.Ominami, ed. **La Tercera Revolución Industrial**, **Impactos Internacionales del Actual viraje Tecnológico,** Grupo Editor Latinoamericano, Buenos Aires, 1986, pp. 43-89

El interés por el cambio tecnológico ha venido creciendo de manera explosiva en la última década. La política industrial, tanto en los países desarrollados como en los países en vías de desarrollo, incluye cada vez más explícitamente el componente tecnológico. Por esta razón, los estudios de prospectiva tecnológica se están convirtiendo en un pre-requisito para la planificación. Se imponen entonces dos preguntas: Cuán confiables son los estudios de prospectiva tecnológica? Cuán útiles son como guía para las estrategias de desarrollo?

La experiencia pasada es muy desigual. En general, parecería existir una brecha entre la capacidad para extrapolar las líneas de avance en el campo propiamente tecnológico y la de predecir ritmos de difusión en el aparato productivo. Esta brecha es más amplia mientras más joven sea la tecnología en cuestión y se va cerrando a medida que avanza el proceso de difusión, cuando los factores económicos y sociales han tenido oportunidad de manifestarse, haciendo visibles los criterios de selección.

En efecto, el mundo de lo técnicamente posible es mucho más amplio que el de lo económicamente rentable y mayor que el de lo socialmente aceptable. Y estos dos últimos tampoco coinciden. Esto podría significar que la prospectiva tecnológica pura es de utilidad limitada para guiar políticas de desarrollo. Se hace necesario explorar el campo tecnológico con miras a identificar las líneas de fuerza económico-sociales que impulsan y moldean la dirección del desarrollo técnico, así como la forma en que este influye sobre la economía y la sociedad. Esa es la intención de este trabajo.

La sección introductoria presenta un conjunto de categorías para abordar el análisis del cambio tecnológico. Seguidamente, en la segunda parte, se desarrolla la hipótesis de la conformación y difusión de sucesivos "paradigmas técnico-económicos", cuya cristalización conduciría a un cambio de rumbo en la evolución del conjunto de las tecnologías de un período, llevando a profundos cambios estructurales en el aparato económico. La sección tercera analiza la forma como dicho proceso de cambio estructural exige transformaciones igualmente profundas en la esfera socio-institucional.

En base a este modelo general de análisis, se sugiere que nos encontramos en un período de transición tecnológica global, portador de nuevas oportunidades para delinear estrategias de desarrollo. El aprovechamiento de esas oportunidades dependería de la comprensión de los rasgos que definen el nuevo paradigma tecno-económico, el cual en este caso estaría conformado alrededor de la microelectrónica. La sección cuatro analiza algunos de esos rasgos, indicando la manera especifica como tienden a reorientar la evolución tecnológica en productos, procesos de

producción y formas organizativas de la empresa. Luego, en la sección cinco, se explora el impacto que tendría ese modelo tecnológico dominante sobre el desarrollo de otras nuevas tecnologías, concretamente en energía, materiales y biotecnología. Por último se discuten algunas de las implicaciones del nuevo paradigma para las estrategias de desarrollo.

CÓMO PONER ORDEN EN LA MULTIPLICIDAD DE CAMBIOS

Hoy en día enfrentamos amplias transformaciones tecnológicas en diversas esferas de la actividad económica. Al hablar de nuevas tecnologías vienen inmediatamente a la mente los desarrollos en microelectrónica, telecomunicaciones, biotecnología, nuevos materiales, nuevas fuentes de energía, la nueva tecnología espacial y militar. Como obtener entonces una visión de conjunto? Creo que hace falta introducir ciertas formas de categorización que permitan un análisis sistemático.

En primer lugar es importante insistir en la distinción Schumpeteriana[1], entre invención, innovación y difusión.

La *invención* de un nuevo producto o proceso ocurre en lo que podríamos llamar la esfera científico-técnica y puede permanecer allí para siempre. La *innovación* en cambio es un hecho económico. La primera introducción comercial de una invención la traslada a la esfera técnico-económica como un hecho aislado cuyo futuro será decidido en el mercado. En caso de fracasar, puede desaparecer por largo tiempo o para siempre. En caso de tener éxito puede aún permanecer como un hecho aislado, según el grado de apropiabilidad y según el impacto que tenga sobre la competencia o sobre otras áreas de la actividad económica. El fenómeno que realmente interesa es el proceso de adopción masiva. La *difusión* es lo que en última instancia transforma lo que fue una invención en un fenómeno económico-social.

En términos de impacto global podría decirse que lo que más interesa es poder predecir el ritmo de difusión de ciertas innovaciones importantes, pero esto implica introducir las variables económicas, sociales y políticas que habrán de influir sobre su generalización. Un caso típico donde las dificultades de predicción han sido enormes ha sido la difusión de la energía nuclear frente a una amplia resistencia social y política. Pero, tampoco parece fácil predecir innovaciones ni mucho menos invenciones. Cual es, entonces, la lógica detrás del proceso de cambio técnico que permite la prospectiva?

Esto nos lleva a una segunda categorización en el campo del cambio tecnológico: la distinción entre innovaciones incrementales y radicales.

Las *innovaciones incrementales* son las mejoras sucesivas a las que son sometidos todos los productos y procesos. Desde el punto de vista económico, como observa C. Freeman[2], este tipo de cambios sustenta el incremento general de la productividad y determina la gradual

---

[1] J. S. Schumpeter, *Business Cycles: A Theoretical and Statistical Analysis of the Capitalist Process,* Mc Graw'' Hill, Nueva York, 1939.

[2] C. Freeman, "Prometheus Unbound", *Futures*, Vol. 16, No 15, 1984. pp.494-507. Ver también C. Freeman y C.Pérez, "The diffusion of Technical innovations and Changes in Techno-economic Paradigm", Conference on innovation diffusion, DAEST, Univ. de Venecia, marzo, 1986.

modificación de los coeficientes en la matriz insumo - producto pero no transforma su estructura. Los aumentos en la eficiencia técnica, la productividad y la precisión en los procesos, los cambios en los productos para elevar su calidad o reducir su costo o ampliar la gama de sus posibles usos, caracterizan la dinámica evolutiva de toda tecnología. La lógica de esta dinámica, denominada "trayectoria natural" por Nelson y Winter[3] y "paradigma tecnológico" por Dosi[4], es relativamente predecible. Dada una base técnica y los principios económicos fundamentales, es posible predecir con cierta certeza que los microprocesadores, por ejemplo, se harán cada vez más pequeños, más potentes, más rápidos en su operación, etc. Una vez introducida la refinación catalítica, conociendo el perfil de demanda de refinados, era natural esperar que la evolución tecnológica condujera a innovaciones sucesivas para obtener una proporción creciente de gasolina, en detrimento de los derivados más pesados, de menor precio y menor demanda. En la industria de procesos en general, una vez descubierta la famosa Regla de Chilton, según la cual, duplicar la capacidad de la planta solo elevaba el costo de equipamiento en dos tercios, era fácil prever una tendencia a obtener esas economías de escala en toda una gama de industrias.

Pero, esa sucesión de mejoras tiende a alcanzar sus propios limites. Típicamente, el ritmo de cambio es lento al principio, se acelera a medida que se identifican claramente los parámetros de la trayectoria y finalmente se empiezan a enfrentar rendimientos decrecientes. La tecnología del producto o proceso ha alcanzado la madurez y a menos que aparezca una innovación radical que permita el establecimiento de una nueva trayectoria el nivel de productividad se estancara y tenderán a bajar las ganancias.

Las *innovaciones radicales* consisten en la introducción de un producto o proceso verdaderamente nuevo. Por la naturaleza auto - contenida de las trayectorias de cambio incremental, es prácticamente imposible que una innovación radical resulte de los esfuerzos por mejorar una tecnología existente. El nylon no podía surgir de mejoras en las plantas de rayón, ni la energía nuclear de una cadena de innovaciones sucesivas en las plantas de generación eléctrica por combustible fósil. Una innovación radical es por definición una ruptura capaz de iniciar un rumbo tecnológico nuevo. Aunque la disposición a adoptar innovaciones radicales tienda a ser mayor cuando la trayectoria precedente se acerque al agotamiento, su aparición puede ocurrir en cualquier momento y cortar el camino del producto o proceso que sustituye. Por otra parte, hay innovaciones radicales que dan nacimiento a toda una industria. La televisión, por ejemplo, no solo introdujo una rama de fabricación sino también los servicios de programación y transmisión, lo cual a su vez amplio el ámbito de la industria de la publicidad. En este sentido, las innovaciones radicales importantes tienden a transformar la estructura de la matriz insumo-producto agregando nuevas columnas y nuevas filas[5].

Parecería entonces que la prospectiva solo pisa terreno seguro en la predicción de las innovaciones incrementales. Sin embargo, lo que más interesa es precisamente el poder capturar las líneas de fuerza del cambio estructural. Para tratar de abarcar este tipo de fenómenos no basta con una clasificación de las innovaciones individuales. Las transformaciones verdaderamente

---

[3] R. Nelson y S. Winter, “In Search of a Useful Theory of innovation”, *Research Policy*, Vol. 6, No. 1, 1977, pp. 36-76.

[4] G. Dosi, “Technological Paradigms and Technological Trajectories”, *Research Policy*, 11 No. 3, 1982.

[5] C. Freeman, op. cit.

significativas surgen de la interrelación entre innovaciones. Esto nos lleva a otras dos categorías en el análisis del cambio tecnológico: los sistemas tecnológicos y las revoluciones tecnológicas.

Los *sistemas tecnológicos* son constelaciones[6] de innovaciones interrelacionadas técnica y económicamente, afectando a varias ramas del aparato productivo. Rosenberg[7] ha descrito la manera en la cual innovaciones que elevan la velocidad de operación de las maquinas herramienta, por ejemplo, inducen esfuerzos de innovación en aleaciones de corte capaces de operar a mayor temperatura y velocidad y como, en general, la trayectoria incremental en un producto, proceso o rama enfrenta cuellos de botella que se convierten en incentivos para la innovación, incluso radical, en ramas conexas. Nelson y Winter[8] identifican tecnologías genéricas cuya trayectoria natural de evolución abarca todo un conjunto de innovaciones radicales interrelacionadas. A partir de la petroquímica, por ejemplo, se pueden identificar varias familias de tecnologías, las fibras sintéticas que transforman la industria textil y de la confección; los plásticos cuya múltiple impacto como material estructural genera toda una familia de equipos de extrusión, moldeo y corte, transforma la industria del empaque y abre un vasto universo de innovaciones en productos desechables y así sucesivamente.

Desde la perspectiva de un nuevo sistema tecnológico, entonces, se establece una lógica que encadena sucesivas innovaciones radicales interrelacionadas en una trayectoria natural global. Una vez establecida la lógica del sistema, es posible predecir una sucesión creciente de nuevos productos y procesos, cada uno de los cuales, visto individualmente aparece como una innovación radical, pero, dentro del conjunto del sistema puede considerarse como un cambio incremental. La cadena de bienes durables de consumo, metálicos o plásticos con un motor eléctrico, la cual se inaugura con la aspiradora y la lavadora y tiende al agotamiento con el cuchillo eléctrico y el abrelatas eléctrico es un ejemplo banal de este tipo de lógica en el área de productos. La sucesión de materiales plásticos con diversas características, obtenidos a partir de los mismos principios de la química orgánica, es un ejemplo en el área de productos intermedios, con enorme impacto generador de innovaciones en las ramas usuarias. La "revolución verde" con la introducción de sucesivas generaciones de maquinaria agrícola movida por petróleo, junto con familias crecientes de innovaciones petroquímicas en fertilizantes, herbicidas y pesticidas es un ejemplo de evolución coherente en la lógica de un sistema productivo.

Un aspecto importante en cuanto al impacto global de un nuevo sistema tecnológico es el anotado por Freeman[9] en relación al carácter múltiple de las innovaciones que lo constituyen. No se trata solo de innovaciones puramente técnicas. Cada sistema tecnológico conjuga innovaciones en insumos, productos y procesos con innovaciones organizativas y gerenciales. La constelación tecnológica de la "revolución verde" condujo al monocultivo en grandes extensiones e indujo cambios en la organización de la producción y distribución así como en la estructura de la propiedad. El automóvil, la línea de ensamblaje, la estructura corporativa, las redes de suplidores de partes, de distribuidores y de estaciones de servicio son solo una parte de

---

[6] B. S. Keirstead, *The Theory of Economic Change*, MacMillan, Toronto, 1948

[7] N. Rosenberg, *Perspectives on Technology*, Cambridge Univ. Press, 1975.

[8] R. Nelson y S. Winter, op.cit.

[9] C. Freeman. C. Clark. L. Soete, *Unemployment and Technical innovation: A Study of Long Waves in Economic Development*, Frances Pinter, Londres.1982.Cap. 4

la constelación de interrelaciones técnicas, económicas y sociales estructurada alrededor del motor de combustión interna.

Pero, un sistema tecnológico no es el máximo nivel de generalidad para analizar el mundo tan aparentemente variado de las tecnologías. Tal como indicaba Schumpeter[10], hay innovaciones radicales cuya evidente capacidad para transformar todo el aparato productivo exige calificarlas de verdaderas *revoluciones tecnológicas*. Estas son, en realidad una constelación de sistemas tecnológicos con una dinámica común. Su difusión a lo largo y ancho del sistema productivo termina por englobar la casi totalidad de la economía. Estas revoluciones conducen a profundos cambios estructurales y están a la raíz de cada gran auge de la economía mundial. La revolución industrial en Inglaterra, la "era del ferrocarril" a mediados del siglo pasado, la electricidad y el acero Bessemer en la "Belle Epoque", el motor de combustión interna, la línea de ensamblaje y la petroquímica en el reciente "boom" de post-guerra, son todos ejemplos de este tipo de revoluciones de impacto generalizado capaces de transformar el modo de producir, el modo de vivir y la geografía económica mundial.

Estas revoluciones son, por lo tanto, el núcleo generador de cambios masivos y fundamentales en el comportamiento de los agentes económicos. Cual es el mecanismo capaz de servir de guía para un cambio de rumbo de esta naturaleza? La teoría económica sostiene que las decisiones de inversión se toman en función de los costos relativos del trabajo y del capital. Pero, como indica Freeman[11], es iluso suponer que una decisión de largo alcance se tome en base a pequeñas variaciones en el costo relativo de los factores y ni siquiera en base a un cambio significativo si no hay razones para suponer que este sea permanente. En ese sentido, he adelantado la hipótesis[12] de que cada revolución tecnológica se basa en una modificación radical y duradera en la dinámica de costos relativos del conjunto de todos los posibles insumos del proceso productivo, estableciendo que algunos tenderán a la baja y otros al alza por largos períodos de tiempo. Esta previsibilidad se convierte entonces en plataforma para la construcción de un "tipo ideal" de organización productiva, definiendo el contorno de las combinaciones más eficientes y de menor costo durante un período dado y sirviendo, en consecuencia, como norma implícita orientadora de las decisiones de inversión y de innovación tecnológica, tanto incremental como radical. En la practica, entonces, la difusión de cada revolución tecnológica especifica seria guiada por un "paradigma tecno-económico" cada vez más enraizado en la conciencia colectiva, hasta convertirse en el "sentido común" de ingenieros, gerentes e inversionistas, para el logro de la máxima eficiencia y la optima practica productiva.

Esto significaría el establecimiento de una lógica general capaz de orientar no solo el rumbo de las innovaciones incrementales, sino el surgimiento de innovaciones radicales, de nuevos sistemas tecnológicos y de su creciente interrelación en base a criterios comunes e identificables. La prospectiva, entonces, se hace posible, a escala global, pudiendo además identificar criterios para evaluar la importancia relativa de los diversos sistemas tecnológicos en un período dado y la probabilidad de su difusión.

---

[10] J. S. Schumpeter, op. cit.

[11] C. Freeman. C. Clark. L. Soete.. op. cit. Cap. 4.

[12] C. Pérez, Microelectronics, Long Waves and Structural change: New Perspectives for Developing Countries",*World development*, Vol. 13, No 3, 1985, pp.441-463.

LOS PARADIGMAS TECNO-ECONOMICOS COMO FORMADORES DEL "SENTIDO COMUN" EN LA ESFERA PRODUCTIVA

Para que una revolución tecnológica se difunda de una rama a otra ya a escala mundial, se requiere algo más que la constatación de un nuevo potencial técnico. La difusión coherente exige un vehículo sencillo de propagación, accesible a millones de agentes individuales de decisión. He sugerido que el elemento organizador del mecanismo selectivo y estructurador de cada paradigma seria un insumo - o conjunto de insumos - capaz de ejercer una influencia determinante en el comportamiento de la estructura de costos relativos. Este seria el vector de incorporación del nuevo paradigma al sentido común de ingenieros y gerentes.

Dicho insumo, que denominaremos "factor clave", llega a jugar un papel orientador de esa naturaleza, cuando cumple las siguientes condiciones:

a) Su costo relativo debe ser bajo de manera obvia y con tendencias decrecientes claramente previsibles

b) Su oferta, a pesar de una demanda creciente, debe aparecer como ilimitada,

c) Su potencial universalidad de usos, para propósitos productivos, debe ser masiva y evidente, y

d) Debe encontrarse a la raíz de un sistema de innovaciones técnicas y organizativas, claramente reconocidas como capaces de cambiar el perfil y reducir los costos del equipamiento, de la mano de obra y de los productos.

Esta conjunción de características esta dada hoy para la microelectrónica. Por esa razón, orienta cada vez más el sentido común ingenieril y gerencial hacia su uso intensivo, modelando gradualmente la nueva frontera de practica productiva optima, tanto para las industrias existentes como para las ramas nuevas. Hasta hace poco, la conjunción estaba dada para el petróleo barato, el cual, junto con los insumos petroquímicos y otros materiales energo-intensivos, sustento el paradigma de producción en masa, desplegado plenamente a partir de la segunda post-guerra y hoy agotado. En la onda larga anterior, desencadenada a fines del siglo pasado, el rol de factor clave correspondió al acero barato, el cual impulso el crecimiento de las industrias de ingeniería pesada, mecánica, eléctrica y química. El llamado "boom Victoriano" de mediados del siglo diecinueve (la "época del ferrocarril") habría contado a su vez con la disponibilidad de carbón barato y de transporte barato en base a la maquina de vapor.

Por supuesto que ninguno de estos insumos era "nuevo" desde el punto de vista técnico. Cada uno de ellos tenia una historia previa de desarrollo bajo el paradigma anterior e incluso mucho más tiempo atrás. El acero se difundió como una variante técnica del hierro para usos específicos, hasta que los procesos Bessemer y Siemens Martin redujeron su costo a un décimo, abriendo el camino para su conversión en el material básico para las grandes obras civiles y los equipos de generación eléctrica. El petróleo había sido utilizado para propósitos limitados hasta que el motor de combustión interna lo transformo en la principal fuente de energía para todo tipo de equipos de transporte. Y este uso, junto con la generación de electricidad a partir de derivados de petróleo, se hizo barato cuando los avances tecnológicos en refinación se conjugaron con la extracción de petróleo de bajo costo, especialmente de los yacimientos del Medio Oriente. La

electrónica comenzó con válvulas, luego se dio un gran salto en confiabilidad y en costos con los transistores. Pero, por largo tiempo, la electrónica se desarrollo bajo la lógica del paradigma de producción masiva energo-intensiva, contribuyendo a ampliar la gama de innovaciones sucesivas en bienes durables de consumo, armamento masivo y a colaborar en el desarrollo de los instrumentos de control de procesos en la industria química. Su aplicabilidad universal solo se hizo visible cuando sus funciones iniciales de control convergieron de manera sinergética con el procesamiento de datos. Y esta ubicuidad potencial se transforma en lógica técnico-económica, cuando la integración en gran escala permite producir microprocesadores y otros "chips" microelectrónicos cada vez más potentes y cada vez más baratos. Hacia el futuro podría especularse que la biotecnología podría quizás seguir un camino similar, llegando a alguna forma de salto tecnológico generador de una drástica reducción en costos, luego de crecer y desarrollarse por un tiempo como un sistema tecnológico cada vez más importante, bajo la lógica del paradigma liderizado y moldeado por la microelectrónica.

Lo verdaderamente nuevo, entonces, no es el mero hecho técnico. La ruptura se produce cuando se entrelazan lo técnico y lo económico a través de una dramática reducción del costo relativo del insumo o conjunto de insumos clave, como consecuencia de una serie de eventos, algunos fortuitos otros motivados, incluyendo una constelación de innovaciones técnicas y organizativas radicales. Y estos saltos tecnológicos tienen mayor probabilidad de ocurrir - o de ser plenamente reconocidos, explotados y ampliamente aplicados- cuando el conjunto de tecnologías basadas en el uso del factor clave de turno ha agotado su potencial para contribuir al aumento de la productividad.

Es importante notar que las manifestaciones de agotamiento de un paradigma son múltiples. Cualquier conjunto de tendencias llevadas hasta sus ultimas consecuencias tiende al absurdo. La rebelión de los "hippies" contra la masificación y el consumismo, la creciente resistencia laboral frente a la rigidez y monotonía de la línea de ensamblaje, el movimiento ecológico contra la contaminación, el desperdicio y el agotamiento de los recursos naturales, son la contraparte social de lo que en el terreno técnico-económico son los problemas confrontados por ingenieros y gerentes para seguir aumentando la productividad, las ganancias, los mercados o la cadena de productos en los sistemas tecnológicos bien transitados. En este contexto, es posible interpretar el controversial informe sobre "Los Limites al Crecimiento" como la extrapolación de un paradigma más allá de su vida útil.

En efecto, lo que sustenta la inevitabilidad de la difusión de un nuevo paradigma a lo largo y ancho del aparato productivo es su capacidad para superar las limitaciones especificas enfrentadas con el paradigma anterior, ofreciendo además un salto cuántico en productividad potencial, brindando oportunidades inéditas de inversión en nuevas áreas e inaugurando nuevas trayectorias de evolución tecnológica. El reconocimiento de ese nuevo potencial es lo que impulsa el cambio masivo en los criterios aplicados por ingenieros y gerentes en sus decisiones de innovación e inversión.

Mas aun, el proceso tiende a auto-alimentarse y auto-reforzarse. A medida que un paradigma tecno-económico se difunde, se introduce un fuerte sesgo en la dirección de la innovación, tanto en el terreno técnico como en el organizativo. De esta manera, la oferta de insumos y bienes de equipo, al incorporar cada vez más los nuevos principios, tiende a reducir el espectro de técnicas disponibles para los usuarios, lo cual propulsa aún más la generalización del nuevo modelo, incluyendo las formas organizativas que lo acompañan. A la larga, el perfil de la producción se

orienta cada vez más al uso intensivo del factor clave favoreciendo el crecimiento de las ramas que mejor aprovechan las nuevas ventajas. Gradualmente, para cada tipo de producto, se van estableciendo señales cada vez más claras indicando la trayectoria innovativa, la optima escala de producción, los precios relativos e incluso las formas de competencia típicas en cada mercado. Y este proceso continua hasta que los nuevos parámetros y el nuevo modelo ideal de optima eficiencia productiva se transforman en "sentido común" generalizado.

Esto conlleva además cambios profundos en la importancia relativa de las diversas ramas de la economía. Las ramas motrices de la economía son distintas en cada auge económico, con lo cual los polos de acumulación donde se concentran los mayores capitales son precisamente, en cada caso, aquellos donde se produce el factor clave y aquellos donde se logra el mejor aprovechamiento de las ventajas que este brinda para lograr un salto cuántico en la productividad. Igualmente, el despliegue de cada paradigma tiende a requerir el crecimiento masivo de una red especifica de infraestructura, la cual contribuye a unificar el nuevo sistema, generando sus principales externalidades y facilitando la construcción del tejido especifico de relaciones inter-ramas de cada período. Alrededor de las ramas principales e impulsadas por el crecimiento de la red de infraestructura (y del costo descendente de acceso a ella), aparece un nuevo conjunto de ramas y actividades inducidas. Estas ramas completan el tejido de interrelaciones aguas arriba y aguas abajo. Su proliferación es característica de los períodos de auge de onda larga.

Sugerimos, entonces, que cada auge esta signado por la construcción y generalización de un tejido diferente y motorizado por el crecimiento de ramas distintas de las que prevalecieron en el auge anterior. En eso precisamente consiste el cambio estructural.

Reconozco, por supuesto, que estas clasificaciones e incluso la identificación de un factor clave le hacen inevitablemente violencia a la inmensa riqueza y la profunda complejidad de las transformaciones en cuestión. El esfuerzo ha de interpretarse como un intento de encontrar formas de focalizar el análisis del cambio estructural y categorías útiles para su conceptualización.

Para dar una visión impresionista de esta forma de abordar las grandes líneas tecno-económicas de un paradigma y su sustitución por otro, examinemos brevemente algunos de los elementos de la transición actual, aunque más adelante los discutiremos con mayor detalle.

Veamos primero los principales rasgos del paradigma tecno-económico hoy agotado, el cual, habiendo tomado forma básicamente en los años veinte y treinta, habría sido el fundamento del modo de crecimiento, establecido a partir de la Segunda Guerra Mundial. El factor clave del paradigma fue el petróleo barato, junto con los materiales energo-intensivos, especialmente los plásticos. El modelo de eficiencia para la organización del trabajo en planta era el proceso continuo o línea de ensamblaje para la producción masiva de productos idénticos. El tipo ideal de empresa era la "corporación", manejada por una jerarquía administrativa y gerencial, de carácter profesional y claramente separada de las actividades de producción; su estructura incluía un departamento de investigación y desarrollo y la competencia en el mercado toma forma oligopólica. Las ramas motrices eran las empresas gigantes petroleras, petroquímicas, del automóvil y otras productoras de bienes masivos energo-intensivos para los mercados de consumo y militares. El crecimiento complementario de estas ramas núcleo indujo la proliferación del sector servicios (desde las estaciones de gasolina y los supermercados hasta la industria publicitaria y el sector financiero diversificado) al igual que de la industria de la

construcción. El sistema requería cantidades crecientes de mano de obra especializada, tanto de planta como de oficina. Se beneficiaba de economías de aglomeración y se basaba en y propulsaba el extensivo crecimiento de una red de carreteras y de un sistema de distribución del petróleo y sus productos (incluyendo electricidad), para alimentar un sistema energo-intensivo de producción, de transporte y de modo de vida de la población.

Hoy, con la amplia disponibilidad de microelectrónica barata (conjuntamente con el consiguiente bajo costo del manejo de información), se esta conformando y difundiendo un nuevo paradigma tecno-económico. Ya no parece de "sentido común" continuar por el camino -ahora caro- del uso intensivo de energía y materiales. La organización "ideal" de la producción que se viene dibujando desde comienzos de los años setenta propicia la fusión de la administración, la producción y la comercialización en un solo sistema integrado (mediante un proceso que denominaremos "sistemización"), para producir de manera flexible un conjunto variado y cambiante de bienes o servicios información-intensivos. Las ramas motrices del crecimiento serán presumiblemente el sector electrónico y de información, en particular componentes y bienes de capital, impulsados por e impulsando una vasta red infraestructural de telecomunicaciones. El perfil ocupacional tiende a reducir los requerimientos de calificaciones medias y a aumentar los de los extremos superior e inferior de la escala, al mismo tiempo que demanda menos especialización estrecha y más capacidades básicas multipropósito para manejo de información. En todas las esferas parecen surgir tendencias hacia el establecimiento de redes y sistemas, mientras la uniformidad y la repetitividad tienden a sustituir la uniformidad y la repetitividad como practicas optimas de "sentido común".

Estamos diciendo entonces las nuevas tecnologías no tienen todas igual importancia como portadoras de indicadores de futuro. La tecnología que sirve como vectora del paradigma sirve de marco organizador e imprime su sello sobre el rumbo de todas las demás. En el caso que nos ocupa, las nuevas tecnologías en materiales, energía y biotecnología tenderán a ser subordinadas al sistema tecnológico definido por la microelectrónica. Por esta razón, sus perspectivas de desarrollo han de ser analizadas en el contexto de su inserción en el nuevo paradigma. Mas adelante, luego de haber caracterizado el modelo generado por la microelectrónica, haremos una exploración de esa naturaleza.

Antes de entrar en el análisis de las tecnologías, sin embargo, es importante discutir las consecuencias del cambio estructural sobre el marco socio-institucional en el cual este se desenvuelve, así como la influencia inversa. En fin de cuentas, el objeto de la prospectiva tecnológica es la toma de decisiones socio-institucionales. Analicemos la forma que asume esta interacción en las épocas de transición.

CAMBIO ESTRUCTURAL Y TRANSFORMACIONES SOCIO - INSTITUCIONALES

Una transformación estructural de la naturaleza que hemos estado describiendo no ocurre sin conflictos. De hecho, esa puede ser la explicación de las grandes crisis económicas que han ocurrido cada 40 a 60 años desde la Revolución Industrial. Ya Schumpeter se refería al proceso característico de las crisis con una expresión paradójica: "destrucción creadora". Asimismo describía los grandes auges económicos de las llamadas ondas largas de Kondratieff como "el

despliegue de una revolución tecnológica y la absorción de sus efectos"[13]. El problema es que los efectos son verdaderamente dramáticos.

A partir del momento en que se establecen los principales elementos guía de un paradigma y se modifica la estructura general de costos, el modelo construido a su alrededor crece en complejidad y coherencia, yendo mucho más allá del simple cambio técnico. En la practica, afecta casi todos los aspectos del sistema productivo. La constelación completa -una vez cristalizada- comprende:

a) Nuevos conceptos de eficiencia para la organización de la producción a nivel de planta.

b) Un nuevo modelo de gerencia y organización de la empresa.

c) Un nivel significativamente menor de requerimientos de trabajo por unidad de producto, con un perfil distinto de calificaciones.

d) Un fuerte sesgo hacia el uso intensivo del factor clave en la innovación tecnológica.

e) Un nuevo patrón de inversión, orientado hacia los sectores relacionados con el factor clave, impulsando e impulsado por la inversión en una nueva red de infraestructura.

f) Un sesgo, por lo tanto también, en la composición de la producción, con mayores tasas de crecimiento de los productos relacionados con el uso del factor clave.

g) Una redefinición de las escalas optimas resultando en la redistribución de la producción entre empresas grandes y pequeñas.

h) Un nuevo patrón de localización geográfica de la inversión, basado en la transformación de las ventajas (y las desventajas!) comparativas.

i) Nuevos polos de concentración de las empresas más poderosas, sustituyendo a los que prevalecieron en el paradigma anterior.

Modificaciones de tal profundidad, aún ocurriendo gradualmente, como efectivamente sucede, terminan por provocar el caos en todos los mercados. Su asimilación exige, por lo tanto, cambios sustanciales en el marco socio-institucional prevaleciente, el cual había sido establecido en función de las características del paradigma anterior.

Incluso en una oficina donde se introducen procesadores de palabras, facsímiles, módems y otros equipos automáticos de manejo y transmisión de información, se requiere un reentrenamiento masivo del personal, una redefinición del espacio y las funciones, nuevas normas de interrelación y repensar el sistema en su conjunto, para poder cosechar el potencial que brinda el nuevo equipamiento. Con mayor razón aparece la necesidad de transformaciones a nivel de una sociedad en su conjunto, cuando se difunde una nueva racionalidad técnico-económica en el aparato productivo.

En realidad el auge económico global no se produce en los primeros anos, ni siquiera en las primeras décadas de difusión del nuevo paradigma tecno-económico. Los elementos que han de conformarlo aparecen gradualmente en el seno de un mundo dominado por el paradigma anterior. Los computadores, los circuitos integrados, las maquinas herramienta de control numérico e incluso algunos robots empezaron a difundirse en la década del sesenta en el mundo

[13] J. S. Schumpeter, op.cit.

del petróleo y del automóvil. A su vez, el motor de combustión interna, el automóvil, la línea de ensamblaje y los primeros materiales sintéticos aparecieron a comienzos de siglo en el mundo del acero barato cuando el crecimiento era movido por la gran ingeniería eléctrica, química y civil. En ninguno de los dos casos era posible percibir, a partir de esos inicios, la amplitud de la transformación estructural que sobrevendría. La frontera técnica se hace claramente visible como lo muestra la capacidad de anticipación que se genera en este terreno. En 1937 se estimo que el 78% de una lista de predicciones tecnológicas hechas en 1920 en el Scientific American habían sido correctas [14]. Pero, el proceso y ritmo de difusión, la viabilidad económica y social no son igualmente visibles al principio. Sin embargo, a medida que una empresa tras otra, que una rama tras otra va agotando su trayectoria y viendo estancarse su productividad y amenazados sus niveles de ganancia, se acelera el ritmo de adopción de los diversos elementos de lo que será el nuevo paradigma y de generación de innovaciones complementarias, con lo cual se van creando las condiciones para la prospectiva global.

Pero esta serie de cambios sucesivos en más y más puntos del aparato económico no se percibe en el agregado sino cuando las transformaciones han alcanzado proporciones criticas. Ese proceso de abandono gradual de un modelo productivo en declinación y de adopción creciente del nuevo modelo caracteriza las décadas de descenso de las ondas largas de Kondratieff.

Las instituciones sociales y el marco general de regulación socio-económico [15] enfrentan una situación caótica y desacostumbrada, frente a la cual las recetas por largo tiempo eficaces se muestran impotentes. Se produce, entonces un desacoplamiento cada vez más severo entre un marco socio-institucional establecido para favorecer el despliegue del paradigma anterior en declinación y los nuevos requerimientos en una esfera técnico-económica pletórica de cambios. Mas aun, la aplicación pertinaz de las viejas recetas agrava la crisis y puede conducir al colapso.

La crisis es ciertamente un proceso de "destrucción creadora" pero no solo en el aparato económico sino también en la esfera socio-institucional. El nuevo auge solo puede ser desencadenado mediante vastas innovaciones socio-institucionales que favorezcan la transformación total del aparato productivo, según los requerimientos del nuevo paradigma.

La última vez, frente a la gran depresión de los años treinta, fue necesario superar las nociones prevalecientes sobre la superioridad de los mecanismos de libre mercado e implantar la intervención masiva y sistemática del Estado en la economía, siguiendo los principios keynesianos. La lista de innovaciones institucionales introducidas entonces para ordenar el crecimiento de la demanda para la producción en masa, es ciertamente larga. A nivel nacional, se extiende desde los mecanismos de manipulación fiscales, monetarios y de gasto publico (civil y militar), hasta la institucionalización de los sindicatos y el establecimiento de una vasta red de seguridad social, pasando por la reducción de la jornada y el ano laboral. En el plano internacional, estos fueron complementados por la hegemonía norteamericana, Bretton Woods, la ONU, el GATT, el Plan Marshall, el FMI, el Banco Mundial, la descolonización gradual y

---

[14] U. S. national resources Committee, Technological Trends and National Policy , U. S. Government Printing Office, Washington, D. C, junio, 1937

[15] Una interpretación similar de las relaciones entre el marco socio-institucional y la tecnología subyacente, en base al desarrollo del concepto de “regulación”, así como un análisis exhaustivo de lo que él denomina el modelo “fordista” de regulación de la producción y el consumo, se encuentra en M. Aglietta, Regulation et Crises du Capitalisme, Calmann levy, París, 1976. Ver igualmente los trabajos de M. Boyer. A. Lipietz y B. Coriat

otros arreglos conducentes a facilitar el flujo internacional de capitales y comercio, así como mantener la estabilidad política. Sin embargo, cada una de esas innovaciones, eficaz y ampliamente aceptada en su momento, esta siendo cuestionada más o menos virulentamente por uno u otro grupo social. La superación de la crisis exige el establecimiento de nuevas reglas del juego, nuevos mecanismos de regulación y nuevas instituciones.

Ese proceso de innovación social y política es naturalmente prolongado y profundamente conflictivo. No obstante, hasta que no se restablezca la coherencia estructural, logrando un contexto socio-institucional favorecedor del nuevo potencial que trata de abrirse paso en la esfera tecno-económica, no es posible relanzar la producción sobre un camino de expansión duradera.

Claro que, al igual que la construcción del paradigma tecno-económico, la conformación de un marco socio-institucional coherente es un proceso gradual de ensayo y error, generalmente propulsado por la necesidad de confrontar las diversas manifestaciones de la crisis y a menudo obstaculizado por la inercia de las instituciones existentes y la defensa de los intereses creados, asociados al viejo modo de crecimiento.

Pero no se trata de un mero determinismo tecnológico. Lo que un paradigma establece es el amplio espacio de lo posible. Dentro de él, las fuerzas sociales escenifican las confrontaciones, experimentos institucionales y arreglos de compromiso o cooperación, cuyo resultado es el marco que en última instancia moldea, orienta, selecciona y regula el curso definitivo que asumirá el nuevo potencial.

Esto significa que cada crisis, cada período de transición tecnológica, es un momento de indeterminación en la historia. Un salto cuántico en productividad potencial abre el camino para un gran aumento en la generación de riqueza, pero los bienes específicos que conformen esa mayor riqueza y la forma de su distribución son determinadas por el marco socio-político que se establezca. Históricamente, cada transición ha modificado tanto las condiciones internas de las diversas capas y grupos sociales en cada país como la posición relativa de los países en la generación y distribución de la producción mundial.

Para cada país, cualquiera sea el nivel de desarrollo alcanzado en el curso de la onda anterior, se plantea la necesidad de efectuar las transformaciones internas y de participar en la conformación del nuevo marco a escala mundial. Si las hipótesis aquí presentadas son una representación adecuada del carácter de la crisis y las vías para superarla, entonces la mejor manera de obtener criterios para realizar una transición exitosa y dar un salto en el desarrollo es comprender el nuevo paradigma. Ello es posible porque para el momento en que la crisis se manifiesta, este ya ha alcanzado un nivel de difusión que permite analizar sus características.

Esto sugiere otro tipo de prospectiva, dirigida a detectar la lógica de desarrollo e interrelación de las nuevas tecnologías e identificar los cambios de rumbo con respecto a las practicas anteriores. Delinear el contorno del nuevo paradigma define el espacio abierto para la creatividad y la toma de decisiones, tanto en ramas especificas como para la economía en su conjunto y revela algunas de las nuevas opciones socio-institucionales.

A continuación haremos una exploración de esa naturaleza. Primero presentaremos un esbozo de los rasgos que caracterizan el nuevo paradigma y luego nos serviremos de esos rasgos para analizar su influencia sobre el curso de desarrollo de otras tecnologías nuevas.

EXPLORACIÓN DE LOS RASGOS DEL NUEVO PARADIGMA

De la discusión que antecede queda claro que el esfuerzo que proponemos no se centra en la industria electrónica misma sino en las nuevas tendencias que su desarrollo y difusión generan en el conjunto del aparato productivo.

Comenzaremos por analizar los elementos más estrechamente relacionados con el cambio en la dinámica de costos relativos. Su impacto sobre el rumbo de las trayectorias innovativas y el perfil de creación de mercados. Luego examinaremos el nuevo modelo optimo de producción conformado en base a las características del nuevo equipamiento. Por ultimo, trataremos de identificar la dirección del cambio en las formas de organización y gerencia de la empresa.

NUEVOS PARAMETROS EN LAS TRAYECTORIAS INNOVATIVAS

El rasgo predominante del nuevo paradigma es la tendencia a aumentar el contenido de "información" en los productos más bien que el contenido energético o de materiales. Esto surge directamente del cambio radical y duradero en la estructura de costos relativos hacia el abaratamiento constante del potencial de manejo y transmisión de información. Para que este fenómeno introduzca un sesgo en la dirección de la innovación no es necesario esperar que el costo de la energía y las materias primas tome un curso ascendente en términos absolutos. Basta con suponer que el costo descendente y el creciente potencial de la microelectrónica conducirán a la ampliación de la brecha de costos relativos en el futuro. Con esta perspectiva es posible extrapolar hacia el futuro la profundización de tendencias ya observadas en el diseño de productos y de procesos.

a) Nuevos conceptos-guia para las innovaciones incrementales en productos

Un impacto inmediato de la disponibilidad de microelectrónica barata es su capacidad para insertarse en los productos tradicionales agregando una nueva trayectoria incremental con nuevos conceptos-guia. Esto se traduce en rediseño y modificaciones sucesivas con nuevos objetivos: minimizar el tamaño, las partes móviles, los insumos de energía y materiales, así como el consumo energético en el uso. Maximizar la electrónica, la versatilidad y lo que en general podría denominarse el contenido en información. Esto ha venido ocurriendo en toda una gama de bienes, desde relojes, calculadoras, cajas registradoras y maquinas de coser hasta maquinas herramienta y automóviles. Las posibilidades son vastas y están muy lejos de haber sido plenamente explotadas. Y estos parámetros de optimización se aplican también a los productos nuevos, como es claramente visible en el caso de las generaciones sucesivas de computadoras.

Una vez sobre la ruta de explotación de las posibilidades propias de la electrónica, surgen nuevos rasgos-objetivo, para indicar el rumbo de innovación a nivel de productos. Lo pequeño es más hermoso y más rentable que lo grande, lo versátil, lo compatible, lo adaptable es mejor que lo rígido. Un producto programable es mejor que uno dedicado. Un producto capaz de crecer en forma modular es superior a uno de escala y potencial definidos y estáticos. Un producto con

mayor velocidad de operación y respuesta es preferible a uno menos rápido. Todo producto capaz de conectarse a una red o constituir el núcleo o una parte de un sistema es mejor que un producto aislado. La "inteligencia" distribuida es más eficiente que la centralizada.

Esta nueva escala de valores se transmite a los usuarios a través de la publicidad, con lo cual la demanda se convierte en un instrumento más de refuerzo del nuevo rumbo innovador.

c) Nuevas trayectorias para las innovaciones radicales en productos

La industria de componentes microelectrónicos y las olas de propagación de sus aplicaciones generan rumbos claramente definidos para impulsar múltiples cadenas de innovación radical en productos [16]. El conjunto puede ser visto como un gran sistema tecnológico conformado por varios subsistemas.

El sistema tecnológico central es el dinamizado por la industria de componentes microelectrónicos. Sus requerimientos en insumos, materiales especiales y equipos son una enorme fuerza impulsora de innovaciones radicales.

En interacción con la provisión de componentes cada vez más potentes, más capaces, más veloces y más baratos, se conforma una red de subsistemas. Uno de ellos, el de las computadoras, sigue varias trayectorias: una hacia equipos cada vez más poderosos, otra hacia equipos especializados, una tercera hacia un producto básico de uso individual, cada vez más versátil y barato y, finalmente, la creciente interconexión entre diversos equipos en redes crecientemente poderosas, flexibles y complejas. Todas estas líneas se amplían hacia el futuro con la meta de la "inteligencia artificial". Alrededor de las computadoras se construye el modelo de la "oficina del futuro" abriendo una cadena de innovaciones para automatizar todas las actividades de manejo de información. Esta se conjuga con otro subsistema tecnológico construido alrededor de las telecomunicaciones digitales para la transmisión de información en cualquier forma: voz, datos o imagen. Este constituye la red de infraestructura del paradigma. La conjunción de ambos impulsa innovaciones sucesivas en diversas ramas tradicionales, desde la industria de la televisión que se dirige a la transmisión por cable interactivo, pasando por la revolución en los servicios bancarios y financieros, hasta la introducción de nuevos requerimientos en las edificaciones a los cuales ha de responder la industria de la construcción. Mas importante aun, esta conjunción genera dos nuevas ramas con largas trayectorias de innovación hacia el futuro: la industria de software y sistemas y la industria de servicios de procesamiento de datos e información.

A la "oficina del futuro" se agrega la "planta del futuro". Una vez que se establece el principio del tratamiento de información con equipos programables y lenguajes digitales, se abren líneas de innovaciones sucesivas en bienes de capital para todas las actividades productivas de bienes o servicios y para la interconexión entre ellos y con la oficina. Estos no se limitan a la automatización de las actividades de transformación (maquinas herramienta computarizadas, robots) sino que abarcan un vasto campo de instrumentación nueva para actividades auxiliares o periféricas: la investigación, el diseño, el control de calidad, el control de procesos, el control

[16] Para un amplio análisis evaluativo de las perspectivas de desarrollo de las tecnologías basadas en la microelectrónica, ver J. Bessant. K. Guy. I. Miles. H. Rush. *I.T. Futures*, Nedo, H. M. S. O.. Londres, 1985

ambiental, el diagnostico de fallas y así sucesivamente, al igual que sus sistemas de interconexión. A su vez, estas aplicaciones propulsan el desarrollo de varias otras tecnologías, nuevos materiales, optoelectrónica, sensores, etc.

La amplias posibilidades de introducción de innovaciones que abarquen más y más ramas de aplicación y más y más actividades, multiplicadas por el numero de generaciones sucesivas de cada equipo, indican que las trayectorias de desarrollo de estos sistemas tecnológicos se alargaran por largo tiempo hacia el futuro. Estas cadenas de innovaciones amplían aún más el campo de acción de la industria del software al mismo tiempo que inducen oleadas de cambios en los productos de las industrias usuarias.

Este crecimiento explosivo de las posibilidades de innovación en el área de bienes de capital, es el vehículo más poderoso de propagación del nuevo modelo de organización de la producción y de la empresa y se constituye en el impulso principal a la innovación aguas abajo. Esto contrasta con el paradigma anterior en el cual se puede decir, de manera gruesa, que la dinámica innovativa era mayor en el área de materiales, química y productos finales (militares y de consumo), mientras los bienes de capital tendían a desarrollarse en respuesta a sus requerimientos.

Dicho esto, en el área de bienes de consumo, también se abre una amplia trayectoria para innovaciones radicales basadas en la disponibilidad de electrónica barata. Mas allá de la "electronización" gradual de los productos ya tradicionales, la introducción en el hogar del computador, la videograbadora, el teléfono digital, el horno electrónico y otros productos aislados, establece las bases para una nueva sinergia similar a la que se da en la planta y la oficina. El lenguaje digital común de todos esos productos genera posibilidades de interconexión entre ellos y hacia el exterior a través de las redes de telecomunicaciones, a partir de las cuales puede surgir una dinámica de innovaciones en productos sucesivos para el "hogar integrado por computadora". Pero, más allá de los equipos físicos, este posible desarrollo abriría toda una cadena de innovaciones destinadas a proveer servicios de información interactivos, partiendo de la televisión por cable, la banca en línea directa y las compras remotas, ya introducidas parcialmente en algunos países, pasando por el correo electrónico, la educación a distancia, las consultas con bancos de datos y sistemas expertos, previstas para un futuro relativamente cercano, y así sucesivamente incorporando más y más actividades. La amplitud que tome esta ruta y su eventual importancia en el perfil de productos dependerá de los arreglos sociales en cuanto a distribución del ingreso.

A esto se agrega obviamente el sistema tecnológico asociado al área militar y aeroespacial, cuyo potencial en términos de generación de innovaciones radicales es enorme y cuya importancia y peso dependen, más directamente que ningún otro, de factores políticos.

Estos nuevos sistemas tecnológicos son los llamados a motorizar el crecimiento global en las próximas décadas, por lo cual es de esperarse que en sus centros más dinámicos se ubicaran y concentraran las empresas gigantes.

NUEVOS CONCEPTOS DE OPTIMA PRACTICA PRODUCTIVA

La tecnología microelectrónica es particularmente isomórfica. Los circuitos integrados son sistemas de procesamiento de información que se incorporan como elementos de circuitos más amplios, conformando sistemas complejos. Los productos basados en ellos son sistemas conformados coordinando sub-sistemas y estos productos o equipos se integran a su vez en sistemas de mayor envergadura. Los principios de organización y optimización aplicados en cada uno de los niveles son similares. Por esta razón, la ingeniería de diseño de planta y procesos se transforma en ingeniería de sistemas. Los conceptos que guían la innovación incremental son esencialmente los mismos mencionados a nivel de productos. De hecho, las características perseguidas en el diseño de bienes de capital llevan implícitos los requerimientos de las redes de procesamiento y producción que han de utilizarlos. A continuación discutiremos algunos de los rasgos que caracterizan las nuevas trayectorias en diseño de planta y proceso productivo, esbozando sus posibles consecuencias económicas, con especial énfasis en la cuestión de la escala de producción.

a) Energía y materiales: Ahorro, reciclaje y diversificación

En general, la incorporación de equipamiento electrónico permite elevar la calidad de los productos y la precisión en el control del proceso de producción, al mismo tiempo que elevar la productividad del trabajo y el rendimiento de la inversión en equipos e insumos. Esto ultimo se traduce en el ahorro de energía y materiales por diversas vías.

En las industrias de fabricación, a la reducción del tamaño de los productos se agrega el diseño con márgenes más estrechos de tolerancia permitidos por herramientas de gran precisión. Por otra parte, el uso de instrumentación de control se orienta a la reducción del desperdicio y de la proporción de rechazos mediante controles de calidad "en línea" en varios puntos del proceso. Este nuevo énfasis en la eficiencia de los insumos materiales, al reducir su incidencia en el costo final, permite utilizar materiales más caros pero más precisamente adaptados al uso. La consecuencia puede ser una creciente diversificación del patrón de consumo de materiales de ingeniería.

En las industrias de procesamiento, la instrumentación electrónica facilita la instalación de sistemas de reciclaje energético y de materias primas y favorece la recuperación de todos los sub-productos con posible valor comercial. El modelo "ideal" seria la planta de ciclo cerrado, multi-producto, sin efluentes.

Esta tendencia del nuevo modelo hacia una utilización racional de los insumos aparece como un factor capaz de permitir la aceleración del crecimiento económico, eludiendo la amenaza, implícita en la continuación del paradigma anterior, de agotamiento de los recursos naturales. Otro tanto ocurre con la posibilidad de reducir los niveles de contaminación ambiental.

b) Flexibilidad en planta, diversidad en productos

El carácter programable de los equipos y controles basados en microelectrónica permite superar la rigidez de las viejas plantas dedicadas y establece la flexibilidad como optima practica productiva. Esto trae como consecuencia cuestionar la superioridad de la producción en masa frente a la producción por lotes y redefinir la cuestión de la escala.

Ello no significa la eliminación de las plantas gigantes (ni mucho menos de las empresas gigantes). Simplemente ocurre un cambio del patrón de producción, en el cual la escala de planta se independiza de la escala de cada mercado. Con equipamiento basado en controles electrónicos y el costo relativamente bajo de programar y llevar a cabo modificaciones rápidas en los planes de producción, se hace posible lograr altísimos niveles de eficiencia fabricando una amplia gama de productos distintos, con frecuentes cambios de modelo y volúmenes variables. Esta mayor capacidad de cobertura y la enorme adaptabilidad a las variaciones de la demanda, coloca a la manufactura flexible a un nivel de eficiencia económica significativamente superior al de la producción dedicada. La producción diversificada se convierte en característica y meta del nuevo modelo de optima practica productiva.

Por otra parte, en base a equipos similares, esta misma flexibilidad y alta eficiencia es lograble en plantas pequeñas y medianas. Con ello, la alta productividad no depende exclusivamente de la escala de planta. Esto transforma de manera sustancial los determinantes de la competitividad y redefine la cuestión de las barreras de entrada. Aparecen "economías de cobertura" basadas en la optimización de la gama de productos, "economías de localización" en base a cercanía y velocidad de respuesta y "economías de especialización" basadas en nichos estrechos de mercado. Esto puede llevar a la proliferación de empresas pequeñas y medianas con alta capacidad competitiva. Ello seria posible, aún cuando los tres tipos de economías pueden obtenerse dentro de una empresa gigante mediante el control de una amplia red de fabricación y distribución, con plantas de diversos tamaños en diversas localidades. Una vez que la diversidad y la segmentación sustituyen a la homogeneidad como forma de definición de mercados, la optimización de la cobertura por parte de los gigantes dejara siempre espacios libres para iniciativas a menor escala.

La tendencia a la flexibilidad en planta y a la diversidad en los productos no se limita al área de fabricación, pero en cada sector se manifiesta de una manera distinta según sus características. En las plantas de procesos (agroindustria, química, metalurgia), la flexibilidad que dan los controles electrónicos se traduce en mayor adaptabilidad a variaciones en las características de los insumos al igual que en una mayor capacidad para modificar las especificaciones de los productos finales, llevando eventualmente a una verdadera diversificación.

En los servicios que funcionan en base a grandes cantidades de información (finanzas, bancos, seguros) la computarización ha conducido ya a una enorme proliferación en "productos" segmentando al mercado hasta llevarlo casi a la medida de clientes individuales. En el caso particular de los servicios financieros se esta dando una redistribución del mercado por rangos de tamaño de empresa, la cual podría tipificar otros sectores en el futuro.

Los gigantes, producto de múltiples fusiones y adquisiciones, establecen redes mundiales flexibles, con amplísima cobertura de servicios para los segmentos más dinámicos del mercado. Las empresas pequeñas y medianas ocupan los dos extremos, o los nichos altamente especializados o el mercado rutinario básico de bajo costo[17].

c) Dinamismo tecnológico: El diseño integrado al proceso productivo

[17] P. Allen. J. Bleeke. A. Morgen. “Pitfalls of converging financial services”, *Financial Times*, enero 18, 1984

El nuevo potencial para la flexibilidad se extiende más allá de la cuestión de las escalas optimas y de la variabilidad en el perfil de productos, para brindar también la posibilidad de efectuar cambios sucesivos en los productos, tanto en diseño exterior como en funcionamiento técnico, sin grandes perdidas de eficiencia.

El acoplamiento del diseño computarizado con la manufactura computarizada ("CAD/CAM")[18], conjuntamente con los avances previstos en la productividad del desarrollo del "software", permiten la disminución del costo relativo de la innovación y acortan la duración de las curvas de aprendizaje. Esto hace de la ingeniería de diseño una actividad intensiva en capital y la convierte en una función integrada al proceso productivo con participación crucial en la productividad y la competencia.

Estas nuevas circunstancias abren la vía para un ritmo rápido de cambio en los productos. Y esa vía es reforzada a su vez por el rápido ritmo de mejora en los componentes microelectrónicos. Cada nueva generación sirve de base para el rediseño de las aplicaciones, perfeccionando las características, mientras que se reduce su costo relativo.

Aunque el impacto de este acortamiento del ciclo de vida de los productos variara sin duda según la rama, es probable que afecte considerablemente el comportamiento empresarial. Los centros de investigación, desarrollo e ingeniería de diseño tienden a integrarse entre si, a asociarse mucho más estrechamente con el proceso productivo y a jugar un papel central no solo en la gerencia estratégica sino en la programación a corto y mediano plazo.

Este rasgo del nuevo modelo optimo puede manifestarse en una modificación de las formas de competencia oligopólica. Bajo el anterior paradigma de producción en masa de unidades idénticas, dentro del cual todo cambio en un producto implicaba altos costos en equipos dedicados y herramental, así como altos riesgos, era común que la competencia se basara en meros cambios de apariencia. En el nuevo contexto, a medida que se vaya reconociendo el bajo costo de la flexibilidad y el dinamismo bajo el nuevo paradigma, la lucha por el aporcionamiento del mercado podría tomar cada vez más la forma de introducción rápida de innovaciones técnicas, con una creciente segmentación de los blancos de atención dentro del mercado usuario. Esto esta ocurriendo ya en todas las ramas relacionadas con la electrónica y la informática, pero se observa incluso en la industria automotriz[19].

Por otra parte, industrias que inevitablemente se basaban en frecuentes cambios de "modelo", como la confección[20] o la industria gráfica, se hacen susceptibles de adoptar el modelo de flujo continuo.

Esto incorpora las ramas de fabricación a lo que había sido más bien característica de las ramas más estrechamente ligadas al desarrollo científico, como las de la industria química. Estas ultimas a su vez, ven multiplicado su potencial de introducción de nuevos productos, dada la

---

[18] Para análisis de las implicaciones del diseño asistido por computadora (CAD), Véase R. Kaplinsky, Computer Aided Design: Electronics, Comparative Advantages and Development, ONUDI, Frances Pinter, Londres. 1982

[19] A. Altshuler et al, *The Future of the Automobile*, Unwin Paperbacks. Londres. 1985

[20] K. Hoffman. H. Rush. Microelectronics and Clothing: The Impact of Technical Change on a Global Industry, OIT. Ginebra. 1984.

reducción de los plazos de investigación, gracias al equipamiento electrónico, cada vez más poderoso y sofisticado, de los laboratorios.

Aunque parezca paradójico, esta capacidad para el cambio técnico acelerado y de bajo costo puede traer aparejada la apertura de espacios sucesivos para empresas innovadoras pequeñas y medianas, con ágil capacidad de respuesta y alto dinamismo. Queda abierta la cuestión de si estas empresas serán meros campos de prueba de alto riesgo a ser absorbidas por los gigantes en caso de éxito o si proliferaran para convertirse en rasgo distintivo del próximo auge. En todo caso, esta última vía, cuyo desarrollo garantizaría una expansión continua para los mercados de equipos, componentes, servicios de telecomunicaciones y otros servicios provistos por los gigantes, parece brindar mejores perspectivas para un crecimiento armónico global.

Otra consecuencia posible de la fuerza competitiva que brinda el dinamismo tecnológico es que la producción en masa propiamente dicha, es decir, aquella que produce bienes estandarizados con mínimo cambio, sea dejada en manos de empresas pequeñas o medianas.

d) Adaptación de la producción a la demanda

Bajo el paradigma de producción en masa, en el cual la productividad y rentabilidad dependían del crecimiento de mercados masivos para productos idénticos, la presión hacia la uniformidad en los patrones de consumo era condición del crecimiento económico. En esencia era necesario que la demanda se adaptara a la oferta. El nuevo modelo invierte esta relación. El carácter programable de los equipos, su creciente compatibilidad y modularidad, crean las condiciones para que la diversidad en la demanda final multiplique las oportunidades de crecimiento de la oferta.

En efecto, los bienes de capital programables son multipropósito y susceptibles de las configuraciones más diversas, según los requerimientos del usuario. Por otra parte, la posibilidad de crecimiento modular, objetivo perseguido en el diseño de los equipos, se convierte también en meta de buen diseño en la ingeniería de sistemas. En estas nuevas circunstancias, la máxima eficiencia en planta se define por la capacidad de responder a las especificidades del medio en que opera. Con ello, los sistemas en uso tenderán a ser infinitamente variados, cubriendo hasta los más estrechos nichos de mercado y creciendo modularmente al ritmo de aumento de la demanda.

El vehículo intermediario de esa diversidad son las nuevas ramas de "software" e ingeniería de sistemas. Su labor podría ser concebida como la última etapa de producción de los nuevos bienes de capital. Su actividad juega un doble papel en la expansión de la producción en el nuevo paradigma. Por una parte, permiten la multiplicación de las posibilidades de inversión aguas abajo para cubrir una infinita diversidad de mercados nuevos en bienes y servicios. Por la otra, contribuyen a ampliar la demanda aguas arriba para equipos, componentes, servicios de telecomunicaciones y demás productos de las ramas motrices del crecimiento.

NUEVO MODELO DE EFICIENCIA EMPRESARIAL

La difusión de un nuevo estilo tecnológico implica también un conflictivo proceso de ensayo y error conducente a la creación de un nuevo modelo organizativo para el manejo de la empresa. Dicho proceso es extremadamente desigual y tiende a difundirse por imitación forzada bajo la presión de la competencia. Su naturaleza esta signada por las características de las nuevas tecnologías, especialmente por aquellos aspectos que más directamente determinan el salto cuántico en productividad frente a las practicas establecidas. En esta sección se exploraran algunos de los elementos ya visibles del nuevo modelo organizativo en difusión.

Es importante aclarar que este es un terreno bastante más movedizo que el técnico-económico. La forma final que asuma el modelo organizativo a nivel de la empresa estará profundamente influido por factores sociales y políticos. El marco general que presida el nuevo auge tendera a favorecer una tendencias en detrimento de otras.

a) Sistematización: La empresa como red integrada

El modelo de organización típico del paradigma anterior se basaba en una separación nítida entre la gerencia de planta y la gerencia administrativa. Y, dentro de cada una, la meta consistía en diferenciar claramente cada actividad para detectar cualquier forma de repetición rutinaria con miras a su automatización. Se trataba de un modelo de carácter fundamentalmente analítico, exigiendo enfocar la atención en las partes o elementos del proceso, para definir detalladamente tareas, puestos de trabajo, departamentos, secciones, responsabilidades y construir jerarquías complejas. El nuevo paradigma es intrínsecamente sintético y traslada el énfasis a las conexiones y los sistemas de inter-relación con miras a la coordinación tecno-económica global.

A pesar de que muchas de las aplicaciones de la tecnología electrónica son generalmente denominadas "automatización", aquí se sugiere el uso del termino "sistemización" para referirse a la nueva tendencia a fundir todas las actividades -administrativas y productivas, de oficina o planta, de diseño o mercadeo, económicas o técnicas- en un solo sistema interactivo[21]. Este termino tiene la ventaja de desplazar la atención de la mera cuestión del equipo físico hacia un mayor énfasis en la naturaleza sistémica y los procesos de retroalimentación en el campo organizativo. En nuestra opinión este es el rasgo más distintivo del nuevo modelo de organización de la empresa en relación al anterior.

De hecho, muchos de los fracasos en la introducción de equipamiento electrónico pueden tener su raíz en haberlos concebido erróneamente como un equipo mas, a ser introducido en la planta u oficina con un poco de entrenamiento, para continuar tal como antes pero preferiblemente mejor. En realidad no es posible cosechar los frutos que brinda la nueva tecnología sin una profunda transformación organizativa tanto dentro de la empresa como en sus interconexiones con los suplidores y el mercado.

Esto no implica, por supuesto, que todas las actividades de la empresa deban ubicarse en un mismo espacio físico. Por el contrario, el poder y versatilidad de las telecomunicaciones aumenta los grados de libertad para la localización (incluso en lo que concierne a la ubicación física de

[21] Un análisis de las implicaciones de la sistematización dentro de la empresa, aunque conservando el término de “automatización”, se encuentra en : R. Kaplinsky, Automation: The Technology and Society, Longman, Londres. 1984

cada individuo). La consecuencia puede incluso ser una mayor dispersión geográfica, a medida que las aglomeraciones urbanas pierden su capacidad para brindar economías externas. Tampoco es necesario que la empresa sea una sola unidad. Si la vieja estructura corporativa era capaz de manejar operaciones multi-planta y multi-nacionales, la nueva infraestructura tecnológica permite el manejo eficiente de estructuras conglomeradas, gigantes, complejas, cambiantes y de cobertura mundial.

b) Adaptación "en línea" de la producción de mercado

El concepto de sistemización se extiende fuera de la organización interna de la empresa e incluye la posibilidad de establecer, a un costo relativamente bajo, lazos de retroalimentación con el mercado para recibir información en tiempo real. Esta interconexión es la que confiere pleno sentido al potencial antes mencionado para flexibilizar la producción. La manera más fácil de dar una idea de como funciona este lazo es quizás a través de un ejemplo ilustrativo. Veamos entonces un caso en el volátil mercado de la moda.

La organización de Benneton, una empresa italiana considerada como una de las más exitosas compañías europeas en el área de la confección, esta constituida por una red flexible de producción y distribución. Por el lado del mercado tiene 2500 puntos de venta ubicados tanto en Italia como en el resto de Europa, equipados con cajas registradoras diseñadas especialmente, capaces de transmitir "en línea" información detallada sobre el tipo, talla y color de los artículos vendidos. Estos datos son recibidos y procesados centralmente para alimentar la toma de decisiones a nivel de diseño y producción. Allí, la flexibilidad de las plantas principales se complementa con una red de una 200 empresas pequeñas, bajo convenios de trabajo "a destajo", las cuales sirven de colchón para variaciones en términos de volumen. El sistema reduce a diez días el tiempo de respuesta a los cambios en el mercado, recortando drásticamente el nivel de inventarios[22]

Este potencial para establecer lazos confiables de retroalimentación con el mercado introduce profundos cambios en las practicas gerenciales. La planificación de la producción deja de ser una función periódica con alto margen de error para convertirse en un sistema confiable en adaptación constante "en línea", acoplando producción y mercados. Una de las consecuencias de esta transformación es el cambio de actitud con respecto a los inventarios. De haberse considerado como un margen de seguridad propio de una empresa eficiente, pasan a ser vistos como un peso muerto y como una fuente de costos a minimizar.

c) Centralización y descentralización

Como hemos venido indicando, el nuevo paradigma tiende a la vez hacia lo gigante y hacia lo pequeño. Lo mismo se presenta en cuanto al modelo optimo de control. El modelo que se va configurando cuestiona las burocracias jerarquizadas y las economías de agregación. El nuevo sistema ideal se basa en la conformación de redes descentralizadas con autonomía local, bajo coordinación central.

[22] T. Buxton. “The Man Who Fashioned a Clothing empire”, Financial Times, octubre 29. 1983

En el modelo precedente, mientras más compleja fuera la organización mayor era la proliferación de niveles intermedios de control. Hoy, dado el "software" apropiado, las computadoras pueden realizar las funciones de la tradicional gerencia media. Esto en si mismo contribuye a un "achatamiento" del sistema de control y reduce la distancia entre la decisión y la acción. Pero, si el resultado fuera la hiper-centralizacion de la toma de decisiones, el potencial para la flexibilidad del nuevo sistema se perdería irremisiblemente. El rasgo esencial de los microprocesadores baratos es la capacidad para proveer "inteligencia distribuida" a bajo costo. Y ello, en términos organizativos, implica poder descentralizar la toma de decisiones. Para entender mejor lo que esto significa quizás sea útil hacer el paralelo con un sistema de "hardware". Veamos el caso de la evolución de los sistemas de control de transito:

En la época electromecánica, los sistemas de redes de los semáforos se programaban manualmente, uno por uno, para cambiar las luces a intervalos prescritos, según planes de control diseñados en la oficina central, en base a conteos esporádicos realizados a mano o mediante instrumentos. En los sistemas más avanzados de la primera generación de control computarizado, toda la información era recibida en un computador gigante provisto de complejos y costosos programas de procesamiento y de una pantalla gigante para visualizar el sistema de control de transito de la ciudad. Desde allí se tomaban las decisiones hiper-centralizadas. Hoy en día existen sistemas infinitamente más flexibles, basados en la ubicación de un microprocesador "inteligente" en cada semáforo. La información sobre flujos de transito en cada intersección se recoge en-linea, in situ, para que los semáforos puedan responder a la demanda. Entre intersecciones, en una zona o a lo largo de una vía, se establecen lazos de intercomunicación para la coordinación conjunta, la cual puede ser también establecida entre zonas, logrando una optimización interactiva aún mayor. En este contexto, la unidad central de "control" adquiere un rol supervisorio y de coordinación general, a cargo del diseño y evaluación de la red de inteligencia distribuida. Este tipo de sistema, aparte de ser muchísimo menos costoso y adecuado para instalación modular, es más eficaz y confiable que el totalmente centralizado[23].

Teniendo en cuenta las obvias limitaciones de la analogía, este ejemplo permite ilustrar la idea en el terreno organizativo. Un sistema centralizado de toma de decisiones tendría que poder simular cada posible combinación de eventos con cada posible combinación de elementos, lo cual es sin duda una tarea engorrosa y casi imposible. Si una organización ha de ser diversificada y flexible para aprovechar todas las ventajas del nuevo potencial, tendrá probablemente que tender hacia una estructura flexible, interactiva, basada en unidades relativamente autónomas, enlazadas en sistemas en línea de coordinación adaptativa, bajo una gerencia estratégica dinámica.

Y el paralelo puede ir más lejos. Puesto que cada equipo individual puede ser provisto de "inteligencia", la coordinación central no es indispensable para lograr eficiencia en todos los casos y muchos mercados locales o nichos para bienes o servicios pueden ser cubiertos por empresas pequeñas independientes o por redes cooperativas. Mas aun, una mayor participación de los trabajadores, tal como ha sido puesta en practica más ampliamente en Japón pero también en algunos otros países industrializados, podría dar mejores resultados tanto humanamente como

[23] Este ejemplo se lo debo al Dr. R .Suárez. de de EYT. C. A. una empresa venezolana, donde fue desarrollado un sistema distribuido del tipo descrito

en términos de productividad. Tanto mas, dado que la nueva tecnología requiere trabajo en equipo, puestos de trabajo flexibles y calificaciones amplias multipropósito.

En términos organizativos, entonces, el nuevo paradigma combina tendencias tanto hacia la centralización como hacia la descentralización, hacia más control y hacia más autonomía, por lo cual la variedad de combinaciones posibles es muy amplia. La historia en este terreno será escrita por las fuerzas sociales, sobre el espacio abierto por el nuevo paradigma.

LAS NUEVAS TECNOLOGIAS A LA LUZ DEL NUEVO PARADIGMA

Si aceptamos la noción de una transición global de un modelo tecnológico utilizador intensivo de materiales y energía a otro que tiende a ahorrarlos mediante el procesamiento intensivo de la información, tendremos también un conjunto de criterios para evaluar la probabilidad de difusión de las nuevas tecnologías en el área energética y de materiales. Otro tanto ocurre en relación al impacto que sobre el desarrollo de estas y de la biotecnología puedan tener tanto el nuevo equipamiento basado en electrónica como el nuevo modelo de organización de la producción y la empresa. Hagamos un ejercicio exploratorio en este contexto.

LAS NUEVAS FUENTES DE ENERGIA

Las proyecciones de consumo energético antes del salto de precios del petróleo eran de carácter fuertemente exponencial. Se daba por descontado que el crecimiento de la demanda de energía ocurría, cuando menos, al ritmo del crecimiento económico. Por eso la solución de la llamada "crisis energética" se vio inicialmente a través del desarrollo de fuentes alternas. La conservación ocupaba un lugar secundario, como paliativo en el corto y mediano plazo.

Hoy, la situación ha cambiado y los combustibles fósiles vuelven a aparecer como la principal fuente energética por varias décadas. Por el lado de la oferta, se comprobó que la capacidad de suministro de petróleo, gas y carbón dependía en gran medida del nivel de precios, mientras que, en las fuentes alternas no ha sido posible dar los saltos tecnológicos requeridos para una sustitución económica y masiva. Por el lado de la demanda, el freno en el ritmo de aumento del consumo ha sido poco menos que sorprendente. En los países pertenecientes a la Asociación Internacional de Energía, la relación entre crecimiento y consumo energético se ha alterado de manera significativa. Antes del cambio de precios, entre 1968 y 1973, un crecimiento total de 17% en el producto bruto fue acompañado de un 29% de aumento en el consumo de energía. Cinco años después, entre 1978 y 1983 los mismos países crecieron en 9% mientras su consumo energético bajaba en 6% [24]. Las posibilidades de ahorro energético habían sido múltiples desde

[24] W. Walker. “Information Technology and the Use of Energy”, Energy Policy. octubre.1985

mucho tiempo atrás pero, como decía un articulo en la revista Fortune, "la energía era demasiado barata para preocuparse por su consumo" y no era rentable invertir en economizarla.

El conjunto de factores que ha conducido a la reducción del consumo relativo en estos años es demasiado complejo para analizarlo aquí. Lo que sugerimos es que la parte del ahorro directamente atribuible a la introducción de las nuevas tecnologías, hasta ahora probablemente modesta, será el factor principal en el mantenimiento y profundización de esa tendencia hacia el futuro.

El mejor acoplamiento ya logrado entre las proyecciones de demanda y de suministro, ha desplazado tanto el interés como los fondos de investigación hacia otras áreas, vistas como más criticas. Significa esto entonces que el panorama energético no experimentara cambios de importancia? De ninguna manera. Solo que una vez calmado el carácter de urgencia que presidio los esfuerzos originales para desarrollar las nuevas fuentes, el nivel de difusión de cualquiera de ellas será determinado por su capacidad para mostrarse claramente competitiva con las fuentes tradicionales y para integrarse al sistema energético predominante.

Aquí no analizaremos las perspectivas de saltos tecnológicos en las diversas fuentes alternas. Trataremos más bien de examinar la forma en que el nuevo paradigma tiende a modificar los patrones de producción, distribución y consumo energético y las consecuencias de estas transformaciones sobre las posibilidades de incorporación de nuevas fuentes.

En el sector energético, al igual que en el resto de la industria, la informatización y la electronización están transformando los métodos de exploración, extracción, transporte y procesamiento, reduciendo el nivel de riesgo, elevando la precisión y aumentando la eficiencia en cada fase de actividad[25]. Esto significa que las costos de producción de las fuentes tradicionales tienden a mantenerse bajo control, dificultando la competitividad de las fuentes alternas.

Sin embargo, hay otra tendencia en curso de desarrollo en el área de distribución eléctrica, el cual actúa a favor de la diversidad de fuentes y quizás contiene el mayor potencial impulsor de cambios en el patrón de generación energética.

Desde hace bastante tiempo el sistema eléctrico viene utilizando la interconexión en red, a fin de optimizar la relación entre demanda y nivel de generación según variaciones estacionales, geográficas y durante el día. Esta practica, combinada con la versatilidad de los sistemas electrónicos de medición, supervisión y control, ha permitido una sencilla modificación preñada de consecuencias. Ante el creciente costo de inversión en nuevas plantas de generación, las empresas eléctricas en EE.UU. están recurriendo a la compra de la energía sobrante generada por algunos de sus clientes industriales para incorporarla a la red común[26], estableciendo de hecho una red interactiva.

Este tipo de red tiene un gran potencial de crecimiento en complejidad por la facilidad con la cual los equipos electrónicos de supervisión y control remoto permiten operar redes de gran cobertura y complejidad. Además, la instalación de controles y medidores electrónicos hacen

---

[25] Para un análisis del impacto de la tecnología electrónica sobre el sector energético, ver: W. Walker. “Information tecnology and Energy Suply, a ser publicado en Energy Policy, noviembre. 1986

[26] “Are Utilities Obsolete?: A Troubled System Faces Radical Changes” Business Week, mayo. 21, 1984, pp.60-71.

posible establecer complejas estructuras tarifarias por cliente y hora del día; medir y controlar con precisión los flujos de entrada y salida en cada punto de la red y calcular los costos resultantes de compra y venta de cada cliente, eventualmente incluso manteniéndolo informado en línea. De generalizarse esta tendencia, se abriría un paradigma de innovaciones sucesivas en el área de distribución de energía, al mismo tiempo que un amplio espacio para la diversificación de las fuentes según sus ventajas comparativas en cada localidad, minimizando el costo global de generación, manejo y comercialización.

Con esta aplicación del modelo interactivo, sistémico y flexible al área de distribución eléctrica, la cuestión de las economías de escala se traslada del área de generación, donde se mantuvo desde comienzos de siglo, al área de comercialización[27] Por el contrario, en lo que respecta a equipos de generación se revierte el patrón de escala creciente y el desarrollo se orienta hacia la modularidad, la generación combinada y otras formas de elevar la flexibilidad. Al mismo tiempo, se otorga al usuario, otrora pasivo, un papel activo en la operación y desarrollo del sistema. Y un desarrollo con rasgos análogos esta ocurriendo en las redes de gas.

Sin embargo, como en todo lo que concierne al nuevo paradigma, no es posible conocer de antemano la mezcla de centralización y descentralización que se impondrá a la larga. La conexión a una red de esa naturaleza permitiría ciertamente a los grandes usuarios industriales establecer su propio sistema de control diversificado, optimizando las fuentes energéticas según los usos, la proporción de generación propia y adquisición y la compra y venta de electricidad, según los costos relativos. En cambio, para la mayoría, las opciones se limitarían a las medidas de conservación y quizás a optimizar el uso de la red eléctrica común, combinada con el aprovechamiento de las fuentes renovables disponibles localmente, adaptando cada fuente a cada uso particular.

Estimamos entonces que la influencia de la difusión de la microelectrónica tiene una influencia mayor sobre el panorama energético que la que puede esperarse del sector energético sobre el resto de la economía. A diferencia de la introducción del carbón para la maquina de vapor o de la electricidad como vector de energía y alimentador a distancia de motores eléctricos dispersos o del petróleo junto con el motor de combustión interna, la introducción de algunas fuentes alternas para la generación de electricidad o calor no tiende a crear nuevas ramas o a modificar profundamente los equipos de producción. En nuestra opinión, las nuevas energías se insertan en el cambio estructural como un elemento más en la dirección de la flexibilidad y la diversidad, al mismo tiempo que el ahorro energético se hace parte integrante de las trayectorias incrementales de los productos y procesos. Un factor que podría modificar parcialmente este cuadro es un salto tecnológico en celdas solares, con reducciones tan dramáticas de costos que induzcan una cadena de innovaciones asociadas a su difusión masiva como fuente de energía de uso directo.

LOS NUEVOS MATERIALES

Desde hace tiempo, el equipamiento electrónico de los laboratorios de ciencia y tecnología de materiales ha venido elevando la capacidad de investigación y reduciendo los plazos de

[27] W. Walker, ibid.

desarrollo de materiales con propiedades cada vez más precisamente seleccionadas. La difusión de equipamiento electrónico en la industria, para el diseño y fabricación de partes y productos, establece una creciente complementaridad dinámica entre estas dos esferas, capaz de generar múltiples cadenas de innovación en el área de nuevos materiales.

A primera vista, esto parecería contradecir la caracterización del nuevo paradigma como ahorrador de materiales. Comencemos entonces por aclarar el sentido exacto de esa caracterización. Ahorro de materiales significa fundamentalmente la elevación de la productividad de los recursos naturales. En otras palabras, el nuevo paradigma induce a un esfuerzo consciente por aprovechar las economías brindadas por el bajo costo de la microelectrónica y del manejo de información para minimizar los insumos materiales requeridos por unidad de producto. Pero, a la larga, hay tres contratendencias que moderan el ritmo global de ahorro resultante: el probable aumento del numero de productos distintos; el crecimiento global de la producción de cada uno y el acortamiento del ciclo de vida de los productos por obsolescencia técnica.

Por mucho que predominen las tendencias ahorradoras y por mucho que crezca la importancia de los servicios en el producto total, no cabe suponer una declinación en el uso global de materiales a nivel macroeconómico. Los dos fenómenos que parecen más probables son: una marcada reducción de la tasa de aumento del consumo con respecto al crecimiento del producto bruto (e incluso industrial) y un cambio sustancial en su composición.

Si examinamos el conjunto de los nuevos materiales a la luz del cambio de paradigma, la tendencia que surge con mayor fuerza parece ser la que conduce a una creciente diversidad en los materiales utilizados. En esa dirección parecen empujar las tres grandes líneas impulsoras de nuevas trayectorias: el alza del costo relativo de la energía; los requerimientos de la industria de componentes micro-electrónicos y las demandas especificas generadas por la utilización de la microelectrónica en productos y procesos.

El alza del precio relativo de la energía afecta el costo de la mayoría de los materiales tradicionales. Esto se debe a que las características del paradigma anterior hicieron posible favorecer un amplio despliegue de todo el potencial innovador en materiales energo-intensivos. De allí que el cambio en el costo de la energía induzca también al ahorro de materiales. Esta presión hacia la baja en la demanda modifica el comportamiento tecnológico y de inversión de los suplidores. Tanto en el área metalúrgica como en la petroquímica, tanto en cemento como en papel, se establecen trayectorias de innovación en el control de los equipos de procesamiento para minimizar el consumo energético y maximizar el reciclaje de energía, de desechos y de chatarra. Pero, estos esfuerzos no pueden ir más allá de eliminar el consumo innecesario. Los procesos básicos de transformación son energo-intensivos y hay limites a la capacidad de recolección y reciclaje. Por esta razón, las dos direcciones más fuertes del cambio del lado de la oferta parecen ser: una, la reubicación geográfica de la producción de los materiales estandarizados más tradicionales, bien sea en busca de ventajas comparativas en el costo de la energía, bien sea para aprovechar el ahorro en costos de transporte de mineral y la mayor flexibilidad que brinda la cercanía a los yacimientos. La otra es la creciente diversificación de las plantas en los países desarrollados hacia aleaciones especiales, materiales compuestos, y en general, hacia el rango de productos de mayor apropiabilidad tecnológica y con precios más altos y menos aleatorios. En consecuencia, las fuerzas más poderosas en el área de materiales tienen creciente interés en la diversificación del patrón de consumo de materiales.

Los requerimientos de la industria de componentes microelectrónicos han dado ya lugar al desarrollo de toda una industria proveedora de materiales semiconductores, conductores, fotosensibles, cristales de diversos tipos, materiales de alta pureza, químicos de procesamiento, cerámicas, resinas y una gama creciente de insumos especiales. No cabe duda que este conjunto de requerimientos constituye un nuevo sistema tecnológico capaz de impulsar innovaciones radicales e incrementales sucesivas y que el conjunto de industrias suplidoras de insumos para el sector de componentes experimentara un crecimiento constante en volumen y diversidad y estará caracterizada por un dinamismo tecnológico paralelo al de la microelectrónica. No es dable, sin embargo, esperar un crecimiento explosivo en la demanda de ninguna materia prima en particular, dado el volumen relativamente pequeño requerido de cada una y su enorme variedad. Por lo tanto, la industria motriz del nuevo paradigma impulsa, por sus características intrínsecas, el desarrollo de una multiplicidad de materiales específicos.

La introducción de microelectrónica en productos y procesos a lo largo y ancho del aparato industrial es el fenómeno que, en nuestra opinión, influirá de manera más fundamental en el patrón de consumo de materiales y en la dirección innovativa que estos tomen. Tres fenómenos merecen especial atención: los grados de libertad introducidos en el área de diseño de productos por la incorporación de sistemas computarizados; las demandas inducidas por los cambios tecnológicos en los productos y equipos mismos.

La utilización de sistemas CAD para el diseño por computadora no solo permite optimizar la configuración funcional y estructural de cada producto y de cada pieza, sino que facilita la "experimentación" simulada con diversos materiales opcionales para seleccionar la alternativa más eficiente en comportamiento y costos[28]. En el pasado, un proceso de optimización de esta naturaleza habría representado costos prohibitivos en prototipos de prueba, por lo demás poco justificables dado el bajo costo de los materiales. Esta transformación de las condiciones y la economía del área de diseño es uno de los factores que establece una fuerte complementaridad entre la creciente capacidad de los laboratorios de investigación para crear materiales especiales y la posibilidad en manos de los usuarios para evaluarlos, seleccionarlos y especificarlos[29].

A su vez, los cambios en los principios de funcionamiento de los productos y equipos mismos establecen un perfil de demanda de materiales distinto del tradicional. La sustitución de muchas partes móviles por circuitos electrónicos y la consecuente reducción en el tamaño de muchos productos, desplaza una parte de la demanda tradicional de materiales de ingeniería metálicos y plásticos hacia otros más livianos y hacia la familia de materiales asociados al sistema tecnológico de la microelectrónica, antes mencionado. Al mismo tiempo, los diversos métodos de interfase con el usuario requieren el desarrollo de materiales sensibles a la luz, al tacto, a las ondas sonoras, materiales retráctiles o con un sinnúmero de otras características para fines particulares. Paralelamente, innovaciones radicales como la digitalización de las redes de telecomunicaciones, hacen posible la sustitución de toneladas de cables metálicos por fibra óptica o satélites. Y aunque es difícil prever cual será la resultante en cuanto a la demanda final de metales tradicionales de cableado al combinar esta tendencia sustitutiva con el masivo

---

[28] H. Mitlag. “A Substituçao de Materias-primas e os Problemas dos Materiais de engenharia”, Proyecto Prospectiva Tecnológica para América Latina . Universidad de Campinas. 1985.

[29] S. de Queiros. “Reestructuraçao.industrial e Desenvolvimento tecnologico de Materiais”, Proyecto Prospectiva Tecnológica para America Latina, Universidad de Campinas, 1985.

crecimiento de las redes y del parque usuario, el perfil de la demanda será sin duda distinto. Y así sucesivamente. La tendencia a una mayor diversificación en tipos de materiales seleccionando aquellos con características más estrechamente definidas por su función especifica, se observa ya en las trayectorias de innovación en muchos productos, de los cuales el automóvil es uno de los más visibles[30]

La incorporación de materiales no tradicionales establece también lazos de retroalimentación con los cambios en los métodos de producción. Un caso particularmente dinámico de interacción entre innovaciones conexas en productos, materiales y equipos de procesamiento es el resultante de la incorporación de las cerámicas como material de ingeniería[31].

En resumen, entonces, el nuevo paradigma crea tanto las condiciones técnicas como el impulso desde el lado de la demanda para una creciente diversificación en el patrón de consumo de materiales. Sin embargo, al igual que en el caso de las fuentes alternas de energía, los nuevos materiales no son propulsores de grandes cambios por su propio peso. Estos no ofrecen, como en su tiempo lo hicieron los plásticos, un espectro masivo de posibilidades de innovación en equipos para su procesamiento y en productos para utilizarlos. La influencia es mucho más fuerte en la dirección inversa.

Los requerimientos de las nuevas tecnologías asociadas al uso de la microelectrónica, rejuvenecen las trayectorias de innovación en metalúrgica y polímeros, impulsan trayectorias nuevas en vidrio y cerámicas, e inducen la convergencia entre unas y otras con materiales compuestos. La competencia entre las diversas ramas de materiales, la proliferación de alternativas y la multiplicación de los "nichos" de mercado parecen ser el curso más probable en este terreno y no los desplazamientos masivos hacia un tipo particular de materiales.

No obstante, el proceso de diversificación, al igual que la difusión del paradigma que lo empuja, será necesariamente lento y lleno de altibajos, por lo cual la proporción representada por los materiales estandarizados en el consumo total seguirá siendo mayoritaria por mucho tiempo.

LA BIOTECNOLOGIA

Aparte de la microelectrónica, la biotecnología es la única, entre las nuevas tecnologías claramente reconocibles hoy, cuyo potencial revolucionario es indiscutible. La fuente de este potencial se inaugura con la ingeniería genética, la cual implica un salto cuántico frente al desarrollo anterior de la biotecnología y la modifica cualitativamente tanto en sus técnicas como en la amplitud del espectro de sus aplicaciones[32]. En efecto, el poder manipular la información genética para crear organismos "nuevos" y colocar las fuerzas que guían el metabolismo de la vida al servicio de la producción de riquezas es un salto tecnológico de proporciones inimaginables.

---

[30] A. Altshuler et al., op. cit.

[31] U. S. Dept. of Comerce, A Competitive Assessment of the U. S. Advanced Ceramics Industry, International Trade Administration, Washington, D. C. marzo, 1984

[32] Un amplio análisis del desarrollo y perspectivas de la biotecnología se encuentra en: W. Faulkner, Tesis Doctoral, SPRU, Univ. of Sussex 1986.Cap.3

Sin embargo, a pesar de los logros ya impresionantes, esta nueva tecnología esta aún en su temprana infancia. Por esta razón, a diferencia de la increíble precisión y seguridad con la cual los expertos pronostican innovaciones radicales y establecen plazos para su introducción y difusión en el área de microelectrónica y sus aplicaciones, la mayoría de los expertos en biotecnología advierte sobre las condiciones de incertidumbre que presiden sobre cualquier pronostico. Esta es la diferencia entre un paradigma en ciernes y uno ya cristalizado en su rumbo y sus parámetros técnicos y económicos.

Si se hace una analogía con la evolución de la microelectrónica, podría decirse que la biotecnología se encuentra en la fase de las válvulas. Es decir, se ha comprobado la aplicabilidad de los principios teóricos básicos, sobre cuya base se introducen las primeras innovaciones, se establecen trayectorias de desarrollo y se identifica una amplia gama de aplicaciones. De allí en adelante, surgen sistemas tecnológicos de sustancial importancia económica, pero subordinados a los parámetros, imperativos y externalidades del paradigma prevaleciente. Esto significa que, a pesar de su impacto sobre ciertas ramas y actividades, es de esperarse que pase mucho tiempo antes que el potencial revolucionario implícito en la ingeniería genética se traduzca en saltos tecnológicos, capaces de drásticas reducciones de costos, con repercusiones masivas sobre el conjunto de la economía.

No obstante, toda analogía tiene sus limites y sus peligros y estos son particularmente riesgosos tratándose de analogías históricas. Cabe preguntarse, entonces, si no hay en la actualidad condiciones, tanto por la reducción de los plazos de innovación como por el aumento de los fondos dedicados a la investigación, que puedan acelerar significativamente la evolución de ese potencial tecnológico, reduciendo el plazo necesario para llegar al equivalente del "circuito integrado". Esos factores obligan sin duda a dejar la puerta abierta para la posibilidad de un desarrollo explosivo, expansivo y extensivo. Creemos, sin embargo que hay tres factores que juegan en contra. En términos de conocimiento, comparada con la física y la química, la biología es una ciencia mucho menos desarrollada, su objeto es más difícil de estudiar y sus descubrimientos menos generalizables. Esto sugiere la inevitabilidad de plazos relativamente largos de adquisición, sistematización y puesta a prueba de los conocimientos. En términos técnico-económicos, en los bioprocesos se esta todavía en la fase de solución de los problemas técnicos básicos, por lo cual los costos son todavía muy altos y, en la mayoría de los casos donde hay alternativas, no son competitivos. Romper las barreras de costos requiere tiempo para adquirir experiencia productiva e identificar los parámetros propios de las trayectorias biotecnológicas. Por esa misma razón, en términos de probable patrón de inversión, frente a la vasta gama de opciones relacionadas con la electrónica y la informática, con oportunidades de mercado fácilmente identificables, con rutas incrementales probadas y eficaces y con externalidades crecientes, cabe suponer que la ruta riesgosa y semi-explorada de la biotecnología tienda a jugar un papel secundario en el conjunto, aunque pueda ser central para algunos. Además, el acortamiento de los tiempos de investigación y de los plazos de innovación no es en ningún terreno más evidente que en la microelectrónica. Dicho esto, valga insistir que el peso de la biotecnología será sin duda creciente en ciertos puntos del aparato económico, pero no creemos arriesgado afirmar que su evolución estará fuertemente signada por los determinantes del paradigma basado en la microelectrónica.

En esta visión exploratoria de conjunto nos interesa, por lo tanto, tratar de identificar las fuerzas que podrían influir sobre la evolución de la biotecnología y moldear sus formas de inserción en el tejido productivo guiado por el nuevo paradigma.

a) Complementariedad a nivel del conjunto del sistema productivo

Vistas globalmente, puede decirse que microelectrónica y biotecnología son complementarias. El principal impacto directo de la revolución microelectrónica se da en los servicios y en la industria manufacturera. En ambas no solo se modifican radicalmente los métodos de producción sino que se abre un amplísimo abanico de oportunidades de generación de productos radicalmente nuevos. En cambio, en lo que respecta a la agricultura, la minería y el sector primario en general, al igual que en las ramas químicas, el impacto se concentra en los métodos de producción. La promesa de nuevos productos o de modificaciones importantes a los existentes la brinda, en estos sectores, la biotecnología. En este sentido, el desarrollo de la biotecnología llena un vacío dejado por la constelación de las tecnologías de la información.

b) Complementariedad a nivel del modelo ideal de producción

La integración diseño-producción de las industrias de fabricación en el nuevo modelo, se traduce en el área de biotecnología en una integración investigación-producción. Su efectividad depende del uso de equipos electrónicos sofisticados para los laboratorios y el control de procesos y su consecuencia es la competencia en base al dinamismo científico y tecnológico.

En términos de modelo ideal de producción, los bioprocesos industriales son altamente compatibles con las trayectorias definidas por el nuevo paradigma. Bifani[33], por ejemplo, señala como ventajas importantes de los bioprocesos frente a la química tradicional, las siguientes. La capacidad de ahorrar energía, dado que las reacciones se basan en energía biológica renovable y se realizan bajo temperaturas y presiones menores; la reducción del impacto ambiental negativo; la posibilidad de complejos manufactureros más pequeños, más simples y menos costosos, favorecedores de la desconcentración industrial y por ultimo, mayor flexibilidad. Estas características coinciden claramente con las del modelo basado en la microelectrónica.

No es posible predecir, sin embargo, si estas características prevalecerán en el mediano plazo, dado el creciente control del desarrollo de la biotecnología por parte de los gigantes de la química. La experiencia acumulada por estas empresas en el procesamiento en gran escala puede inducirlas a insistir -por bloqueo mental o por interés- en la aplicación del viejo modelo.

Un aspecto especifico en el cual las dos tecnologías son complementarias es en la creciente tendencia al reciclaje y el tratamiento de efluentes en las industrias de procesamiento. Hasta ahora, la presión social contra al contaminación ambiental, ha tenido que traducirse en mecanismos de imposición obligatoria. En la mayoría de los casos las inversiones para protección ambiental constituían un costo neto con tasa de retorno cero. Hemos visto que el nuevo paradigma orienta el diseño de las plantas de procesamiento hacia el modelo de ciclo cerrado con máximo reciclaje y mínimo de efluentes, para elevar la productividad de todos los

[33] P. Bifani, “Desafíos de la Biotecnología para la Política Científica y Tecnológica”, ponencia en el II Seminario Iberoamericano Jorge Sábato, Madrid, junio 1986.

insumos materiales y energéticos. Las posibilidades que ofrece la biotecnología para el filtraje y recuperación, por medio de microorganismos, de subproductos reutilizables o comercializables[34], convergen con ese modelo, contribuyendo a transformar radicalmente las condiciones económicas de ese tipo de inversiones, incorporándolas a los medios de elevación de la rentabilidad global.

c) Convergencia tecnológica: la bioelectrónica

Hay además una línea particular de desarrollo que tiende hacia la fusión entre las dos tecnologías. Las investigaciones en lo que se ha dado en llamar bioelectrónica, dirigidas a utilizar células para fabricar "biochips" son objeto de interés creciente. Ya se han logrado prototipos de laboratorio para chips de memoria, con una capacidad de almacenamiento cuando menos cien mil veces mayor que la lograda con los chips actuales y una muchísimo mayor velocidad de operación. Otro tanto ocurre con la posibilidad de utilizar biosensores para la instrumentación de control de procesos. Sin embargo, este tipo de aplicación parece enmarcarse más dentro de la trayectoria de la microelectrónica misma que en lo que podría entenderse como el cauce propio de la biotecnología.

d) Factores que pueden influir sobre el rumbo de la biotecnología

El posible campo de acción de la biotecnología es increíblemente vasto, pero, cualquiera de las posibles aplicaciones requiere gastos sustanciales en investigación y desarrollo. Esto sugiere que habrá que perseguir una rutas en detrimento de otras y que la escogencia de rutas opcionales dependerá en mucho de las prioridades de los agentes de decisión.

Warhurst[35], por ejemplo, ha sugerido que los países en desarrollo podrían tener interés en lo que ella denomina los bioprocesos a cielo abierto, en oposición a los procesos cerrados. Los primeros son los que se llevan a cabo directamente en el medio natural y, por lo tanto, han de adaptarse al ambiente ecológico especifico donde se aplican. Ejemplos son la lixiviación bacteriana de desechos mineros o el control de pestes en la agricultura mediante el manejo del ciclo de predadores. La industria química, en cambio, tendería a favorecer el desarrollo de procesos cerrados.

Incluso en la investigación destinada a la agricultura, se observa ya un sesgo en las prioridades. Un ejemplo es el desarrollo de variedades resistentes a los pesticidas en lugar de hacerlas resistentes a las pestes, lo cual parecería un intento de hibridizar la biotecnología con la "Revolución verde", potenciando sus mercados[36].

---

[34] Para el caso de la industria de pulpa y papel ver: Science Council of Canada “, Seeds of Renewal, Biotechnololy and Canada’s Resource industries, Report 38,Ottawa. 1985

[35] A. Warhurst, Tesis Doctoral, SPRU, Univ.de Sussex. 1986 (especialmente Cap. 2.en el cual se analiza el sesgo que está tomando la biotecnología en las diversas áreas de aplicación). Ver también A. Warhurst . “The application of biotechnology for Mining”. ONUDI. marzo 1984.

[36] H. Buttel. M. Kennedy. L. Kloppenburg,Jr. “From Green Revolution to Biorevolution”, *Economic Development and Cultural Change*, octubre, 1985

La legislación que permite el patentamiento es otro elemento que, a la vez que promueve el interés por invertir en investigación y desarrollo, empuja hacia los proyectos de mayor apropiabilidad.

En resumen, la biotecnología se inserta cómodamente en el seno del nuevo paradigma, su desarrollo, intensivo en el uso y procesamiento de información, amplia los mercados de las ramas principales del nuevo modelo, y su rol es complementario en términos tecno-económicos en varios sectores. Por ello, su expansión tiende a ser favorecida por la generalización del nuevo paradigma. No obstante, además de la influencia moldeadora de las tecnologías microelectrónica, el rumbo que finalmente tome la biotecnología, como posible paradigma autónomo hacia el futuro, estará influido desde ahora por factores sociales, económicos e incluso geopolíticos.

TRANSICION TECNOLOGICA Y PERSPECTIVAS DE DESARROLLO

Para los países en desarrollo, la primera sensación que surge ante el caudal de transformaciones tecnológicas es de profundo desaliento. Parecería que la brecha tecnológica se amplia irremisiblemente. Pero, quizás este no sea necesariamente el caso.

El modelo aquí presentado ofrece una manera de abordar el análisis del conjunto de las tecnologías de un período, de sus formas de evolución e interrelación y de su interacción con lo económico, lo organizativo y lo socio-institucional. Si se acepta ese marco de análisis, la discontinuidad en la evolución de las tecnologías también lleva a discontinuidades en las condiciones del desarrollo. Los períodos de transición son fases de "destrucción creadora", no solo en el aparato económico sino también en las instituciones y las políticas que han venido guiando el desarrollo a escala nacional y mundial; un período de re-evaluación e innovación, de experimentos y creatividad social, en un nuevo espacio técnico-económico cuyos contornos y lineamientos son analizables y aprovechables para intentar un viraje y salto.

Para cada país esto plantea dos terrenos de acción: participar creativamente en la conformación de un nuevo conjunto de arreglos e instituciones a nivel internacional y proceder al rediseño de su propia estrategia de desarrollo y de las instituciones para llevarla a cabo. A conciencia del impacto indudable que tendrá el eventual marco internacional sobre las perspectivas de desarrollo, aquí solo nos referiremos a la reevaluación de las estrategias nacionales[37].

REPENSAR EL RUMBO DEL DESARROLLO

Por lo que hemos visto, ningún sector productivo es inmune a la influencia de las nuevas tecnologías. Ello significa que, hacia el futuro, el grueso del plantel existente, es obsoleto técnica

[37] Para la discusión de algunos posibles escenarios a nivel internacional, véase C. Pérez op. cit. pp. 456-460

y organizativamente. Y obsoletas también son las nociones y esquemas que llevaron a su establecimiento. En consecuencia, se hace necesario reexaminar de punta a punta el aparato productivo de cada país a la luz de las nuevas condiciones.

El hacer este planteamiento llama a especificar como hacerlo. La única respuesta a esa exigencia es indicar que los nuevos caminos tendrán necesariamente que surgir de un proceso masivo de creatividad social y lo importante es señalar que existe un nuevo ámbito para inventarlos. Aquí nos limitaremos a señalar algunos lineamientos generales que surgen de los rasgos del nuevo paradigma y pueden servir de punto de partida para repensar las estrategias de desarrollo.

Sin embargo, hay que comenzar con una advertencia. Como es sabido, el Tercer Mundo no es más que una categoría de análisis. Cuando se trata de marcar un rumbo nuevo, las diferencias en niveles de desarrollo relativo, son cruciales, en particular, la disponibilidad de recursos humanos calificados. Estos determinan tanto la capacidad para dotarse de una estrategia imaginativa y coherente, como la posibilidad de ponerla en practica con éxito.

Pero estas diferencias cobran especial importancia en la transición actual. El nuevo paradigma favorece la flexibilidad, la adaptación a condiciones particulares, la integración de actividades y el aprovechamiento de la diversidad. Esto sugiere que sacar el mejor provecho del nuevo paradigma depende de saber valorizar la especificidad de cada país. En estas condiciones hay que cuidarse de las recetas. Una estrategia exitosa para un país no es trasladable a otro. La diferencias en condiciones facilitadoras y restricciones exigen el análisis caso por caso. Por ello, las ideas que aquí presentaremos son más bien formas de aproximarse al problema.

a) La visión sistémica

Sean cuales sean las restricciones y posibilidades de cada país, la universalidad de aplicación de las nuevas tecnologías llama a reevaluar con nuevos criterios el rol y las perspectivas de todos los sectores de la economía, desde la agricultura y la minería, hasta los servicios, identificando posibles formas de interacción. Dada las ventajas que ofrece la integración de actividades en redes y sistemas, parecería inadecuado mantenerse dentro del esquema de separación entre sector primario, industrial y de servicios. La elevación de la eficiencia y las ventajas comparativas dependerán más que nunca de las interacciones entre actividades en complejos productivos y entre estos y los mercados internos o externos.

La meta de la integración siempre estuvo presente en el pasado, pero, dadas las restricciones de la producción en masa, esta era poco menos que inalcanzable. El nuevo modelo brinda los medios técnicos para llevarla a cabo. Saber aprovechar selectivamente las ventajas que de allí se derivan, especialmente en posibles cadenas de transformación a partir de recursos naturales, es uno de los nuevos retos del presente.

b) Un nuevo enfoque del mercado interno

Uno de los dolores de cabeza de los países en desarrollo bajo el modelo de producción en masa ha sido la insuficiencia del mercado interno para sustentar las escalas optimas de producción. Esta situación dejaba dos caminos, lograr competitividad para exportar o erigir barreras arancelarias para compensar altos niveles de capacidad ociosa. El modelo de producción flexible

con plantas multi-producto a escalas menores permite superar, al menos parcialmente, ese viejo obstáculo.

En este sentido, es importante aclarar que las nuevas formas organizativas -con un mínimo de equipo nuevo- permiten, por si solas, elevar significativamente la eficiencia. Es mas, la experiencia adquirida después de la reorganización es la mejor fuente de criterios para seleccionar los equipos adecuados y realmente necesarios. Esto ha sido demostrado una y otra vez en plantas japonesas y concuerda con los resultados de un estudio realizado en Inglaterra[38]. Esta vía reorganizativa puede servir para revalorizar y modernizar ciertos sectores del parque existente, con modestos montos de inversión.

A esto se agrega la flexibilidad que brindan las tecnologías basadas en electrónica para adaptar las configuraciones de planta y el diseño de productos a las condiciones climáticas, culturales o de cualquier otro tipo, especificas de cada país o región. Ello podría contribuir a romper el viejo esquema imitativo de patrones de consumo, aún cuando el grueso de los equipos de producción sean importados. No deja de ser paradójico que la adopción del nuevo modelo productivo, de origen tan externo como el anterior, pudiera resultar en la valorización de la creatividad local y en el rescate de patrones perdidos de identidad cultural.

Otro rasgo aprovechable del nuevo paradigma es su capacidad para contribuir al logro de la tan deseada descentralización. La modernización y ampliación de las redes de telecomunicaciones en cada país crea condiciones para la dispersión geográfica de los servicios públicos, las funciones de gobierno y los servicios privados (en particular la banca). Esto equipara las externalidades sobre todo el territorio y, unido a las deseconomías de agregación que se están manifestando en la mayoría de las grandes ciudades, puede sentar las bases para un desarrollo menos desequilibrado geográficamente.

c) Saltar a las nuevas tecnologías

Las posibilidades discutidas hasta ahora indican algunos de los grados de libertad que brindan las nuevas tecnologías asumiendo la condición de importadores usuarios. Es evidente, sin embargo que su aprovechamiento a fondo exige un cierto dominio local de las tecnologías de diseño de equipos, software y sistemas. Ya hemos visto el papel clave que asume el dinamismo tecnológico en el nuevo paradigma y el rol intermediario de las empresas de software e ingeniería de sistemas en llevar a la practica el potencial de adaptabilidad. Ello significa que para sacar verdadero provecho del nuevo modelo, hay que saltar a las tecnologías nuevas.

Según las ideas prevalecientes, esto parecería impensable. En base a la teoría del ciclo del producto, se ha generalizado la noción de que los países en desarrollo solo tienen acceso a la producción competitiva en la fase de madurez de los productos y las tecnologías. Y esto se comprobó, en los años sesenta y setenta, con el éxito relativo del "redespliegue industrial" y de algunas estrategias de industrialización exportadora. No obstante, a la luz del modelo de evolución tecnológica aquí discutido, eso puede interpretarse en un contexto dinámico. Una

[38] P. Dempsey, ponencia en la II conferencia sobre Sistemas Flexibles de Manufactura. Proceeding of FMS-2. IFS. Publications. Bedford. 1984. Ver tambi'en E. Schuonberger. Japonese Manufacturing Technoques: Nine Hidden lesons in simplicity, free, MacMillan. londres. 1982

primera interpretación es que, cuando se agota la trayectoria innovativa de un producto o proceso, la competitividad depende del costo relativo de los insumos y la mano de obra para producirlo. Esto trae como corolario que las opciones de desarrollo serian mayores cuando la tecnologías están maduras. Pero esto lleva implícita la idea de la transferencia tecnológica como única opción viable. Y esto puede ser más o menos cierto en las fases tardías de difusión de un paradigma.

Con las tecnologías nuevas la situación es distinta. Podría decirse que mientras más incipiente es una tecnología mayores son las posibilidades de entrada autónoma, dado un cierto nivel de dotación de recursos humanos calificados. En las fases tempranas de evolución de una tecnología nueva, se produce un proceso de aprendizaje, en el cual la experiencia previa es en parte útil y en parte un obstáculo, mientras que los conocimientos adquiridos en el mundo académico pueden ser indispensables. Es mas, las barreras de entrada en términos de costos son mucho más bajas al comienzo. Esto es lo que explica la proliferación de empresas pequeñas que caracterizo el desarrollo inicial de la industria de mini- y micro-computadores y de los llamados "plug-compatibles" en los años setenta. A medida que evoluciona la tecnología y crecen los mercados, la adquisición de "know-how" va erigiendo barreras de entrada cada vez más altas, algunas de las empresas iniciales desaparecen y otras suben de rango y se mantienen en la carrera.

Hemos sugerido que en el área de microelectrónica esas posibilidades aparecen en oleadas sucesivas, por las nuevas características del proceso de diseño. Hoy la proliferación de experimentos en pequeña escala se esta dando en el área de aplicaciones y de software. Para asombro de muchos, en esta fase América Latina esta participando. En algunos casos, como en telecomunicaciones y computación en Brasil, el impulso ha sido una estrategia gubernamental. En otros países, de manera espontanea han surgido empresas con productos de diseño propio, con calidad y precios internacionales, sin haber contado con ningún apoyo estatal. Esto no es ningún milagro. Las condiciones para entrar a acumular capacidad tecnológica en el diseño de equipos software y sistemas son hoy favorables, si se saben seleccionar los puntos de entrada.

Lo que si hay que comprender es que el esfuerzo tiene que ser sostenido y concentrado. Una vez en la carrera hay que sostener una dinámica tecnológica al ritmo de la frontera internacional. Esto, en países donde no hay un mercado de capital de riesgo ni una red adecuada de servicios industriales, requiere una fuerte política de promoción y apoyo que alimente la investigación y la innovación y provea externalidades.

Aunque crear el marco apropiado exija grandes dosis de inventiva, este nuevo tipo de oportunidades para la generación y acumulación interna de tecnología constituye, en nuestra opinión, el fenómeno más importante en la transición actual. Aprovecharlas es posible, con miras al futuro, en el área de biotecnología, la cual todavía se encuentra en período de definición. Pero, es absolutamente indispensable actuar en el corto plazo, en lo que concierne a la adquisición de capacidad tecnológica en el terreno de las aplicaciones de la microelectrónica.

La transición abre entonces una puerta para impulsar desde ahora un proceso endógeno de desarrollo de capacidad tecnológica. Este constituiría el puntal central para el logro de una mayor autonomía en el uso del nuevo potencial en función de metas nacionales. La selección de los puntos de concentración y las formas de promoción tendrían que analizarse, en base a lo viable, según las condiciones y recursos de cada país. Sin embargo, el no desperdiciar esta oportunidad aparece como objetivo indeclinable de cualquier proyecto nacional.

d) Nuevas estrategias, nuevos instrumentos

La combinación especifica de generación propia de tecnología, adaptación, importación o atracción de inversiones que se considere optima en cada país, e incluso la opción de proteger algunos sectores contra el cambio, resultara seguramente en una gran variedad de modelos de desarrollo. Sin embargo, el diseño e implementación de cualquiera de ellas en las condiciones actuales exige abordar directamente la cuestión tecnológica. La prospectiva global, la prospectiva por ramas y productos se convierten en útiles indispensables de la planificación. La evaluación tecnológica cobra un papel central en la banca de fomento al desarrollo. Los requerimientos de calificaciones afectan la programación del sistema educativo y así sucesivamente.

Esto cuestiona la separación tradicional de política tecnológica y política económica. Los dos aspectos se hacen inseparables y ello implica transformaciones institucionales profundas e innovaciones audaces en el área de instrumentos de política.

OBSTACULOS Y OPORTUNIDADES

En los países en desarrollo, la experiencia de largas décadas de frustración ha agudizado la habilidad para identificar obstáculos y limitaciones. Lo más natural, en las actuales circunstancias es sumar los nuevos obstáculos a los viejos. En vista de ello, hemos considerado conveniente concentrarnos en señalar algunas de las nuevas oportunidades, con la esperanza de alimentar un proceso de renovación del pensamiento sobre el desarrollo.

No pretendemos que no haya obstáculos, solo su gerimos que probablemente son distintos de los anteriores. Tampoco pretendemos que sea fácil la múltiple tarea de asimilar el impacto de una transformación tecnológica global, reorientar el desarrollo dotándose de una estrategia coherente e inventar nuevas instituciones e instrumentos. Mucho menos cuando enfrentar las manifestaciones más graves de la crisis actual es el objetivo de máxima urgencia.

No obstante, consideramos que prepararse para el futuro es una tarea impostergable. Las perspectivas de desarrollo, después de desencadenado el nuevo auge, dependerán, no solo del estadio alcanzado en la onda anterior, sino también de haber sabido colocarse a tiempo en condiciones de aprovechar la nueva.