



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ECONOMÍA

“DIFUSIÓN INICIAL DEL PATRÓN TECNOLÓGICO BANG  
(UNA NUEVA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL)  
COMO BASE DE LA DINÁMICA TOTALIZADORA DEL  
AUTÓMATA GLOBAL”

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN ECONOMÍA  
P R E S E N T A

OSCAR GARCÍA ARAGÓN

ASESOR: LIC. SARA ELBA NUÑO DÍAZ



CIUDAD UNIVERSITARIA 2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## ***AGRADECIMIENTOS***

*Dedico esta tesis a mi familia las personas más importantes en mi vida por ayudarme a cumplir mis objetivos como estudiante y como persona.*

*Agradezco de corazón a mis padres por la paciencia, el soporte incondicional y el apoyo constante que siempre me han brindado.*

*A mis hermanos, por su apoyo para continuar en este y otros proyectos de mi vida, a quienes siempre he admirado por su dedicación al estudio y al trabajo*

*A mi asesora Lic. Sara Elba Nuño Díaz por su apoyo en esta tesis, por sus conocimientos y consejos.*

## ***A MI ALMA MATER.***

*Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, a quien nombro con orgullo, por enseñarme que el secreto para alcanzar el triunfo, consiste en tener el entusiasmo por aprender, las ganas de trabajar y nunca dejar de estudiar.*

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
-------------------	---

### PRIMERA PARTE

<u>1. El patrón tecnológico, el espacio y el modo de desarrollo informacional (aproximación teórica del concepto de patrón tecnológico).....</u>	19
--	----

1.1.- El enfoque de los clásicos y la importancia que atribuían a los factores estructurales (incorporación de las primeras máquinas) y organizativos (división social del trabajo) en la producción capitalista 19, 1.2. Marx y el proceso de producción-trabajo-valorización 25, 1.3. El pensamiento neoclásico y heterodoxo del siglo XX y el papel de las innovaciones discontinuas en el tiempo 37.

<u>2.- Las distintas formas históricas de la producción de mercancías capitalista.....</u>	49
--	----

2.1.- Fases de desarrollo del capitalismo, las revoluciones tecnológicas y las revoluciones industriales 49, 2.2.- La economía del conocimiento (el desarrollo informacional) 75, 2.3.- La escuela evolucionista de la innovación y la definición de patrón tecnológico 90.

### SEGUNDA PARTE.

<u>3.- Trayectoria tecnológica en Estados Unidos en el siglo XX y la posible conformación del nuevo patrón tecnológico BANG.....</u>	106
--	-----

3.1- Estados Unidos un breve recorrido de su trayectoria tecnológica en el siglo XX 106, 3.2.- ¿Qué es el nuevo paradigma tecnológico BANG? 126, 3.3.- “Cuatro saltos a lo mínimo” 138.

4.- La difusión inicial del patrón tecnológico BANG articulada con el modelo de organización flexible de la producción..... 148

4.1.- La difusión inicial del patrón tecnológico BANG (el panorama actual de la nanotecnología en México) 148, 4.2.- El modelo toyotista de la producción y la transformación en redes de las empresas 211, 4.3.- La producción mundial integrada y la automatización del proceso de trabajo 220.

CONCLUSIONES..... 228

BIBLIOGRAFÍA..... 250

### **Introducción.**

El patrón tecnológico BANG<sup>1</sup> (por sus siglas bit, átomo, neurona y gen), como base de la dinámica totalizadora del autómata global, se presenta en el siglo XXI, como un nuevo momento de desarrollo en materia científico-tecnológica en la economía global a partir de la difusión inicial en Estados Unidos de América, como un reflejo de los procesos avanzados del capitalismo en los últimos treinta años, que tienen que ver con la renovación del sistema productivo a través de un distinto paradigma tecnológico.

La difusión de un novedoso proceso de producción, caracterizado por la manipulación de átomos y las moléculas, (componentes homogéneos de toda la materia tanto viva como inerte), de tal manera que puede ser aplicado a prácticamente cualquier rama de la producción, desde la electrónica, la energía, la minería y la defensa militar, hasta en el diseño de nuevos materiales, fármacos e insumos agrícolas, gracias a la herramienta denominada nanotecnología (ETC Group, 2005).

En la primera década del siglo XXI se puede observar con claridad en países industrializados que este nuevo patrón tecnológico, puede cambiar todo, desde los materiales con los que las grandes empresas capitalistas construyen, pasando por los procesos de producción industrial, hasta las propias capacidades humanas, que podrán ser expandidas con nanodispositivos.

Los nuevos objetivos son generar sucesivos saltos cualitativos y cuantitativos en el nivel general de competitividad y productividad alcanzable, a partir de: “la convergencia tecnológica

---

<sup>1</sup>En la actualidad el nuevo patrón tecnológico BANG, permite la convergencia entre las ciencias; las iniciales de **bit, átomo, neurona y gen** integran la palabra BANG, ¡BANG! Disparo atómico. El Grupo ETC, “the Etc Group”, The Big Down (Winnipeg, Manitoba, Canada, January 2005), usa el término “BANG” para describir la estrategia de la convergencia. Bits, Átomos, Neuronas y Genes conforman lo que llaman la “teoría del little BANG” jugando con el nombre de la teoría del Big Bang, el delirio tecnológico de controlar toda la materia, la vida y el conocimiento. La unidad operativa de las ciencias de la información es el bit; la nanotecnología manipula los átomos; las ciencias cognitivas se ocupan de las neuronas y la biotecnología explota los genes. Fusionar esas tecnologías en una sola, dicen sus promotores, llevará a una revolución industrial gigantesca y a un “renacimiento” de la sociedad que garantizarán la dominación de Estados Unidos tanto militar como económica en el siglo XXI. El ETC Group es la principal fuente de información sobre la nanotecnología para las organizaciones no gubernamentales ETC group. *Manual de Bolsillo en Tecnologías Nanoescalares y “la teoría del Little BANG”.* (Documento en línea) En ETC group, Junio 2005 Disponible en: [http://www.etcgroup.org/upload/publication/56/01/nr\\_etc\\_spa20\\_01\\_2006.pdf](http://www.etcgroup.org/upload/publication/56/01/nr_etc_spa20_01_2006.pdf). (consultado el 23 de marzo de 2008)

de cuatro rubros claves en la actualidad, es decir: 1) la nanotecnología (la manipulación de átomos y moléculas), 2) la biotecnología (o manipulación de los genes), 3) las tecnologías de la información (el manejo electrónico de la información), y 4) las ciencias cognitivas (exploración y manejo de la mente) [...]”<sup>2</sup>

Teniendo en cuenta que la lógica histórica del sistema capitalista de producción, en cuanto a la valorización del valor (obtención de ganancias de manera permanente y creciente) tiene por meta la acumulación creciente de capital, la cual impulsa la difusión y aplicación tanto en el terreno estrictamente técnico y objetivo, como en el organizativo y subjetivo.

Ubicado en éste universo de convergencias tecnológicas el objetivo general de mi tesis es presentar los resultados de una investigación bibliográfica sobre las diferentes interpretaciones de las más importantes corrientes de pensamiento económico ubicando el tipo de análisis y los métodos que utilizan para abordar el estudio del cambio histórico del capitalismo caracterizado por fases interconectadas entre sí, que muestran signos prevaletentes de crecimiento o estancamiento productivo de períodos prolongados de este sistema junto con el papel que desempeña la ciencia y la tecnología en la transformación económica, es decir, aquellas aportaciones teóricas, que expresan la importancia de los factores científico-tecnológicos en la continua reestructuración y reorganización de la producción capitalista; tanto lo que tiene que ver con el desarrollo estrictamente tecnológico, como la forma en que son dispuestos los distintos elementos del proceso de producción.

En esa dirección, las transformaciones estructurales y organizativas de la economía capitalista desde la Primera Revolución Industrial (finales del siglo XVIII) hasta la primera década del siglo XXI en Estados Unidos, han sido abordadas por diferentes escuelas de pensamiento económico, su importancia radica en el estudio y comprensión tanto de la lógica y dinámica del capitalismo, como de las fuentes de rejuvenecimiento y expansión de dicho modo de producción (productividad, competitividad y rentabilidad). El capitalismo se caracteriza en palabras de Castells (2000):

---

<sup>2</sup> Mihail C. Rocco y William Bainbridge. *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science*, NSF/DOC- sponsored report, Arlington Virginia, June 2002, 482 pages. Disponible en: <http://issuu.com/nanobioinfocognoman/docs/nbicreport> (Consultado el 3 abril de 2008)

“Por la separación entre productores y sus medios de producción, en donde, la conversión del trabajo en una mercancía y la propiedad privada de los medios de producción como base del control del capital (excedente convertido en un bien) determinan el principio básico de la apropiación y distribución del excedente (plusvalía) por los capitalistas. El capitalismo se orienta hacia la valorización del valor, es decir, hacia la cantidad de excedente apropiado por los capitalistas en virtud del control privado de los medios de producción y circulación...”<sup>3</sup>.

Como se observa, Castells identifica la lógica del modo de producción capitalista en cuanto a la apropiación total del excedente y el interés de los capitalistas por reproducirlo de manera constante y creciente. Así pues, me interesa ubicar históricamente dicho planteamiento, con el propósito de distinguir los autores y escuelas del pensamiento económico, que centran su análisis en la producción, particularmente en los cambios en el proceso productivo, es decir, en la evolución de los medios de trabajo, en la capacidad, la habilidad técnica e intelectual de la fuerza de trabajo y en las relaciones productivas técnicas que derivan de la interacción entre los sujetos productivos y el control que poseen sobre los medios de trabajo. En el intento por identificar un proceso histórico y dinámico encontré que se caracteriza por una evolución en las formas de producción capitalista materializadas en: revoluciones constantes en los medios de producción; generación de nuevos productos; nuevas empresas y nuevas infraestructuras (revolución tecnológica); y en cambios en los elementos constitutivos fundamentales para aumentar la producción de mercancías y la acumulación del excedente, los cuales conducen “gradualmente” , —según la escuela evolucionista de la innovación—, al surgimiento de un nuevo paradigma tecno-económico, en otras palabras, un modelo constituido de principios tecnológicos y organizativos, el cual, representa la forma más efectiva de aplicar la revolución tecnológica en cada fase histórica del capitalismo.

Considerando que una de las metas prioritarias de las empresas es la búsqueda continua de la competitividad en un mundo dinámico donde actualmente prevalecen las condiciones organizativas y productivas globales capitalistas, vale puntualizar la definición del Banco Mundial de competitividad, es decir: “la capacidad de los países para insertarse exitosamente en la economía mundial permitiendo mantener y aumentar una cuota de mercado global,

---

<sup>3</sup> Manuel Castells, *La era de la información, economía, sociedad y cultura*. México. Ed. Crítica, 2000, p. 42.



basada en un comportamiento superior de la productividad”<sup>4</sup>. Para Krugman 1992, la productividad es un factor determinante de la competitividad internacional de un país y debe entenderse como el mejoramiento de la capacidad productiva, posibilitada entre otros factores por el desarrollo científico-tecnológico.

Siguiendo esta línea de análisis Carlota Pérez plantea:

“De hecho, cada revolución tecnológica se desarrolla originalmente en un país-núcleo, el cual actúa como líder económico mundial durante esa etapa. Ahí se despliega completamente y de ahí se propaga a otros países. Las primeras dos revoluciones fueron lideradas por Gran Bretaña, la cuarta y la quinta por Estados Unidos. Con frecuencia la articulación de las tecnologías nuevas con algunas de las viejas es lo que genera el potencial revolucionario, para principios del siglo XXI, se relaciona con la generación de la nanotecnología y su desarrollo se ha generado a partir de las tecnologías de la información capaces de posibilitar una sexta revolución tecnológica en Estados Unidos”<sup>5</sup>

En ese universo el objetivo particular de mi proyecto de investigación fué: esclarecer la transición de la economía industrial en Estados Unidos de América en el siglo XX, hacia una nueva economía que depende cada vez más de la información y el conocimiento científico de nueva generación a partir de la década de 1970, e identificar la nueva fase de desarrollo del capitalismo actual, articulada con un modelo de producción global que las grandes empresas capitalistas —Hewlett-Packard, Xerox, Sandia Corporation, Eli Lilly, etc.,— (Roco y Bainbridge 2002) pretenden impulsar para superar barreras de productividad, competitividad y rentabilidad a partir de la aplicabilidad de las tecnologías electro-informáticas, las telecomunicaciones y la difusión inicial de tecnologías BANG —emergentes incipientes, de reciente creación, o que potencialmente plantean sus aplicaciones desde la nanotecnología—, en el aparato productivo estadounidense.

En la actualidad las tecnologías nanoescalares se están desarrollando intensamente dentro de la lógica de la sociedad informática; en las últimas décadas estamos asistiendo a un acelerado cambio de tecnologías en muchos campos de la actividad productiva y la vida social, una Tercera Revolución Industrial o la denominada revolución científica-tecnológica impulsada a

---

<sup>4</sup> Banco Mundial. Documentos y Publicaciones 2009. Disponible en: <http://www.worldbank.org/reference/> (Consultado el 20 de diciembre de 2009)

<sup>5</sup> Carlota Pérez. *Revoluciones tecnológicas y capital financiero, la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*. México. Siglo XXI editores. 2000. p. 35

partir de una red global de interdependencia e interconexión de una triada conformada por empresas, Estado e instituciones académicas que se han propuesto dinamizar la economía estadounidense, en otras palabras, la vuelta al crecimiento económico y a la permanente y creciente valorización del valor como fin último. Para principios de siglo XXI, Estados Unidos lanza un proyecto titulado "Tecnologías convergentes para el mejoramiento del desempeño humano". La Fundación Nacional de la Ciencia (Estados Unidos siglo XXI) se refiere a esta convergencia de tecnologías como NBIC —nano-bio-info-cogno— (Roco y Bainbridge, 2002), pero el Grupo ETC<sup>6</sup>, la llama BANG -bits, átomos, neuronas, genes-, porque la ambición de sus promotores es mejorar las capacidades humanas, superar las barreras históricas de productividad, competitividad y rentabilidad del capital a partir de la revolución nanoescalar.

Siguiendo a Foladori (2006); a través de la Fundación Nacional de la Ciencia, participan en la generación de este nuevo patrón tecnológico, según un informe de 2002: funcionarios mayores de la Casa Blanca, del Departamento de Comercio y de la Fundación Nacional de la Ciencia. Otros representantes del gobierno de los Estados Unidos provenían del área de energía, de la NASA y diversos científicos de todos los niveles, desde los laboratorios de la Fuerza Aérea y la Marina, así como de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de la Defensa (DARPA). Entre las instituciones académicas estaban las Universidades de California en Berkeley, Princeton, Rutgers, el Instituto Tecnológico de Massachussets, Duke, Stanford, Harvard y Carnegie-Mellon. La industria estuvo representada por Hewlett-Packard, Boeing, IBM, Raytheon y Lucent Technologies, entre otras.<sup>7</sup>

Actores con mayor actividad relacionada con las tecnologías nanoescalares (2004):

---

<sup>6</sup> El Grupo ETC tiene estatus de consultor en el Consejo Económico y Social de Naciones Unidas (ECOSOC), en la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) y en el Convenio de Diversidad Biológica (CDB); y también tiene una larga historia con el Grupo Consultivo de Investigación Agrícola Internacional, (CGIAR). El Grupo ETC es una organización de la sociedad civil registrada en Canadá y en Los Países Bajos. Friends of ETC Group es una organización privada sin fines de lucro registrada bajo la sección 501 (c)3 en Estados Unidos, se dedica a los diversos asuntos socioeconómicos y ecológicos que rodean las nuevas tecnologías y que podrían tener impactos en los más pobres y más vulnerables del mundo. Disponible en <http://www.etcgroup.org> (consultado el 23 de marzo de 2008)

<sup>7</sup> Guillermo Foladori et al. *Nanotecnologías Disruptivas*. México, Porrúa, 2006, pp. 32,33,34,35.

País	Institución académica y/o empresa
Estados Unidos	Advanced Micro Devices Intel Micro Technology Applied Materials Motorola Coming Incorporated Lucent Technologies 3M Innovative Properties Instituto Tecnológico de California Sandia Corporation (laboratorio militar) La junta de regentes de la Universidad de California Estados Unidos como representante de la secretaria de la armada Xerox
Inglaterra/Estados Unidos	Smithkline Beechman
Japón	Fuji Photo Film Fujitsu Kabushiki Kaisha Toshiba NEC Sony
Alemania	Bayer
Francia	L'Oreal

Fuente: Foladori (2006), pp. 24, 25.

En términos generales, en 2004 dichas instituciones y/o corporaciones en Estados Unidos se colocaban claramente como el centro neurálgico del desarrollo nanotecnológico a nivel mundial con al menos unos 40,000 científicos, estudiantes, o trabajadores calificados en un aspecto puntual de esta tecnología y con una infraestructura potente y especializada para investigación nanotecnológica emplazada en más de 60 universidades como la Red

Computacional en Nanotecnología de la Fundación Nacional para la Ciencia (NFS, por sus siglas en inglés), la Red Nacional de Infraestructura Nanotecnológica; los corredores de innovación de nanotecnología de Massachusetts, Nuevo México, Nueva York, Michigan, Texas, Illinois, Maryland, Carolina del Norte y Ohio; los Centros de Investigación en Nanociencias del Departamento de Energía, o las instalaciones de la NASA y el Departamento de la Defensa.

Además de cambiar la manera en que los objetos son de hecho construidos, se cree que la nanotecnología estimulará un abanico de transformaciones sociales y económicas; en consecuencia, ya son numerosos los productos o servicios derivados de la nanotecnología que se comercializan o que están en fases de precomercialización. Por ejemplo:

En herramientas está el negocio de etiquetas moleculares (Dendritic, Genicon, NanoPlex, Nanosphere, Quantum Dot), o el de microfluidos (Caliper, Fluidigm, Nanostream, Surface Logix). En *nuevos materiales* como fibras y cerámicas más resistentes y menos pesadas para aplicaciones militares o aeroespaciales están actores como los Laboratorios Sandía (del Departamento de la Defensa de Estados Unidos), el *Institute for Soldier Nanotechnologies* (del Massachusetts Institute of Technology, Estados Unidos) o la *National Administration Space Aeronautics* (NASA), entre otros). En nanobiotecnología, para el desarrollo de terapias (Alnis, Biosciences) el desarrollo de nanopartículas polifuncionales y el desarrollo de partículas para cosméticos (Procter & Gamble y L'Oreal) (véase Mazzola, 2003: 1137-1143).

Algunos productos con nanocomponentes ya están en el mercado y nos dan una idea más tangible y real de los avances actuales. Según el Nanotech Report (Forbes, 2004), entre los primeros productos vendidos en el 2004 se encuentran: calzado térmico (Aspen Aeogels), colchones que repelen sudor y polvo (Simmons Bedding Co.), palos de golf más resistentes y flexibles (Maruman & Co.); cosméticos personales ajustados a edad, raza, sexo, tipo de piel y actividad física (Bionova); vestidos para heridos y quemados que evitan las infecciones (Westaim Corporation); desinfectantes y limpiadores que se aplican a aviones, barcos submarinos, etcétera. (EnviroSystems); aerosoles que repelen agua y suciedad, utilizados en la industria de la construcción (BASF); tratamiento a los vidrios para repeler el agua, la nieve, insectos y otros adheribles. (Nanofilm), crema contra el dolor muscular (CNBC) y adhesivos dentales que fijan mejor las coronas (3M ESPE).

No siendo el objetivo de mi tesis, abordar la historia del pensamiento económico y tecnológico, no se hace necesario plantear los señalamientos de cada escuela teórica con respecto a la tecnología y el cambio técnico.

Por lo tanto mis objetivos particulares se enfocaron en presentar, a partir del caso de Estados Unidos en el siglo XX y principios del XXI, las propuestas teóricas que me parecen más adecuadas para desarrollar el eje temático de mi proyecto de tesis, es decir: la reestructuración y reorganización económica-social, en otras palabras, una serie de rasgos productivos, estructurales, organizativos y tecnológicos los cuales han posibilitado elevar los niveles de productividad, ampliar el mercado, reducir los costes de mano de obra y otros estratégicos en la fase actual de desarrollo del capitalismo; rasgos éstos articulados con el modelo de producción flexible-informacional y la generación de una nueva plataforma unificadora para la ciencia y la ingeniería en nanoescala, que posibilite desarrollar nuevos métodos de producción eficientes.

En esa dirección me parece necesario distinguir una serie de características fundamentales en cuanto a: el continuo desarrollo de los medios de producción; la evolución del proceso de trabajo; los determinantes y fuentes del crecimiento económico conectados con la evolución del proceso tecnológico —en sus fases de: innovación ; difusión; madurez y transferencia tecnológica— en dicho largo período, para ubicar la evolución y desarrollo de la ciencia y la tecnología, así como las transformaciones en la sociedad que se articulan al cambio histórico del capitalismo a partir de la transición del trabajo manual, al mecánico y posteriormente al automático y computarizado.

Me propuse en primer lugar investigar como punto de partida teórico ¿Cuáles eran los fundamentos explicativos principales de dos escuelas de pensamiento económico que hasta la fecha sirven de base y referencia para diferentes estudios económicos en relación a la reproducción de la sociedad (Economía Política tanto clásica como crítica), y la reproducción del capital (Teoría Económica)?. En segundo lugar ubicar las aportaciones teóricas del siglo XX, en particular la teoría de las ondas largas (Kondratiev: 1935), la del desenvolvimiento económico (Schumpeter: 1946), y el enfoque de la teoría evolucionista de los llamados

“neoschumpeterianos”; el cual se centra, en los cambios económicos y dentro de éstos se subraya el papel contemporáneo de la innovación tecnológica.

Para Corona (1999, p. 204) entre los principales autores de la corriente evolucionista del cambio técnico se encuentran Nelson y Winter (1982), Dosi (1982), Pavitt (1984) Freeman (1988) y Pérez (1989). En su conjunto los autores seleccionados presentan un panorama donde se plantean las bases de un desarrollo teórico alternativo de tipo sistémico (desde la teoría económica) pero con planteamientos dinámicos. Se estudian las evidencias empíricas de la naturaleza del cambio técnico y la innovación a partir del análisis de economías desarrolladas.

Debido a que en la actualidad ha cobrado importancia creciente el denominado “nuevo paradigma tecno-económico” —para la escuela inglesa de Sussex, (Clark, Freeman, Soete y Perez): la microelectrónica, desempeña el factor clave en el nuevo patrón basado en la tecnología de la información—, consistente básicamente en la irrupción productiva del sector “conocimientos” fundamental para el nuevo escenario de la productividad y competitividad internacional, en donde, el sector conocimientos ha implicado la unión o interrelación de los tres factores antes separados, la ciencia, la tecnología y la educación como factores integradores y su papel en la transformación económica.

El paquete bibliográfico seleccionado, representó un esfuerzo teórico por analizar el desarrollo del capitalismo desde una perspectiva histórico-dinámica; partiendo de la concepción objetiva de la economía, herencia del pensamiento clásico y crítico, es decir, la ciencia que estudia la producción, distribución, cambio y consumo de los bienes materiales y las relaciones que los sujetos establecen entre sí y con la naturaleza, condición material para la sobrevivencia y reproducción colectiva y base para organizar la producción con la esperanza de obtener ganancias.

Un recorrido que inicia en la primera parte de mi tesis con el enfoque de los clásicos que describen la importancia de los factores estructurales (incorporación de las primeras máquinas) y organizativos (división social del trabajo) en la producción capitalista de valor y su conexión con el desarrollo económico capitalista; continua con la concepción dialectico-materialista de Marx (1867), acerca de la reproducción social, es decir, la forma en que los sujetos sociales han

ido transformado históricamente de manera creciente la naturaleza para convertirla en objetos y espacios útiles a la satisfacción de necesidades de sobrevivencia y para la obtención de valor y plusvalor que se transforma en ganancias, en otras palabras, las distintas formas históricas de la producción de mercancías capitalista, —unidad de proceso de explotación de trabajo y proceso de valorización— las cuales pueden verse como una realidad en constante cambio, como todo un proceso, articulado con cambios técnicos y científico-tecnológicos, conocidos también como revoluciones tecnológicas, y es complementado al final de la primera parte de mi tesis con el enfoque de las ondas largas propuesto por Kondratiev, Schumpeter y la escuela del “pensamiento evolucionista de la innovación” o los llamados “neoschumpeterianos” a finales del siglo XX. Enfoque que incorpora la noción fundamental de la evolución del capitalismo en fases de desarrollo.

Al estudiar la dinámica del cambio histórico del capitalismo, a partir de la teoría de las ondas largas, dichos autores centran, su análisis en la lógica de la producción y distinguen movimientos de largo plazo en la actividad económica de carácter cíclico —se repiten cada determinado plazo—, y ondulatorio —por que la fluctuación no gira siempre en torno al mismo nivel—, producidos por fuerzas endógenas conectadas con la acumulación de capital y la actividad innovadora. La conformación de sucesivas ondas largas y la conexión entre ellas, representan por tanto las fases de evolución del sistema en su conjunto (sus modos de desarrollo); articuladas con innovaciones discontinuas en el tiempo (revoluciones tecnológicas). Schumpeter (1939), establece la conexión entre cambio tecnológico y los movimientos económicos cíclicos, destacando la aparición discontinua de las innovaciones en el tiempo, que más tarde elaboró como olas de destrucción creativa y que además sentó las bases para la teoría de las revoluciones tecnológicas. La aportación de los neoschumpeterianos, radica no solo en distinguir la aparición de las innovaciones fundamentales (revoluciones tecnológicas) simultáneamente en cada fase de desarrollo del capitalismo, sino la existencia de un alto grado de complementariedad entre ellas, es decir, la integración como sistemas tecnológicos a través de un paradigma tecno-económico o modelo capaz de guiar el potencial tecnológico. Dicho enfoque permite identificar en la segunda parte de la presente investigación, la trayectoria tecnológica en el siglo XX y principios del siglo XXI en Estados Unidos, la transición del modo de desarrollo industrial hacia el informacional, además de proporcionar el marco teórico e histórico, posibilita distinguir la conformación de

una nueva constelación de tecnologías nanoescalares, su difusión inicial en el aparato productivo estadounidense y el recorrido tecnológico que puede conducir a la conformación de un nuevo paradigma tecno-económico BANG.

En algunos pasajes de la presente investigación, el lector, encontrará la periodización del capitalismo por “etapas”, concepción que apunta a realizar cortes temporales que separan procesos históricos diferenciados, es decir, un registro secuencial de los hechos que caracterizan a la cronología capitalista, lo cual, constituye aquí solo un aspecto auxiliar del análisis. Un ejemplo de este esquema analítico de etapas es la delimitación que establece E. Hobsbwan entre el “siglo XX corto” (1914-89), entre los períodos de “catástrofe” (1914-45), “edad de oro” (1945-73) e “incertidumbre” (1973-actualidad), que me permitió identificar puntualmente determinados avances científico-tecnológicos en Estados Unidos, además de las políticas y estrategias del Estado norteamericano, dirigidas a fomentar la investigación, desarrollo e innovación tecnológica. (Ver apartado 3.1.- Estados Unidos un breve recorrido de su trayectoria tecnológica en el siglo XX, p. 103).

El planteamiento del problema que atañe al tema es, si un conjunto de innovaciones tecnológicas son la base de las revoluciones industriales y tecnológicas, capaces de posibilitar la continúa reestructuración y reorganización de la producción capitalista, si es así, entonces las relaciones entre progreso tecnológico y económico son de importancia fundamental, por lo cual es lógico que las distintas escuelas de pensamiento económico y particularmente la teoría económica (corriente dominante en las principales escuelas de economía en la actualidad) dediquen amplios esfuerzos al análisis entre tecnología y desarrollo económico. Sin embargo, para Cazadero (1995: 16), no fue hasta a principios de siglo XX, cuando comenzaron las aportaciones formales respecto a la interacción de la ciencia, técnica y la tecnología con el crecimiento económico, a partir de los análisis del economista austriaco en Estados Unidos Schumpeter (1911) y el estadounidense Pigou (1920).

En esa dirección la preocupación explícita de una economía de la tecnología data apenas de los años sesenta con el enfoque evolucionista, sus raíces se remiten a la concepción clásica de la economía inglesa y europea de esta manera tenemos: A. Smith (1723-1790), en *La Riqueza de las Naciones*, 1776, analiza la aplicación de maquinaria y el principio de la división del trabajo como factores del progreso económico: “Como consecuencia de una mejor maquinaria, una mayor



destreza y una más adecuada división y distribución del trabajo, todo efecto natural del progreso, implica una menor cantidad de trabajo para fabricar una pieza cualquiera.” (Smith, 1776, cap. 11 libro 1). David Ricardo (1772-1823) en su *Principles of Political Economy*, publicado en 1821; J.S. Mill (1806-1873) en su obra homónima de 1848; a las bases materiales del pensamiento de Karl Marx (1818-1883) con la teoría del materialismo dialéctico, que con el concepto de fuerza productiva social, agrega las fuerzas del mercado, del trabajo y del capital, tanto la ciencia como las técnicas en *El Capital*, publicado entre 1867 y 1894; a la teoría neoclásica con el concepto de progreso técnico, desglosa la productividad de los factores del trabajo y capital; Kondratiev (1892-1938) en los “Ciclos económicos largos”, publicado en 1935, fué pionero en distinguir la importancia de las innovaciones en la dinámica de la vida económica; y al espíritu innovador del emprendedor con Joseph Schumpeter (1883-1950) en su *Theory of Economic Development*, aparecida originalmente en 1911, hicieron las contribuciones más antiguas en este terreno<sup>8</sup>.

Por lo tanto, me interesa identificar, un proceso histórico de evolución en las condiciones de producción capitalista, desde finales del siglo XVIII hasta principios del siglo XXI, con el objetivo de ubicar los principales cambios en la estructura económica social del capitalismo, es decir, la evolución de las relaciones que establecen los sujetos sociales entre sí y con los medios de producción (relaciones sociales técnicas de producción), en cuanto agentes del proceso de producción para la realización de las mercancías, un intento por esclarecer: ¿cómo se modifica el control que posee el trabajador sobre los medios de trabajo y sobre el proceso de producción en general comandado por el capitalista?, ¿cuáles son las fases que ha atravesado el proceso de trabajo capitalista desde sus orígenes hasta nuestros días apoyado en la ciencia y la tecnología?.

Me propuse distinguir el desarrollo de las fuerzas productivas técnicas, o sea, la evolución de los medios de trabajo, la técnica y la tecnología del desarrollo de las actividades del trabajador y su capacidad de trabajo, es decir, el desarrollo de la fuerza de trabajo en una formación social determinada, e identificar: ¿cuáles son los principios o modelos tecnológicos y organizativos que son capaces de guiar los cambios antes mencionados en cada fase histórica de desarrollo

---

<sup>8</sup>Leonel Corona et al. *Teorías económicas de la tecnología*. México. Editorial Jus, 1999. p. 11

del capitalismo? (Ver apartado 2.1 fases del desarrollo del capitalismo, las revoluciones tecnológicas y las revoluciones industriales pág. 48).

Así para comprender la lógica y los intereses del capitalismo avanzado, me parece importante intentar explicar, ¿por qué históricamente los grandes capitalistas revolucionan constantemente las condiciones de producción en que se desarrolla el proceso de trabajo para que sea posible una mayor productividad? De tal manera, me propongo estudiar las determinantes y fuentes del cambio tecnológico; ¿Por qué interesa a los capitalistas acomodar las partes constitutivas del trabajo, de tal manera que el comportamiento que se espera del trabajador en la actividad productiva se ajuste a los objetivos de la empresa? ¿Cuál es el objetivo de asignar puestos de trabajo en base a la habilidad, destreza, velocidad, conocimiento o profesión que tenga el trabajador en relación con la actividad que desempeña? ¿Cuál es el objetivo de establecer una división del trabajo en cada una de las secciones o puestos de trabajo, áreas o departamentos para un mejor funcionamiento, es decir, fragmentar y flexibilizar los procesos laborales y la repartición de tareas entre el personal asignado en el puesto de trabajo?

Me interesa por tanto estudiar a grandes rasgos la forma de organización de la producción y del trabajo en cada fase de desarrollo del capitalismo, articulado con un modelo de “práctica óptima” diferente para cada revolución tecnológica desde 1770 hasta más allá del 2000, para la producción, la realización de determinada tasa de ganancia y la comprensión de la dinámica capitalista.

En términos de estructura del texto la tesis está dividida en dos partes: una primera que responde al objetivo general referido a las corrientes de pensamiento económico que abordan el papel de la ciencia y la tecnología en la transformación económica y social en la historia del capitalismo y la segunda parte ubica los cambios estructurales y organizativos más importantes suscitados en Estados Unidos durante el siglo XX y principios del XXI —objetivo particular de la misma—, que han posibilitado la transición de una economía industrial hacia una que depende en mayor medida de la información y el conocimiento. En ambas partes se analiza transversalmente el impulso y difusión inicial de las nuevas tecnologías nanoescalares, desde una perspectiva histórica-estructural.

La primera parte está dividida en dos capítulos. El primero tiene la finalidad de proporcionar una presentación esquemática del marco teórico; en el primer apartado (1.1) se describe la importancia que atribuía el pensamiento clásico de A. Smith y Ricardo, a los factores estructurales y organizativos en la producción capitalista, y su conexión con el progreso económico, tratando de sentar las bases histórico-objetivas que constituirán el punto de partida del conjunto de mi tesis. En los siguientes apartados se consideran respectivamente el reconocimiento de Marx acerca de que la producción es la base de la organización y reproducción social, se estudia el proceso de producción-trabajo-valorización a partir de los componentes que integran a la estructura económica-social y las distintas formas de organización del proceso productivo, con el objetivo de distinguir la lógica y dinámica del capitalismo, además de la importancia de la tecnología, capaz de revolucionar el modo de producción mismo (apartado 1.2), la respuesta del pensamiento económico neoclásico de Marshall y heterodoxo del siglo XX de Kondratiev, Schumpeter y los “evolucionistas” ante los cambios tecnológicos y productivos en los países centrales (apartado 1.3).

El segundo capítulo corresponde a una presentación del enfoque histórico adoptado en esta tesis; a partir de un breve recorrido de la historia de la técnica y la tecnología desde Beckman (1739-1811); Poppe (1776-1854) y Marx (1861-1863) hasta Mokyr (2002); además de un intento por definir e identificar el papel de las revoluciones tecnológicas y el despliegue de su potencial, a fin de ayudar a reconocer la dinámica y la naturaleza cambiante del capitalismo y mirar prospectivamente hacia la siguiente fase de secuencia tecnológica en el siglo XXI en Estados Unidos (apartado 2.1) En el siguiente apartado (2.2) se estudian las manifestaciones estructurales y organizativas de la tecnología electro-informática en la fase actual de la economía del conocimiento (finales del siglo XX en Estados Unidos). En el último apartado de la primera parte de la tesis, se define el concepto de paradigma tecno-económico de Carlota Pérez, asociado con cada una de las revoluciones tecnológicas, como representación de un conjunto de lineamientos de “práctica óptima”, bajo la forma de patrón que guía la difusión de cada revolución (apartado 2.3)

La segunda parte, está compuesta también por dos capítulos referidos a la evolución de la tecnología en Estados Unidos en el siglo XX. El tercer capítulo aborda la cuestión del papel del Estado en la creación de innovaciones y la incidencia de sus efectos en toda la economía, no

solo sustituyendo a Inglaterra en la hegemonía mundial sino liderando la emergencia de un rango de nuevos productos y servicios, sistemas e industrias, además afectando directa o indirectamente todas las ramas de la economía y la organización de la producción, es decir, el tránsito de la mecanización, a la estandarización y posterior automatización y computarización de la producción posibilitada entre otros factores, por el papel de las acciones públicas — militares—, empresariales y de los centros de investigación que participan en: el financiamiento y desarrollo científico-tecnológico (apartado 3.1); el desarrollo actual de la ciencia y la tecnología basado en un entendimiento comprensivo de la estructura y el comportamiento de la materia en la escala nano, y los avances en la comprensión del sistema más complejo hasta ahora conocido, o sea, el cerebro humano, con el objetivo de distinguir la propuesta del Estado estadounidense a principios del siglo XXI, de unificación de la ciencia a partir de los avances en nanotecnología —unidad más pequeña de la naturaleza, es decir, el estudio de los átomos y moléculas— como posibilidad de convergencia tecnológica (apartado 3.2); el proceso de miniaturización de los componentes tecnológicos que conforman el nuevo patrón tecnológico y que contribuyen a la convergencia de las tecnologías nanoescalares con la biotecnología, la informática y las neurociencias (apartado 3.3).

En el cuarto capítulo elegí centrar el análisis en la difusión inicial del nuevo patrón tecnológico BANG, ubicando el florecimiento de nuevas industrias producto del fuerte estímulo al desarrollo de la nanotecnología; además del diagnóstico de la nanotecnología en México, realizado por la Secretaría de Economía en febrero de 2008, centrado en una encuesta aplicada a las empresas manufactureras que participan en el área de nanotecnología y la recabación de la información del sector académico referente a los recursos, proyectos y esfuerzos científicos en materia de investigación y desarrollo de la tecnología nanoescalar, con el objetivo de reconocer el panorama nacional actual y el aprovechamiento del potencial del nuevo paradigma (apartado 4.1); la posibilidad de organizar la producción a escala global, a finales del siglo XX, proceso que incorpora componentes producidos en muchos emplazamientos territoriales diferentes por empresas distintas y ensamblados para propósitos y mercados específicos, una nueva forma de producción: una producción de elevado volumen, flexible y personalizada (apartado 4.2); ello posibilitado por las nuevas tecnologías de la información, decisivas para permitir que funcione realmente un modelo tan flexible y adaptable en tiempos y espacios de mercado. Ello implica la capacidad de la empresa para reestructurarse

y reorganizarse, no solo eliminando la redundancia, sino asignando las capacidades de reprogramación a todos sus sensores, mientras reintegra la lógica general del sistema empresarial en un centro de toma de decisiones que funcione en línea con las unidades interconectadas en tiempo real —automatización del proceso de trabajo— (apartado 4.3).

Se trata, por lo tanto, de efectuar una aproximación a la estructuración productiva, tecnológica y espacial del capitalismo actual, con el fin de clarificar al menos parcialmente, las nuevas condiciones productivas globales, organizativas-flexibles y el desarrollo de las nuevas tecnologías electro-informáticas y nanoescalares que posibilitan los distintos cambios en la producción capitalista del siglo XXI.

Tanto la fase industrial como la actual informacional o economía del conocimiento, nos remiten a una concepción dinámica y dialéctica del fenómeno mismo, lo cual privilegia un enfoque de proceso. De esta manera, el proceso de producción capitalista, es decir, las distintas formas que históricamente ha tenido la producción de mercancías capitalista, puede verse como una realidad en constante cambio, como todo un proceso, el cual se puede dividir para fines de análisis, en fases interconectadas e interdependientes entre sí, que solo adquieren su exacta dimensión en una visión global y de conjunto. Aunque el análisis y comprensión de una transformación global requiere una perspectiva tan global como sea posible, existe un límite acorde con mi experiencia y mi conocimiento.

En ese contexto el conjunto de la tesis, y particularmente la segunda parte, no debe verse tanto como una obra terminada, sino más bien como una exploración bibliográfica y metodológica abierta, concebida como una guía hipotética de investigación, que al mismo tiempo que un instrumento útil de trabajo, pueda ser corregida y desarrollada por la labor de investigación histórica inspirada en ella.

**1.-El patrón tecnológico, el espacio y el modo de desarrollo informacional (aproximación teórica del concepto de patrón tecnológico)**

1.1.-El enfoque de los clásicos y la importancia que atribuían a los factores estructurales y organizativos en la producción capitalista.

Es la escuela clásica —con su enfoque objetivo y macroeconómico—, la primera en estudiar las determinantes y fuentes del cambio tecnológico. El principio fundamental establecido por esta corriente centra su atención en el papel del trabajo en la generación de la riqueza, considerando tanto sus modos de producción como los de distribución. (Arriola, 2006: p. 29)

En ese contexto me pareció relevante abordar y plantear la frontera del conocimiento alcanzado por los clásicos en relación a la concepción objetiva de la economía, es decir, la ciencia social que estudia la producción, distribución, cambio y consumo de los bienes materiales y las relaciones que los sujetos sociales establecen entre sí y con la naturaleza para organizar la producción colectiva con la esperanza de obtener ganancias

Los gérmenes de la concepción económica acerca de la ciencia y la tecnología de los clásicos deben buscarse en la réplica a los fisiócratas, quienes afirman que la naturaleza produce poco: casi todo lo natural debe ser transformado mediante el esfuerzo humano. Esta transformación es la que produce la riqueza, cuya fuente es el trabajo (Heilbroner 1964), por que sin el esfuerzo transformador los productos naturales no valen nada, lo que significa aún cuando el planteamiento no es explícito, las actividades orientadas por el cambio científico-técnico son un instrumento eficaz (el mayor) para el esfuerzo transformador de la naturaleza<sup>9</sup>

Para Adam Smith (1776) el aumento del producto social, es consecuencia de la división social del trabajo (DST), gracias a lo cual es posible también un aumento de capacidades, lograr economizar y utilizar maquinaria. En tanto el comercio internacional permite intensificar la división del trabajo. Según los economistas actuales, Smith no vislumbró ninguna relación

---

<sup>9</sup> Leonel Corona Óp. Cit. p. 26

entre progreso tecnológico y aumento de la productividad; además, para él, el progreso económico es un fenómeno natural en casi todas las naciones.

En resumen para Smith, las fuentes de riqueza son el trabajo, la DST y la proporción entre trabajadores productivos e improductivos. La productividad depende de la DST, la cual, a su vez, depende de la extensión del mercado. Un economista contemporáneo, Piore (1973) agregó a estas hipótesis tres más: 1) la tecnología determina la naturaleza de los trabajos; 2) la DST acelera el progreso técnico y 3) la DST está limitada por la dimensión, estabilidad y certidumbre del mercado.

La DST no es planeada sino que se da de manera natural, lenta y gradualmente por la *propensión a negociar*, cambiar o permutar cosas; de ahí viene la especialización y la búsqueda de técnicas nuevas para producir con el menor costo posible, con la limitante que impone la demanda o el mercado. Un esquema del pensamiento de Smith respecto al origen del progreso científico-técnico sería el siguiente:

Propensión a negociar » Especialización por DST » Aumento de producción » Progreso científico-tecnológico (Corona, 1999).

Tanto Smith como J. S. Mill (1767) y en general la escuela clásica, muestran confianza en que, en el largo plazo, luego de algunas perturbaciones, la invención de la máquina no afectaría al equilibrio económico. Smith sitúa la máquina y la técnica dentro del contexto más general de la DST, causante del aumento en la productividad y como puede llegar más lejos en la industria que en la agricultura.

La tesis de Ricardo (1817) del progreso técnico se encuentra, particularmente, en el capítulo titulado “De la maquinaria”, en el cual empieza examinando la creencia de que la aplicación de maquinaria a la producción es benéfica para todas las clases sociales por que ahorra fuerza de trabajo (FT) y reduce precios. Capítulo que no aparecería en la obra original de Ricardo (1817) sino hasta la tercera edición de (1821).

Según los clásicos el aumento de maquinaria incrementaría la productividad del trabajo, la producción y por ende la oferta de mercancías; entonces de acuerdo con la ley de Say, también debería aumentar la demanda. Por tanto los desplazamientos de FT serían únicamente temporales. En el largo plazo la FT desplazada se reabsorbería en las mismas o en otras empresas y la consecuencia del progreso técnico, sería un aumento productivo total en la industria. Esta opinión dominó la teoría económica de los siglos XVIII y XIX y era una respuesta al antagonismo con que se acogió la difusión del uso de la maquinaria.

Corona (1999) argumenta, que Ricardo abandonó la visión teórica de la ley de Say; ya que subraya que la fuerza social motriz de la producción capitalista, es la esperanza de obtener ganancias. La introducción de la maquinaria está determinada por los efectos que de ella se esperan en las utilidades, es decir, producto neto (PN) más que en el producto bruto (PB). Si la producción incrementada por el empleo de maquinaria fuera tan grande como para permitir una cantidad de básicos tan grande como antes, habría la misma capacidad para emplear la población entera. El resumen de los puntos de vista de Ricardo son: 1) el descubrimiento y aplicación de máquinas conduce al aumento del producto neto, aunque puede no incrementar el valor de ese PN; 2) el incremento de PN es compatible con el decremento en PB; 3) la opinión de la clase trabajadora acerca del detrimento de sus condiciones de trabajo por la aplicación de maquinaria está conforme con los principios de la economía política y 4) si los mejores medios de producción aumentan el PN en grado tan notorio que no disminuya el PB (en cantidad, no en valor) entonces mejorará la condición de todas las clases

Ricardo usó el concepto de progreso técnico (la máquina); cada incremento de capital aumenta los alimentos y por tanto hay que subir los salarios, con lo cual disminuye el capital ahorrado en una proporción mayor que con anterioridad al empleo de maquinaria. El significado económico de la mecanización es la posibilidad de reducir los precios, brindados por las máquinas reductoras de trabajo y considera su utilización compatible con el aumento de los salarios, donde la propia introducción de maquinaria es consecuencia del encarecimiento del trabajo. La maquinaria y la fuerza de trabajo están en competencia constante. La primera puede frecuentemente no ser empleada hasta que suba el precio de la mano de obra; por lo cual el progreso técnico es un medio de defensa del capitalista contra el alza salarial

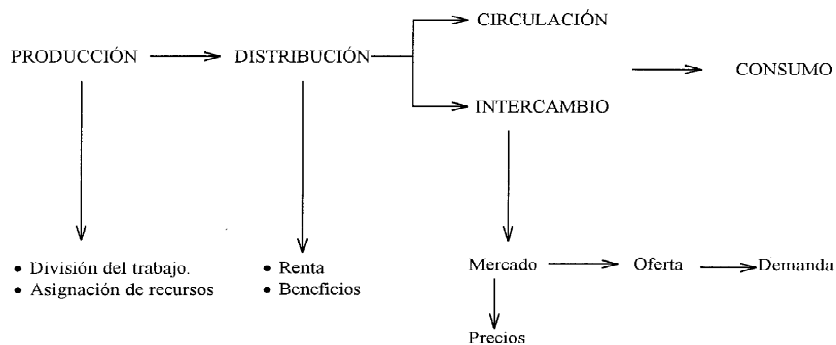


Los clásicos no emplearon el concepto “tecnología”, aunque el término fue acuñado desde 1772 por Beckmann y Smith, así como por Ricardo, quienes escribieron entre 1776 y 1823, pero la conceptualización y generalización del término constituyó una preocupación posterior al pensamiento clásico y hasta al neoclásico, dada la incipiente vinculación entre los conocimientos científicos y la producción en esa época. Por otra parte, en el terreno de las tendencias materiales económico-sociales, los clásicos representan la fundamentación científica (entendida como el descubrimiento y análisis de procesos objetivos) de una formación social cada vez más dominada por el capitalismo, en el que el libre comercio, el trabajo asalariado, la revolución científica, la incorporación de nuevas regiones geográficas y los inventos de maquinaria, van construyendo una compleja interrelación sistemática de sucesos antes aislados.

Concluye Corona, que la tesis de Ricardo avanza con respecto a las de Smith, en parte, porque la sociedad es más compleja. Ninguno considera explícitamente el concepto de *cambio científico-tecnológico*, sino los de invención, inventos, uso de maquinaria, mejoras en los medios de producción, etc. La idea del cambio científico-tecnológico como rector del crecimiento económico es propia de los últimos decenios del siglo XX, pese a las dos revoluciones industriales y a la revolución científica que aún es más antigua (1440- 1690)

**Figura 1:**

ENGLOBAMIENTO DE LA ECONOMÍA: LOS CLÁSICOS



Fuente: Elaboración propia a partir de los planteamientos de Roll (1954) y Corona (1999)

La figura 1 permite tener una idea del tipo de formalización que realizaron los clásicos. Adam Smith había iniciado el análisis del capitalismo de la libre concurrencia (*laissez-faire*,

*laissezpasser*) por la producción, jerarquizando la división del trabajo y la asignación de recursos (tierra, trabajo y capital), como los elementos fundamentales en la evolución del sistema económico. David Ricardo, por su parte ubicaba el nivel de la distribución como el más importante: sin distribución no hay producción, sin el ethos (espíritu) de las clases sociales no hay fines, ni intereses económicos. J. B. Say, colocaba al consumo como la parte más importante del sistema económico; sin consumo no hay producción y su formalización “toda oferta produce demanda” llamada ley de Say no es otra cosa que plantear: todo lo que se produce debe consumirse; con ello y solo con ello el sistema permanece en equilibrio<sup>10</sup>

Los clásicos comienzan a vislumbrar en mayor o menor medida la importancia de los cambios técnicos-tecnológicos en un momento histórico donde se presenta la decadencia del mercantilismo<sup>11</sup> y aparece el capitalismo como modo de producción de las condiciones materiales de reproducción de la sociedad en la Gran Bretaña. Se materializa la Primera Revolución Industrial (último tercio del siglo XVIII y primeros tres cuartos del siglo XIX) con la incorporación de las máquinas a la producción, lo cual permitió la transición del trabajo manual al mecánico, pasando de la estructura productiva de los talleres artesanales a las fábricas, y por ende un cambio en las relaciones sociales técnicas de producción; en donde el sistema mecánico y no el trabajador es el que se vuelve el sujeto real de la producción, con ello se reduce el número de obreros que operan las máquinas para poner en marcha el funcionamiento y constante movimiento para la producción de valores de uso.

La importancia del análisis de los clásicos recae en concebir a la ciencia y la tecnología como resultado de un proceso de trabajo, un continuo desarrollo de los factores endógenos insertados en la producción capitalista que permitan el aumento del producto y la ganancia. La economía clásica toma la referencia del orden de la naturaleza, para justificar el equilibrio económico y social (Roll, 1954), esta concepción naturalista es retomada de la ciencia física y el

---

<sup>10</sup> Eric Roll. *Historia de las Doctrinas Económicas*. México. FCE. 1954

<sup>11</sup> Fue la teoría predominante desde el siglo XVI hasta principios del siglo XVIII, en donde surge la figura del Estado Nación, su prosperidad está en función del máximo capital que pueda acumular, el cual era representado por los metales preciosos, Resultante de un juego de suma cero, es decir, el enriquecimiento de uno es el empobrecimiento de otro (una balanza comercial positiva, un volumen mayor de exportaciones en relación a las importaciones), se basa en las políticas de comercio exterior proteccionistas (los aranceles). Sirvió como causa y fundamento del imperialismo europeo. Ibid.

instrumental metodológico basado en la relación causa-efecto (el átomo como punto de partida y el paradigma de la física). Intentan explicar las acciones del conjunto de la sociedad a partir del comportamiento de las partes, es decir, a partir del reduccionismo individualista, método que sostiene que para comprender una totalidad compleja hay que reducirla a sus fuerzas básicas y simples; las partes simples a las que la economía clásica buscaba reducir la totalidad compleja son: los agentes económicos —consumidores, hogares, empresas— y su comportamiento.<sup>12</sup> Típicamente se supone que es un agente racional maximizador, que se relaciona con otros agentes desde su constitución como átomo, aislado; es desde la acción de ese átomo que debe derivarse, el comportamiento de la totalidad. El punto de partida del análisis siempre son las unidades económicas consideradas como átomos, típicamente el análisis clásico parte de Robinson Crusoe (obra más famosa de Daniel Defoe; novela inglesa en la cual un náufrago sobrevive solo 28 años alegoría del individualismo). Las características esenciales de la economía están presentes en su isla y lo social surge por el simple agregado de los comportamientos individuales. Esto significa que muchos Robinson viven en muchas islas, y a partir de determinado momento se conectan y comercian.

Por lo tanto, el principio fundamental desarrollado por la corriente clásica, centra su atención en el papel del trabajo en la generación de la riqueza considerando tanto sus formas de producción como las de distribución. Adam Smith (1776) propone el principio de la división del trabajo y su relación con el desarrollo del mercado, el cual conlleva el trabajo especializado, que significa el inicio de la parcialización del obrero en la elaboración del producto.

Por otra parte David Ricardo (1817) también concibe el trabajo como base del desarrollo, con un mayor énfasis en la utilización de la máquina, pues constituye el principio del desarrollo tecnológico.

En síntesis podemos considerar a los clásicos como un punto teórico-histórico de referencia obligada para identificar los factores estructurales y organizativos que participan en la determinación del cambio histórico-social, en la creación de mercancías, en el control que poseen los sujetos sociales sobre los medios de producción, el desarrollo de la técnica y la

---

<sup>12</sup> Alejandro, Dabat. *Revolución informática, globalización y nueva inserción internacional de México*. México. UNAM, 2004. p. 12

incipiente vinculación entre los conocimientos científicos y la producción manufacturera en esa época.

En esa dirección, en el siguiente apartado me propongo identificar los fundamentos teóricos de Marx, contenidos en “la Contribución a la crítica de la economía política” (1857) y “el Capital” (1867), con el objetivo de analizar desde una perspectiva sistémica, la evolución y transformaciones históricas de la producción capitalista —objeto general de estudio—, categoría que conciben los clásicos y Marx, como base de las relaciones sociales y fundamento del progreso material. Además dicha propuesta, permitirá esclarecer la categoría de estructura productiva-económica de la sociedad y las condiciones organizativas requeridas para llevar a cabo la objetivación de la naturaleza —transformación creciente de la naturaleza para convertirla en objetos y espacios útiles para la satisfacción de necesidades de sobrevivencia del capital y para la obtención de ganancias— y del trabajo —proceso de transferencia de las actividades físicas y mentales, requeridas para la transformación de la naturaleza, que en la historia del capitalismo fueron pasando de la mano, al instrumento y posteriormente a las máquinas mecánicas y a las “máquinas inteligentes”, (materialismo-dialéctico histórico). Cambios que en conjunto posibilitan constituir en cada fase del capitalismo una nueva base productiva y una nueva forma de producción, trayendo consigo el surgimiento de nuevos productos, servicios y ramas de actividad, las cuales se convierten en los sectores que tienden a articularse con el resto de la actividad económica, dinamizar su crecimiento y generar un determinado régimen de acumulación en cada período histórico, bajo el incentivo de las fuerzas endógenas del modo de producción, esto es, la búsqueda perpetua de ganancias crecientes.

### **1.2.- Marx y el proceso de producción-trabajo-valorización.**

La historia de la sociedad ha estado vinculada a la transformación creciente de la naturaleza para la satisfacción de necesidades —sociedades de caza y recolección, la esclavitud, el servilismo feudal, etc., — y la reproducción de los sujetos sociales los cuales se relacionan entre sí y con distintos instrumentos para dicho fin. Con el capitalismo, surge el trabajador asalariado, el individuo libre políticamente, pero sujeto estructuralmente a la necesidad de vender su capacidad de trabajo para poder sobrevivir, lo cual representa un tipo específico de relaciones

de producción entre capitalistas poseedores de medios de producción y obreros propietarios de su fuerza de trabajo. Es el triunfo del individualismo; del individuo (organismo biológico) despojado de toda riqueza material y lanzado al ruedo del mercado, el cual se erige en juez impersonal. La persona (miembro de la sociedad) lo es en la medida en que sea comprador o vendedor de mercancías, incluyendo su propia capacidad de trabajo; Si contemplamos este proceso en grandes tendencias históricas vemos las actividades físicas relacionadas a procesos productivos de carácter social, al cual corresponde una determinada estructura y organización (Foladori, 2006; pp. 66, 67)

En ese contexto, no basta con reducir la totalidad compleja a sus partes simples, sino analizar la complejidad como una característica propia del capitalismo, a partir de una investigación histórica y holística que permita distinguir un conjunto de elementos y relaciones entre los componentes o partes de la organización capitalista que caracterizan con cierto grado de permanencia, una determinada realidad económica.

En esa dirección me interesa identificar el método del materialismo-dialéctico de Marx (1867), con el objetivo de identificar las leyes de la evolución de los pueblos o pautas de crecimiento de las economías centrales, así como una visión organicista de la sociedad donde el comportamiento de los sujetos sociales está mediatizado por el entorno económico, institucional y cultural cambiante al que pertenece. En líneas muy generales me interesa distinguir la columna fundamental metodológica de Marx articulada principalmente con los planteamientos del método dialéctico y el materialismo histórico. El método dialéctico contiene en particular tres elementos que me parecen fundamentales de la historia de este enfoque filosófico:

- La idea de Heráclito (siglo V a. de C.) de que la realidad es un estado de movimiento y cambio continuos
- Una forma de investigación que utilizó Platón en la República para descubrir el conocimiento verdadero o conocimiento de las “formas puras” o universales de las cosas, las ideas que para él constituían la única realidad frente a las percepciones sensoriales que eran meras

apariencias. Su discípulo Aristóteles buscó esas formas puras en las propiedades esenciales (permanentes e invariables) de los fenómenos, propiedades que, por definición cumplen fines o funciones.

- Hegel supo ver la potencialidad del esencialismo aristotélico aplicado a las ciencias sociales: para entender las ideas había que estudiar sus orígenes y su *telos* o fin. Igual que Platón, Hegel considera que las ideas son la única realidad verdadera (todo lo que es real es racional y al contrario) y el progreso del conocimiento hacia la razón se produce a través del enfrentamiento de ideas en cadena: a una idea o tesis se le opone otra en forma de antítesis, que da como resultado una modificación de ambas en una nueva síntesis superadora, la cual enlaza como tesis con la siguiente cadena de ideas.

Para Marx la concepción materialista-dialéctica de la sociedad y su historia, es el resultado de la actividad productiva en movimiento, la evolución del modo de producir las condiciones materiales para la reproducción de la sociedad, del trabajo, de los medios de producción y de la organización de la producción, que dan cuenta de los avances en la técnica, la tecnología y la aparición y desarrollo histórico del capitalismo. La concepción materialista de la historia la resume Marx (1857), con estas palabras, en un breve párrafo de la "Contribución a la crítica de la economía política":

En la producción social de su existencia, los hombres entran en relaciones determinadas, necesarias e independientes de su voluntad, en relaciones de producción que corresponden a un grado determinado de desarrollo de sus fuerzas productivas materiales. El conjunto de estas relaciones constituye la estructura económica de la sociedad, o sea, la base real sobre la cual se alza una superestructura jurídica y política y a la cual corresponden formas determinadas de la conciencia social. En general, el modo de producción de la vida material condiciona el proceso social, político y espiritual de la vida. No es la conciencia de los hombres lo que determina su ser, sino al contrario, su ser social es el que determina su conciencia. En un determinado estadio de su desarrollo las fuerzas productivas materiales de la sociedad entran en contradicción con las relaciones de producción existentes. Las relaciones técnicas de producción favorecen inicialmente el desarrollo de las fuerzas productivas, pero a medida que las fuerzas productivas se van desarrollando, terminan por entrar en contradicción con las relaciones de producción

existentes, convirtiéndose éstas en una traba para el desarrollo de aquellas, lo que provoca una revolución social (proceso dialéctico del presente, pasado y futuro), que concluye en la sustitución de las viejas relaciones de producción por otras nuevas, adecuadas al grado de desarrollo de las fuerzas productivas.[...]”<sup>13</sup>

Como se observa, Marx enfatiza los elementos de carácter estructural en la determinación del cambio histórico-social (análisis de la reproducción de la sociedad), a partir de las relaciones que los sujetos sociales establecen con su medio, como sustento de la actividad social, es decir el control social sobre la naturaleza, condición material para la sobrevivencia colectiva (objetivación de la naturaleza y el trabajo); transformación que se lleva a cabo a partir del proceso de trabajo, es decir, a partir de la actividad de los sujetos sociales orientada a un fin, en este caso la reproducción (trabajo mismo). Como escribe Marx:

“Un proceso entre el hombre y la naturaleza, a través de cual, el hombre media, regula y controla su metabolismo con la naturaleza, en donde, los sujetos sociales no solo efectúan un cambio de forma de lo natural, sino que efectivizan su propio objetivo, su voluntad orientada [...]” “Para llevar a cabo lo mencionado anteriormente, es decir, el trabajo mismo, los sujetos requieren de: 1) materias primas o aquellos objetos que ya han experimentado una modificación mediada por el trabajo (por ejemplo la madera derribada en la selva virgen), 2) de medios de trabajo que le permitan la acción o transformación de los objetos a fin de ser utilizados para la satisfacción de necesidades de reproducción, a lo largo del tiempo y 3) la actividad del trabajador su capacidad de trabajo, que es denominada fuerza de trabajo y que alcanza un determinado grado de desarrollo en una formación social determinada (como simple fuerza física o como habilidad técnica o intelectual), en conjunto las materias, los medios y la fuerza de trabajo engloban el concepto de fuerzas productivas de la sociedad.”<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Karl, Marx, *Introducción general a la crítica de la economía política 1857*. México. Siglo XXI 2001, p. 66, 67

<sup>14</sup> Karl, Marx, *El capital. Vol. 1 Tomo. 1*, México, Siglo XXI, 1975, (Véase capítulo V. proceso de trabajo y proceso de valorización

Escribe Marx en el *Capital* (1867) “Lo que diferencia unas épocas de otras no es lo que se hace, sino cómo, con qué medios de trabajo se hace [...]”<sup>15</sup> El cómo se produce, no solo implica para Marx, el desarrollo alcanzado por la fuerza de trabajo, sino además la forma en que se llevan a cabo un cierto tipo de relaciones sociales bajo las cuales se efectúa ese trabajo. Ya que los sujetos sociales en cuanto agentes del proceso de producción entran en determinadas relaciones para poder llevar a cabo la producción de bienes; pueden tener un carácter técnico o social. Las técnicas derivan de la relación existente entre el agente productivo y el control que posee sobre los medios de trabajo y sobre el proceso de trabajo en general; las relaciones sociales de producción derivan de la clasificación que podemos establecer en cuanto a la propiedad de los medios de producción. A partir de la articulación de las relaciones sociales y el grado de desarrollo de las fuerzas productivas en cada fase histórica del capitalismo — condición de objetivación de la naturaleza y del trabajo—, para la reproducción de la sociedad, la apropiación y acumulación del excedente; corresponden cambios cuantitativos y cualitativos en la estructura económica, es decir, una evolución constante del proceso de producción a partir del avance y mejoramiento de las herramientas, técnicas y tecnologías, como condiciones objetivas para que el proceso productivo acontezca, además de cambios en la organización de la producción: a partir de un patrón establecido de relaciones entre las partes constitutivas del proceso, es decir, la forma en que son dispuestos, establecidos o modificados los distintos elementos productivos. De manera tal que la continua reestructuración y reorganización de la producción capitalista posibilite el aumento de la producción, la productividad, la ampliación del comercio, la competitividad y la rentabilidad.

Por todo lo anterior y teniendo en cuenta los elementos que configuran la estructura económica social y la lógica del modo de producción capitalista, referente a la continua búsqueda, estímulo y preservación de la acumulación de capital; principal finalidad del sistema actual de producción a partir de la objetivación de la naturaleza y del trabajo, es necesario dar cuenta de cuestiones como: ¿Cuáles son las formas que adoptan bajo en capitalismo, la producción y las relaciones sociales de producción, técnicas y sociales? ¿Cuál es el papel que juegan los avances científico-tecnológicos en la generación de la ganancia? y ¿Cómo se lleva a cabo el proceso de acumulación capitalista? En palabras de Marx:

---

<sup>15</sup> Ibid.



“En el proceso laboral, pues, la actividad del hombre, a través del medio de trabajo, efectúa una modificación del objeto de trabajo procurada de antemano. El proceso se extingue en el producto. Su producto es un valor de uso, un material de la naturaleza adaptado a las necesidades humanas mediante un cambio de forma. El trabajo se ha amalgamado a su objeto. Se ha objetivado, y el objeto ha sido elaborado...”<sup>16</sup>.

En cuanto al proceso de trabajo, escribe Marx:

“Si se considera el proceso global desde el punto de vista de su resultado, del producto, tanto el medio de trabajo como el objeto de trabajo se pondrán de manifiesto como medios de producción, y el trabajo mismo como trabajo productivo”

La observación anterior toma mayor trascendencia si se consideran las palabras de Marx cuando señala que: “el desarrollo del sistema capitalista implica la subordinación del proceso de trabajo y de la naturaleza a la lógica del capital, es decir, somete, subordina y domina el trabajo y la naturaleza”. De hecho, históricamente, se observa que en el comienzo de su formación, el capital no sólo pone bajo su control (subsume) al proceso de trabajo en general, sino a formas particulares de procesos reales de trabajo en el espacio y el estado tecnológico en que las encuentra y tal como se han desarrollado sobre la base de condiciones de producción no capitalistas. Los procesos de producción se han ido perfeccionando de manera constante a lo largo del capitalismo con el único fin de obtener, en la medida de lo posible, un plusvalor considerable.

Para llevar a cabo el proceso de producción el capitalista compra medios de producción y fuerza de trabajo; esta última transformará la materia prima, con ayuda de herramientas o maquinaria, en un producto, en un valor de uso. El trabajador labora bajo el control del capitalista con medios de producción propiedad del capitalista y por lo tanto, el producto del trabajo será apropiado por dicho capitalista.

---

<sup>16</sup> Kart. Marx, *El Capital*. Op., cit. P. 219



circulación, mediante la compra se transforma en fuerza de trabajo (FT) y medios de producción (MP), para que posteriormente se combinen esas mercancías en el proceso de producción (...P...), del cual resulta una nueva mercancía ( $M'o$ ), con valor superior al inicial, ( $M_o + m_o$ ) en virtud de la extracción de la plusvalía, y que se realiza en el mercado, mediante su venta y por tanto el regreso del capital a la forma dineraria pero ahora ya valorizado (expresado por  $D'o = D_o + d_o$ ); el proceso de acumulación empieza a partir de aquí, un proceso que debe repetirse de manera permanente<sup>19</sup>. Dentro de esta lógica de valorización, el objetivo, no es solo la obtención de ganancia, sino su acrecentamiento, de tal manera que se invierte de nueva cuenta tanto  $D_o$ , como  $d_o$  (plusvalía) en el proceso de acumulación, obviamente una parte se destina para el consumo de los capitalistas y para la compra de  $M$  (fuerza de trabajo y medios de producción)<sup>20</sup>

Lo anterior se presenta como un proceso de renovación del acto de comprar para vender, el principio y el fin son la misma cosa, dinero, valor de cambio, En la esfera de circulación sólo tienen lugar cambios de forma de las mercancías D-M-D, el proceso de producción contiene el proceso de trabajo, además de ser un proceso técnico de producción, es también un proceso de creación de valor. Dada la existencia de una mercancía *sui generis*, la fuerza de trabajo humana, capaz de generar en el transcurso del proceso de trabajo más valor del que cuesta su consumo, el capitalista se apropia de un excedente de valor (plusvalía) que sirve de base de las diversas formas de beneficios y rentas conocidas en la economía burguesa y que en el discurso usual aparecen asociadas a la circulación de mercancías

No obstante puntualiza Marx: “en la circulación D - M - D funcionan ambos, la mercancía y el dinero, sólo como diferentes modos de existencia del valor mismo: el dinero como su modo general de existencia, la mercancía como su modo de existencia particular o, por así decirlo,

---

<sup>19</sup> Karl Marx. *El capital*. Op cit, (Véase Capítulo XXI “Reproducción Simple”)

<sup>20</sup> La composición orgánica de capital es la relación que se establece entre la inversión que se destina a capital constante y la que va a capital variable; dado que esta relación depende, a su vez, de la composición técnica, que consiste en la relación técnica entre medios de producción y fuerza de trabajo, es diferente en cada una de las ramas. En este sentido, resulta claro que aquellas ramas que tienen una composición técnica muy elevada expresarán composición orgánica alta, un ejemplo de ello podría ser la comparación entre la industria textil y la industria siderúrgica. *El Capital*, Tomo I, Capítulo XXIII.

sólo disfrazado”<sup>21</sup>. El valor pasa constantemente de una forma a la otra, sin perderse en ese movimiento, convirtiéndose así en un sujeto automático. Si fijamos las formas particulares de manifestación adoptadas alternativamente en su ciclo vital por el valor que se valoriza, llegaremos a las siguientes afirmaciones: el capital es dinero, el capital es mercancía. Pero, en realidad, el valor se convierte aquí en el sujeto de un proceso en el cual, cambiando continuamente las formas de dinero y mercancía, modifica su propia magnitud, en cuanto plusvalor se desprende de sí mismo como valor originario, se autovaloriza. “El movimiento en el que agrega plusvalor es, en efecto, su propio movimiento, y su valorización, por tanto, autovalorización. Ha obtenido la cualidad oculta de agregar valor porque es valor”<sup>22</sup>.

Para lograr la acumulación, el capital intenta a toda costa aumentar el tiempo de trabajo excedente, es decir, la plusvalía —que se le presenta como ganancia—. Uno de los mecanismos para ello es introducir mejoras en el proceso de producción compuesto este por los medios e instrumentos de trabajo, el objeto mismo y la fuerza de trabajo (reestructuración productiva), así como su forma de organización (reorganización). El capitalista intenta modificar alguno o todos estos elementos para poder producir más mercancías a través del cambio técnico-tecnológico, es decir, con la introducción de mejoras en los elementos constitutivos del proceso de producción. Respecto a este último punto es importante identificar el concepto de productividad del trabajo; que significa para Marx la producción de más mercancías con el mismo desgaste de la fuerza de trabajo, lo cual obliga exhaustivamente al mejoramiento en los medios de trabajo —maquinaria y equipo— en la materia prima o auxiliar, o en la organización misma del trabajo<sup>23</sup> es decir, el elemento que determina una elevación de la productividad es el aumento de las mercancías producidas en un mismo lapso por un capitalista no disminuye su valor unitario y por tanto su precio, ya que este es determinado por el trabajo social, y su venta se hace a su mismo valor (precio). Surge así la categoría de ganancia extraordinaria, que tiene las siguientes características: primero es superior a la ganancia media, segundo proviene del mejoramiento de las condiciones de producción del capital individual y tercero, es temporal — si bien la modificación de la productividad del trabajo da origen a las ganancias

---

<sup>21</sup> Karl Marx. *El capital*. Op cit, (Véase Capítulo IV “La transformación de dinero en capital”)

<sup>22</sup> Ibid.

<sup>23</sup> Marx, Karl, *El capital*. Op cit, (Véase las secciones cuarta y quinta del primer tomo de El Capital).

extraordinarias—, en la medida que se generalizan los nuevos métodos de producción tiende a desaparecer y por lo tanto, a reducir de valor las mercancías producidas.

El fundamento de esta ganancia extraordinaria es la plusvalía extraordinaria y la forma de extraer ésta puede ser a través de dos vías: la absoluta o relativa. La primera tiene que ver, con la elevación en el uso de la fuerza de trabajo (intensidad del trabajo) y la segunda, aumentando su capacidad productiva, con el objetivo de reducir el tiempo de producción de las mercancías, a partir de la reorganización, reacomodo y desgaste de la fuerza de trabajo (productividad del trabajo). Esta última es propiamente el resultado de la utilización de la ciencia-tecnología por el capital, es aquí donde se subraya que el cambio tecnológico es fundamental, para la elevación de la productividad y por tanto de las ganancias del capital. Es a través de la innovación tecnológica como se modifican los medios de producción y se establecen nuevas condiciones productivas (nuevos medios de producción) y organizativas —un nuevo patrón tecnológico, a partir de la imposición de nuevos modelos tecnológicos y organizativos que dominan una época y su incorporación al proceso productivo para impulsar la acumulación de capital—. Y es que el proceso de trabajo capitalista (la forma de apropiación de plusvalor) desde sus orígenes hasta nuestros días a atravesado por diversas fases: a) la cooperación, b) la manufactura (basada en la división del trabajo), c) la gran industria, d) el taylorismo y fordismo y e) la automatización basada en el informacionalismo y en la actualidad (siglo XXI) posibilitada por los avances en nanotecnología. Por ende, el estudio del proceso de producción y sus distintas fases de desarrollo, resulta trascendental pues precisamente dentro de éstos parece ser donde tienen mayor repercusión las transformaciones impredecibles en y de la práctica científica y consecuentemente de la ciencia y la tecnología.

Lo característico de todas las formas sociales y combinaciones del trabajo que se desarrollan dentro de la producción capitalista es que acortan el tiempo necesario para la producción de mercancías<sup>24</sup>; también, por lo tanto, reducen la masa de trabajadores que se requiere para

---

<sup>24</sup> El desarrollo de las fuerzas productivas hace obsoletas las formas de organización social preexistente, lo que nos lleva a ver al proceso histórico-social sujeto no a un devenir ciego, sino subordinado a una exigencia fundamental. A esa exigencia central podemos llamarle el control de la naturaleza o el imperante de la sobrevivencia colectiva, que lleva a la aparición de necesidades sociales que inducen respuestas productivas y organizativas (Rivera, 2005: 35). Esas necesidades no son puramente físicas o biológicas, sino que son también y crecientemente sociales, culturales y políticas y están sujetas a una fuerte progresividad histórica conforme aumenta el control social sobre la naturaleza. Marx (1867) define a las fuerzas productivas como un cierto número de bienes

producir un determinado quantum de mercancía (lo mismo con el plusvalor). La característica general de la subsunción formal, cualquiera sea tecnológicamente hablando la forma en que se le lleve a cabo, sigue siendo la directa subordinación del proceso de trabajo al capital. Sobre esta base, empero, se alza un modo de producción no sólo tecnológicamente específico que metamorfosea la naturaleza real del proceso de trabajo y sus condiciones reales: el modo capitalista de producción. Tan sólo cuando éste entra en escena apoderándose del conocimiento científico materializado en los medios de producción, se opera la subsunción real del trabajo en el capital [Marx, C: "El Capital" Libro I Cap. VI (inédito)]

Dentro de estas fases sucesivas un proceso de trabajo presente (apoyado por la ciencia y la tecnología) supera con creces al proceso de trabajo anterior. Ya que los capitalistas cuando encuentran límites a la generación de ganancias extraordinarias, se ven en la necesidad de realizar modificaciones sustanciales dentro del proceso de trabajo y/o en los elementos que lo integran, en otras palabras, un continuo cambio representado por la reestructuración y reorganización del modo de producción capitalista. La acumulación de capital asume, en su desarrollo nuevas formas de organización dentro del proceso productivo principalmente.

En este sentido la competencia y la ganancia extraordinaria (generada por mejoras en la productividad) se convierten en los mecanismos que hacen avanzar el desarrollo de las fuerzas productivas: la introducción en mejoras en los instrumentos de trabajo, en la maquinaria y en la propia fuerza de trabajo, son elementos que elevan las ganancias del capital individual, sin embargo, tendrán un efecto contradictorio sobre el desarrollo de la ganancia media<sup>25</sup>

---

materiales que emplean los hombres para producir los bienes necesarios para su subsistencia, en un primer momento histórico son elementos que se encuentran dados por la naturaleza, tierra, bosque, mar, etc. Así como aquellos bienes que mediante el trabajo permiten transformar materiales en artículos de consumo. El conjunto de herramientas y fuerzas motrices como el agua, el aire, electricidad, utilizadas por los sujetos sociales, además de procesos laborales y organizacionales de la producción como la división social del trabajo, corresponden a la definición de fuerzas productivas

<sup>25</sup> El reparto de la plusvalía generada socialmente, es distribuida bajo la forma de ganancia en función del capital total desembolsado que se explica en la ley de la tasa de ganancia media. En primer lugar, la tasa de ganancia es la relación que se establece entre el excedente de valor del producto y el valor del capital adelantado. Siendo la formulación la siguiente:  $g' = p' n / C$ . Donde  $g'$  es la tasa de ganancia,  $v$  el capital variable invertido,  $C$  el capital desembolsado y  $n$  el número de rotaciones de capital en un año. La fórmula expresa que la tasa de ganancia está en función de la tasa de plusvalía, del desembolso en capital variable y del total de capital y el número de rotaciones del capital en un año. Marx, C. Tomo III, Cap. II

Serán precisamente las contradicciones de esta competencia las que determinan el surgimiento de la ley de la tendencia decreciente de la tasa de ganancia. Para comprender esta tendencia, debemos de tomar en cuenta, que la tasa de ganancia es función de la cuota de plusvalía  $p/v$  y su relación inversa con la composición orgánica del capital ( $c/v$ ), en donde influyen sobre  $c$  (precios, comercio internacional) y  $v$  (salarios, cantidad, circulación de mano de obra) y el monto global y sus tiempos de rotación<sup>26</sup>.

Marx demuestra que la competencia obliga al capital a una reproducción intensiva, es decir, para elevar su ganancia incorpora mejoras técnicas y tecnológicas, lo que modifica la composición orgánica (ganancia extraordinaria, disminución del valor de las mercancías, vuelta a la ganancia media), disminuyendo así la ganancia media. Para conseguir elevar la producción a partir del mejoramiento de los medios de producción se necesita aumentar la inversión, en capital constante, lo cual conlleva a una disminución de la tasa de ganancia.

La caída es una posibilidad, una tendencia, pues la elevación de la composición orgánica conlleva al mismo tiempo a un aumento de la cuota de plusvalía, cambios en la productividad del trabajo y por tanto en la modificación de valores de  $c$  y de  $v$ , elementos que pueden anular la posibilidad de una caída. Así a la tendencia a disminuir se añaden las contra tendencias, esta contradicción da pie al carácter cíclico del capitalismo: los momentos de crisis y auge estarían determinados por los movimientos cíclicos de la cuota de ganancia, por el juego de la contradicción tendencias-contra tendencias de acuerdo con la elevación de la productividad a partir del cambio de patrón tecnológico.

Para complementar el marco teórico en la primera parte de mi tesis, en el siguiente apartado se analiza la concepción ortodoxa del cambio tecnológico, se procura determinar las limitaciones de este enfoque, el cual, considera a la tecnología como un elemento dado y exógeno en su estructura analítica. Siendo hasta la actualidad la teoría económica dominante en el pensamiento económico, me parece necesario distinguir los conceptos e instrumentales analíticos del modelo microeconómico neoclásico básico para analizar las formas actuales en que se manifiesta el cambio tecnológico. Sin embargo, para Dabat (2004) en la medida que el neoliberalismo es dominante, el pensamiento científico se desarrollará por fuera, al margen, en

---

<sup>26</sup>Ibid.

contraposición a estas corrientes. Tenemos así nuevas corrientes del pensamiento social, que no surgen como grandes corrientes de pensamiento social autónomas sino como pequeños agregados, como pequeñas modificaciones del pensamiento dominante que lo minarán por múltiples partes. En relación al nuevo papel de la tecnología y la revolución tecnológica, corrientes de pensamiento económico muy importantes desde el centro de la teoría económica oficial, chocarán profundamente con los fundamentos mismos de esta corriente.

Por lo tanto, el potencial teórico de las aportaciones del pensamiento económico heterodoxo de las ondas largas, del siglo XX cuya visión es histórica y evolutiva del fenómeno del capitalismo, posibilita replantear la concepción objetiva y dinámica de Marx acerca del desarrollo del capitalismo y permite postular una aproximación al estudio integral del fenómeno de reestructuración y reorganización de dicho modo de producción, con énfasis en el proceso tecnológico.

### **1.3.- El pensamiento neoclásico y heterodoxo del siglo XX y el papel de las innovaciones discontinuas en el tiempo**

Ya sea en forma directa o indirecta, el debate acerca de la tecnología, la técnica y el cambio tecnológico, son fenómenos universales en el campo del pensamiento económico y a las que han hecho referencia la mayoría de escuelas teóricas, por lo tanto me interesa identificar los planteamientos de los autores y escuelas de pensamiento económico, que me sirvan de apoyo para continuar el análisis de las capacidades y potencialidades específicas de la actividad científica-tecnológica para el crecimiento económico (aumento de la producción): En esa dirección me parece relevante identificar los planteamientos explicativos heterodoxos, referentes al papel del cambio tecnológico y su impacto en la productividad, la competitividad y la rentabilidad representados por movimientos cíclicos de la cuota de ganancia y su conexión con los momentos de crisis y auge, articulados en torno a los planteamientos centrales realizados por la teoría económica y por Marx (1867)

Continuando en esa dirección tenemos que, en contraposición a la visión crítica de la economía política, desde finales del siglo XIX se desarrolló otra, que se convertiría en la economía oficial, es decir, la teoría económica, que cambia el eje de análisis desde la producción, el trabajo y el



cambio, a la demanda y la utilidad del consumidor fundamentalmente; el objeto pasa a ser la demanda y el consumidor (Dabat 2004). El análisis referente a la reproducción del capital, es visto desde la producción y el mercado. Dicha concepción se desarrollara luego y alcanzará su versión más general con la teoría del equilibrio general, la modelización, el instrumental matemático y la metodología utilizada por las ciencias físicas:

- **Los neoclásicos:** El período que comprende las últimas décadas del siglo XIX y las primeras décadas del siglo XX (hasta la gran crisis de 1929), se consolida el pensamiento neoliberal o corriente del pensamiento económico que se inicia en Inglaterra con A. Marshall, el cual, incorpora al análisis marginal como principal herramienta conceptual, representa por tanto, un cambio significativo respecto de la tradición clásica, una redefinición en cuanto a los métodos y análisis económico, hasta la actualidad se presenta como la teoría dominante en las principales escuelas de economía, en oposición con otras concepciones críticas alternativas actuales. Se abandona el concepto dinámico de la economía como ciencia que estudia “la naturaleza de la riqueza de las naciones” o la “distribución de la renta” presente en la tradición clásica y redefine a la disciplina como una ciencia de “la optimización”. La economía neoclásica se define como el estudio de la asignación de recursos escasos en la obtención de bienes alternativos y múltiples. Este análisis es en lo fundamental estático y comparativo, el cual es poco apropiado para evaluar procesos de cambio en el tiempo, puesto que su objeto de estudio en la delimitación microeconómica, se basa en el análisis del mercado, para bienes específicos (equilibrio parcial) y para el conjunto articulado de todos los mercados (equilibrio general), mientras que, la macroeconomía estudia los grandes agregados económicos. (Corona, 1999)

Para el modelo neoclásico (modelo microeconómico básico de competencia perfecta), la tecnología es considerada como un elemento dado y exógeno en su estructura analítica. El cambio tecnológico es analizado como la comparación de dos situaciones posibles de equilibrio, de esta manera, bajo los instrumentos de estática comparada, se pueden evaluar los efectos del progreso tecnológico en el empleo de los factores productivos, la distribución del ingreso, la composición del producto y la determinación de los precios de los bienes, pero no permite analizar los determinantes del propio cambio tecnológico. La teoría neoclásica parte de dos grandes construcciones: la teoría del mercado y la teoría de la producción, que simplemente considera factores de la producción, el capital y el trabajo, y la tecnología es vista como un insumo, parte de la función de la producción; es decir, que se agrega como se agrega

más trabajo, como se compran ciertos insumos se puede comprar tecnología pero es un factor exógeno; la tecnología no es un factor de la producción. (Dabat 2004: 37)

La tecnología para los neoclásicos es definida como el conjunto de todos los posibles métodos de producción, puede ser entendida como “información” que dispone el empresario para combinar capital y trabajo, que permite producir distintas cantidades de un bien sin alterar la proporción de insumos función de producción microeconómica; instrumento analítico que representa a la tecnología, un cambio de esta, significa un desplazamiento de la función, que corresponde a un determinado estado del arte y de desarrollo científico, para cualquier nivel de producción y dotación de recursos existentes.

El primer caso de cambio tecnológico o progreso tecnológico, fue analizado por J. Hicks (1935), analizado con los instrumentos de la teoría microeconómica desde dos puntos de vista: el cambio tecnológico en los procesos de producción y en los productos elaborados, en torno a una problemática de carácter macroeconómico, es decir, el impacto del cambio tecnológico, sobre la distribución del ingreso y del empleo (Corona, 1999: 92)

Por cambio tecnológico en los procesos productivos —para el enfoque de la teoría económica— se entiende la obtención de por lo menos un método de producción (una combinación particular de insumos K y L utilizados para producir un bien) que permitan aumentar la producción sin alterar la cantidad de insumos empleados, o bien producir la misma cantidad de bien utilizando menos insumos. Este cambio en la forma de producir se puede registrar en un método o técnica, en varios métodos o en todos los métodos existentes. Hicks supuso que el cambio tecnológico de procesos se daba en todos los métodos existentes, representados geoméricamente por una curva que denominó como isocuanta (el conjunto de todas las combinaciones de insumos, o métodos de producción alternativos que permiten producir una cantidad determinada de un bien). El objetivo consiste en producir un mismo bien con una menor cantidad de insumos, puede ser neutral si implica un ahorro significativo en el uso de insumos productivos, es decir, si la variación de la productividad marginal de todos los factores es idéntica, o intensivo en el uso de un factor si la productividad de la productividad marginal de este se incrementa más que la de los restantes (intensiva en capital o en trabajo)

El cambio tecnológico de productos implica la creación de un nuevo mercado, dado el carácter homogéneo, de los bienes que integran cada mercado, Implicaría en general una diferenciación de productos que satisfacen una misma necesidad, que genera ganancias tecnológicas extraordinarias.

En la medida que el neoliberalismo es dominante, el pensamiento científico se desarrollará por fuera, al margen, en contraposición a estas corrientes, Tenemos así nuevas corrientes del pensamiento social, que no surgen como grandes corrientes de pensamiento social autónomas sino como pequeños agregados, como pequeñas modificaciones del pensamiento dominante que lo minarán por múltiples partes. En relación al nuevo papel de la tecnología y la revolución tecnológica, corrientes de pensamiento económico muy importantes desde el centro de la teoría económica oficial, chocarán profundamente con los fundamentos mismos de esta corriente. Se atacará a la teoría económica, como una crítica interna que parte del mismo instrumental conceptual instrumental original y de la metodología utilizada por la economía neoclásica —instrumental matemático, tomado de la física y de las ciencias naturales— en un momento en que existe acuerdo en que la tecnología pasa a ser central para el desarrollo económico (Dabat, 2004: 16,17,18)

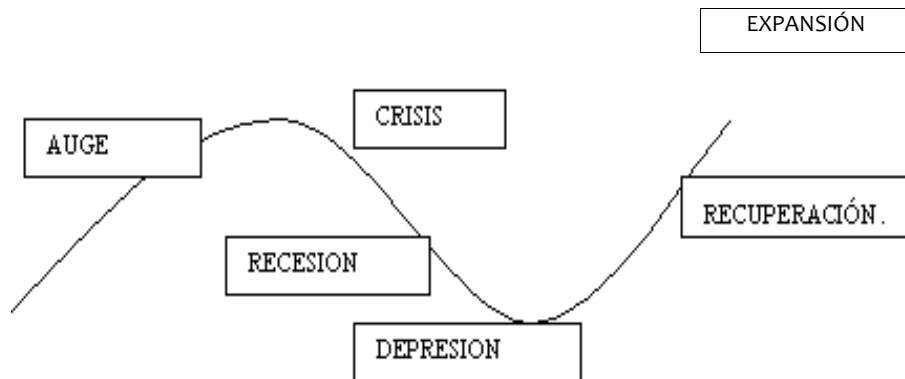
Por todo lo anterior y teniendo en cuenta el contexto capitalista en el cual se genera e impulsa el desarrollo científico-tecnológico, es decir, en torno a la lógica del aumento de las ganancias y la valorización del valor, es necesario hacer un esfuerzo analítico que permita identificar el impacto de la tecnología en la reestructuración y reorganización de la producción capitalista y su conexión con las fases de auge y crecimiento económico, ya que, la perspectiva de los autores que presento a continuación: Kondratiev (1935), Schumpeter (1946), y los representantes de la teoría evolucionista de la innovación o los llamados “neoschumpeterianos” a diferencia de la escuela de pensamiento neoclásica —con su enfoque mecanicista y rígido, concibe a la tecnología como un elemento dado y exógeno en su estructura analítica, es decir, un insumo más que se puede comprar como cualquier otro medio de producción— ofrecen un análisis referente al papel del cambio tecnológico y su conexión con las fuentes y determinantes de la expansión económica, —dentro de las posibles causas se considera al cambio tecnológico como una de las variables que explican los ciclos económicos— desde una perspectiva histórico-dinámica. Los autores antes mencionados

retoman de manera directa o indirecta, el planteamiento de Marx sobre el desarrollo cíclico del sistema de producción capitalista quien es el primero en asociarlo con la tasa general de ganancia:

“A pesar de los grandes cambios que continuamente acontecen (...) en las tasas reales de beneficio dentro de las esferas individuales de producción, cualquier cambio real en la tasa de ganancia general de beneficio, a menos que se haya generado como excepción por eventos económicos extraordinarios, es el efecto demorado de una serie de fluctuaciones que requieren mucho tiempo antes de que se consoliden e igualen una con otra para originar un cambio en la tasa general de beneficio...” (Marx, 1867)

Los ciclos económicos son parte de un proceso dinámico del movimiento de la producción capitalista a través de fases que guardan entre sí una relación de sucesión; auge (aumento y maximización de la producción, pleno empleo) y crisis (estancamiento de la producción, disminución de los ingresos y del empleo). El auge puede partirse en dos, la recuperación y la expansión; y la crisis se manifiesta primero recesión y luego en depresión

**FIGURA 2: Los ciclos económicos**



Fuente: Elaboración propia

Para Corona (1999), se han definido diferentes ciclos económicos en función de la amplitud y sus posibles causas: Kitchin con una duración de 3 a 5 años, variable explicativa inventarios; Juglar, 7 a 10 años, inversión en maquinaria; Kusnetz 15 a 25 años, inversión en construcción; Mandel 25 a 50 años, tasa de beneficio; Kondratiev (ciclos u ondas largas) 45 a 60 años, cambio tecnológico por innovaciones básicas

La tecnología se relaciona principalmente con ciclos de larga duración o ciclos Kondratiev que abarcan del orden de 45 a 60 años. Las variables económicas relacionadas con las ondas largas son: 1) El avance tecnológico y la innovación como uno de los motores de cambio (Schumpeter, Mensch, Kleinknecht y Kondratiev<sup>27</sup>); 2) las transformaciones del capital y su impacto en las distintas fases (Mandel y Forrester); 3) el efecto sobre el empleo (Freeman); 4) la importancia de las materias primas como variable central del cambio (Rostow) y 5) los cambios institucionales y sociales (Freeman, Pérez y Dosi) (Corona, 1999: 130). Sin embargo las ondas largas han mostrado ser un fenómeno de difícil cuantificación debido, en parte, a la inconsistencia y amplitud de las series estadísticas disponibles. En esta revisión me interesa identificar el punto 1, referente a la importancia del avance tecnológico, la innovación y su impacto en la expansión económica, análisis conectado con el movimiento cíclico de la producción capitalista a largo plazo, específicamente desprendido de las tesis centrales de Kondratiev (1935), Schumpeter (1946), además de la teoría evolucionista de la innovación o los llamados “neoschumpeterianos” ya que sus elementos analíticos centrales me permiten complementar el estudio de la reestructuración y reorganización productiva desde una perspectiva sistémica del cambio histórico del capitalismo mundial, con énfasis en los vectores que me parecen son los fundamentales en su análisis, es decir, la producción, la tecnología y su difusión. Con el objetivo de distinguir los cambios estructurales económicos del capitalismo actual y su respectiva organización, para impulsar el auge económico.

- **Kondratiev** (1935): Fue pionero en formalizar la tendencia cíclica de la economía luego de una serie de estudios empíricos, habiendo encontrado tres grandes ciclos en el período comprendido de 1790 a 1920. Resalta la importancia de la innovación y acepta que la expansión

---

<sup>27</sup> Se puede incluir a Kondratiev, en este apartado ya que en su análisis toma en cuenta a la innovación para la explicación de los ciclos económicos, aunque observa cambios en la técnica o en las innovaciones, el papel de estas, no son el factor fundamental del motor de cambio o se presentan como insuficientes para provocar verdaderos cambios, ya que toma en cuenta diversos factores en su análisis, como la expansión del mercado, las guerras, etc.)

implica un incremento de la producción de bienes de capital; sin embargo, no unió la innovación con las nuevas ramas, esto es, que las innovaciones crean nuevas ramas industriales las cuales requieren su propia infraestructura e innovaciones. El propio Kondratiev reconoce las dificultades de formalizar teóricamente los ciclos largos al basar su análisis en algunas series estadísticas, por lo que sus argumentos se quedan a nivel de hipótesis. (Corona, 1999)

Los estudios principalmente estadísticos, le llevan a Kondratiev a formular algunas propuestas generales sobre la importancia de las grandes oscilaciones, destaca Corona (1999) las siguientes:

- 1) Durante la fase de ascenso, los años de prosperidad son numerosos, mientras que durante el descenso predominan las depresiones.
- 2) Durante el descenso, la agricultura sufre regularmente una depresión larga y prolongada
- 3) En la fase de descenso, existen un gran número de descubrimientos e inventos, los cuales por lo regular se emplean hasta el ascenso del gran ciclo siguiente
- 4) Al inicio de un gran ascenso, por regla general aumenta la producción de oro, y se amplía el mercado mundial debido a la inserción de nuevos países
- 5) Durante el período de crecimiento de los grandes ciclos, es el período de mayores tensiones políticas y de expansión de las fuerzas económicas, por lo que ocurren guerras y revoluciones.

En el inicio de una onda cíclica de largo plazo hay profundos cambios en las condiciones de la vida económica de la sociedad, los cuales se expresan en grandes innovaciones de la técnica (y con ello grandes inversiones), así como cambios en los factores monetarios (oferta de dinero o de oro). Las innovaciones se corresponden con nuevas industrias, bienes de capital y nuevas inversiones. Por tanto, Kondratiev considera que el cambio tecnológico es endógeno al proceso económico, en la medida que las inversiones esperan o requieren ciertas condiciones económicas para su aplicación. Las invenciones científico-técnicas por ellas mismas, son incapaces de impactar las técnicas productivas, pues pueden quedar sin efecto en tanto no se presenten condiciones favorables para su aplicación productiva (Kondratiev, 1935). De esta

manera la dinámica de la vida económica en el orden social capitalista tiene un orden cíclico y complejo.

Sus descubrimientos estadísticos lo llevan a deducir que los movimientos de las series examinadas que van desde fines del siglo XVIII a inicios del siglo XX muestran grandes ciclos con períodos de oscilación casi iguales:

**Cuadro 1**

Ondas largas	Expansión	Contracción
	(Auge)	(Crisis)
Primera	1790	1810/17
Segunda	1844/51	1870/75
Tercera	1890/96	1914/20

Fuente: Kondratiev. " *The Long Waves in Economic Life*". *Review o Economics Statistics* (1935)

En efecto, Kondratiev propone que existen fenómenos que influyen en el desenvolvimiento de los ciclos capitalistas: los cambios de la técnica, que son de origen interno y no fortuito, suponen inventos y descubrimientos científico-técnicos y que son económicamente posibles de ser usados, tales inventos son insuficientes por sí mismos para provocar verdaderos cambios, ya que las guerras y las revoluciones también influyen y probablemente se originen por la aceleración de la vida económica, la lucha por los mercados y las materias primas; la apertura de nuevos países a la economía mundial, el descubrimiento de nuevas minas y el aumento de la producción de oro. Sin embargo tales propuestas no cuentan con estadísticas suficientes, por lo que quedan a nivel de hipótesis explicativas de los ciclos largos.

- **Schumpeter** (1935): Considerado el pensador más agresivamente partidario del capitalismo, y que a partir de sus ideas, surgen corrientes que tratan de explicar el papel de la tecnología y su conexión con la economía, tenemos por tanto, la idea de destrucción creativa (Dabat, 2004). Este autor, se caracterizó por centrarse en la producción, no en la demanda, a pesar de utilizar el instrumental de la teoría económica. Su pensamiento está centrado en la producción, en el papel del empresario innovador que plantea nuevas combinaciones productivas en un proceso

de destrucción creativa. Tanto Schumpeter (1919) como Hicks (1932), distinguen entre cambio tecnológico radical e incremental, para estos autores un cambio radical, significa un salto en la función de producción, por ende, un ahorro en el uso de trabajo y capital que derive en un aumento en las cantidades producidas y un impacto en los precios

Sin embargo, lo más frecuente es que el cambio tecnológico sea de naturaleza incremental, por pequeños desplazamientos en las funciones de producción. Incluso los cambios radicales son acompañados de numerosos cambios incrementales por aprendizaje o adaptación. Estos pequeños cambios son continuos y están influidos tanto por el desarrollo tecnológico como por las variaciones en los precios relativos.

Dado que su difusión no es instantánea, su impacto en la economía está asociado a la velocidad de difusión de los nuevos métodos productivos respecto a los ya existentes. Se establece así una interacción entre tecnología y precios relativos, donde el primero afecta al segundo, y este último orienta al primero (Corona, 1999)

Para Schumpeter (1935) la innovación y la figura del empresario innovador juegan un papel importante en la explicación de los ciclos económicos, contrario al pensamiento neoclásico, consideró que la tasa de cambio tecnológico no es constante en el tiempo, sino que los recurrentes ciclos de prosperidad son la forma capitalista del progreso. Schumpeter, definía a la innovación como: la introducción discontinua de nuevas combinaciones de medios productivos; producir otras cosas, o las mismas por métodos distintos, significa combinar en forma diferente dichos materiales y fuerzas; y que surge cuando se ejecuta cualquiera de los siguientes casos, escribe Corona (1999):

- 1) La introducción al mercado de un nuevo producto con el cual los consumidores no están familiarizados;
- 2) la introducción de un nuevo método de producción, basado en el descubrimiento científico o en una nueva forma de comercialización de un producto;
- 3) apertura de un nuevo mercado en un país,
- 4) conquista de nuevas fuentes de materias primas y bienes semifabricados;
- 5) la creación de una nueva organización de cualquier industria.



En esa dirección concluye Corona (1999), que el agente de los nuevos cambios es el emprendedor, una figura diferente al propietario o financiador que cargan con el riesgo y al administrador. Las discontinuidades se presentan por que las innovaciones se generan en bandadas, parvadas, racimos o grupos (*clusters, swarms, bunches*), las cuales surgen por uno o mas emprendedores, que facilita la aparición de imitadores. Schumpeter distinguía claramente entre innovación e invención; el empresario no inventa, innova, al revolucionar el sistema de producción, proceso clave de todo el fenómeno de capital y del crédito pues la evolución de la empresa implica grandes gastos (cambios en el proceso de producción de la manufactura, hacia la mecanización y la automatización)

Para Schumpeter (1935) las ondas largas las constituyen las innovaciones tecnológicas sucesivas u ondas de destrucción creativa que producen nuevas inversiones asociadas con la difusión de una o varias tecnologías mayores. Además del aspecto histórico que debe adquirirse para comprender el modo en que la economía reacciona ante perturbaciones exógenas o factores externos, como guerras, cambios institucionales, catástrofes naturales, etc., de las cuales hace abstracción para su análisis, contrario al pensamiento de Kondratiev.

Siguiendo a Corona (1999), las principales aportaciones de Schumpeter son:

- La innovación es el impulso fundamental, el motor del capitalismo. En el largo plazo se concibe a la empresa innovadora (en procesos, productos o servicios) como el agente impulsor del crecimiento en la economía del mercado y obtiene ventajas en relación al volumen de sus ganancias.
- Las innovaciones son un fenómeno discontinuo, pues aparecen en bandadas, El empresario innovador, juega un papel crucial en el proceso de destrucción creadora y su papel consiste en crear nuevas combinaciones o innovaciones que rebasan los procesos previos
- Entonces el desarrollo económico es un proceso cíclico, es la forma del progreso capitalista, en donde el crecimiento se ve limitado al auge y monto de las rentas, lo que significa que ante una caída de estas, la nueva industria llega a un ciclo final.
- Las innovaciones tienen diferentes impactos, por lo que existen ciclos de varios períodos. Este hecho se asocia con la investigación científica y le genera a la empresa innovadora una

renta monopólica temporal, la cual se ve disminuida cuando se incorporan nuevas industrias o agentes imitadores, la competencia se expresa en función de la innovación. Las actividades científicas y tecnológicas se consideran como un factor endógeno al proceso económico, una forma de estrategia de las grandes firmas al desarrollarlas como actividades de investigación y desarrollo (I&D) propias, que permiten el aumento de innovaciones y una mayor concentración del mercado.

El aspecto de la economía, dice Schumpeter, se debe a los esfuerzos desplegados en materia comercial y productiva por la población. A tales cambios históricos en la producción, nuevas mercancías, mercados, y demás, es lo que denomina “innovación” y que es un factor distinto de las variaciones económicas. Por tanto el ciclo económico es accesorio al cambio industrial (también afectado por factores externos) y origina “progreso económico”. Reconoce en estos ciclos cuatro fases: prosperidad, contracción, depresión y recuperación, los cuales describe relacionándolos con ciertas ramas industriales (ferrocarriles, química, electricidad, entre otras) y se describen dentro de los denominados ciclos de larga duración o de Kondratiev (Corona 1999).

**Cuadro 2**

	Prosperidad	Depresión	Recesión	Recuperación
Año de inicio				
K1 Rev. Industrial	1787	1801	1814	1828
K2 vapor y acero	1843	1858	1870	1886
K3 Electricidad, motores	1898	1912	1925	1939

Fuente: Kuznets (1953)

En este contexto, las ondas largas se corresponden o son causadas por las innovaciones básicas. Como se observa, el análisis schumpeteriano del desarrollo del capitalismo en el largo plazo se remite invariablemente a los ciclos Kondratiev; la idea que ello encierra es que se reconoce explícitamente a la innovación y relación directa con los ciclos largos. Para ambos autores la innovación se presenta como el factor estructural más importante para explicar los esfuerzos desplegados por las empresas capitalistas para aumentar los niveles de producción y

la acumulación del excedente. Schumpeter es más claro al analizar el papel de la innovación y su impacto en el movimiento cíclico de la economía capitalista al identificar tres ciclos económicos largos asociados a la incorporación de nuevas materias primas (carbón, acero, hidrocarburos, etc.), y nuevos medios de trabajo, lo cual representa nuevas combinaciones de medios productivos; producir otras cosas, o las mismas por métodos distintos, significa combinar en forma diferente dichos materiales y fuerzas, en otras palabras, un proceso de trabajo distinto para ciclo económico Kondratiev, Como se puede observar el concepto de innovación fundamental de Schumpeter engloba una serie de factores que posibilitan cambios en el modo de producción capitalista

Los argumentos antes mencionados coinciden con el análisis estructural de Marx (1857), que engloba las fuerzas productivas y las relaciones sociales de producción, es decir, la evolución de las materias primas, los medios de producción, la capacidad física e intelectual de los trabajadores y las relaciones que mantienen entre ellos y con los medios de producción para llevar a cabo el proceso de producción, que permite a los capitalistas la generación de ganancias y la acumulación de capital, Un proceso dinámico de objetivación de la naturaleza y el trabajo apoyado en la ciencia y la tecnología para permitir de un lado la apropiación, modificación y utilización de naturaleza y de otro lado la transición del proceso de trabajo de su forma manual a la mecánica y posterior forma mecánica para el fin último de la valorización del valor.

Por lo tanto el análisis y estudio de los factores estructurales y su respectiva forma de organización para cada fase del desarrollo del capitalismo me parece fundamental en un intento por comprender la dinámica del capitalismo, asociada con movimientos cíclicos de la producción, que en la fase de auge, los factores científicos y tecnológicos resultan clave para aumentar los niveles de productividad y competitividad.

Hemos visto, que a través del estudio y análisis de las principales escuelas de pensamiento económico y las propuestas teóricas conectadas con los factores estructurales y organizativos de la producción capitalista, es posible analizar el cambio histórico del capitalismo mundial con énfasis en la producción y el cambio tecnológico y por lo tanto, plantear la concepción dinámica-económica del sistema productivo. Dichas aportaciones sirvieron de marco para

abordar el cambio tecnológico desde ángulos opuestos pero complementarios. Lo expuesto hasta aquí tiene la finalidad de proporcionar una presentación esquemática del marco teórico. Corresponde ahora realizar una presentación del enfoque histórico adoptado en esta tesis.

En esa dirección en el siguiente apartado me propongo efectuar una aproximación a la reestructuración y reorganización productiva, tecnológica y espacial del capitalismo en Estados Unidos en el siglo XX y principios del siglo XXI, con el fin de clarificar, al menos parcialmente, los nuevos problemas concernientes a su reproducción social, derivando hacia los temas de conocimiento y aprendizaje.

Con el objetivo de esclarecer y diferenciar el desarrollo de la técnica y de la tecnología me parece necesario realizar un recorrido caracterizado por las distintas formas históricas de la producción de mercancías capitalista, identificadas a través de fases interconectadas entre sí, que muestran signos prevaletentes de crecimiento o estancamiento productivo de períodos prolongados de este sistema junto con el papel que desempeña la ciencia y la tecnología en la transformación económica. Se trata de distinguir la aparición de las innovaciones fundamentales (revoluciones tecnológicas) simultáneamente en cada fase de desarrollo del capitalismo, además de identificar la existencia de un alto grado de complementariedad entre ellas, es decir, la integración como sistemas tecnológicos a través de distintos paradigmas tecno-económicos o modelos capaces de guiar el potencial tecnológico y desarrollar nuevos métodos de producción eficientes para superar las barreras históricas de productividad, competitividad y rentabilidad del capital, con la esperanza obtener e incrementar las ganancias desde la primera Revolución Industrial hasta la fase actual de impulso nanotecnológico.

## **2.- Las distintas formas históricas de la producción de mercancías capitalista**

### **2.1- Fases de desarrollo del capitalismo, las revoluciones tecnológicas y las revoluciones industriales.**

Una fase de desarrollo del capitalismo se constituye cuando una revolución tecnológica se traduce en una nueva base productiva y una nueva forma de producción, que traen consigo el surgimiento de nuevos productos, servicios y ramas de actividad, los cuales se convierten en

los sectores que tienden a articular el resto de la actividad económica y a dinamizar su crecimiento (Pérez 2000). De tal manera que a largo del presente apartado mi intención es ubicar la aparición de las revoluciones tecnológicas en la historia del capitalismo e identificar el impacto de la tecnología en el proceso de industrialización de los países centrales, además la posibilidad de transición de las economías industriales hacia unas que dependen en mayor medida de la información y el conocimiento a medida que avanza el desarrollo científico-tecnológico en el modo de producción capitalista, En dicho contexto me propongo distinguir, no solo los cambios cualitativos y cuantitativos referentes a la transformación de la tecnología, sino además la metamorfosis en la organización del trabajo, y del sistema económico mundial, a partir de la conceptualización de Revolución Industrial.

La historia de la sociedad ha estado asociada a la objetivación de la naturaleza externa, esto es, los sujetos sociales han ido transformando de manera creciente la naturaleza para convertirla en objetos y espacios útiles a la satisfacción de necesidades, o sea, la reproducción de la sociedad y la reproducción del capital (en el modo de producción capitalista) (Foladori 2006). De acuerdo con Marx (1857), el desarrollo histórico social se ve propulsado por contradicciones propias de la estructura económica —entre fuerzas productivas y relaciones de producción— cuya solución desencadena nuevas fuerzas motoras, es decir, nuevos procesos de trabajo (la forma de apropiación de plusvalor), que posibilitan la reorganización y desarrollo del capitalismo, el cual, puede dividirse en fases para su estudio. En palabras de Marx (1861-1863):

”Como en el caso de las transformaciones consecutivas de diversas formaciones geológicas, tampoco en el caso de la formación de los diversos sistemas económicos de la sociedad es preciso creer en períodos aparecidos de improviso y separados netamente unos de otros [...]”<sup>28</sup>

En este contexto, me propongo identificar los cambios históricos en los medios de producción, en las formaciones sociales capitalistas y no capitalistas (artesano) a partir de un esbozo de la historia de la técnica, tecnología y sus implicaciones en la evolución de la base material de la

---

<sup>28</sup> Karl, Marx. *Progreso técnico y desarrollo capitalista. Cuaderno XIX. Continuación del cuaderno V (las máquinas)*. México. Cuadernos de Pasado y Presente. 1982. p. 151

sociedad; un proceso histórico concerniente a la formación de órganos productivos de la sociedad a partir de la acumulación de conocimiento empírico y científico para la reproducción de la vida. Un intento por identificar las distintas fases del desarrollo del capitalismo vinculadas históricamente con la objetivación del trabajo, es decir, un proceso de transferencia de las actividades de destreza física de los sujetos sociales, requeridas por el proceso de trabajo que fueron pasando de la mano al instrumento y a la máquina, transición que supone cristalización de conocimiento pasado y la acumulación de capital. Para Marx (1861-1863), las transformaciones, los virajes y las evoluciones materiales de los medios de trabajo están destinadas a servir de apoyo y a explicar la transición del proceso de trabajo: a) la cooperación; b) la manufactura (basada en la división del trabajo); c) gran industria; d) el fordismo y e) la automatización; las cuales corresponden a diferentes fases de un proceso ininterrumpido en una formación social o durante la transición de una formación social a otra.

Por lo tanto y ante el análisis que nos ocupa, haremos uso de los planteamientos y trabajos de los autores que abordan la historia de la técnica (en sentido estricto) antes de la Revolución Industrial y las primeras formulaciones de la tecnología, particularmente, Beckmann<sup>29</sup> Poppe<sup>30</sup> y Marx (1861-1863); para posteriormente distinguir los aportes de algunos de los principales autores del siglo XX —Cazadero (1995), Hobsbawm (2000), Pérez (2000), Mokyr (2002), etc.— que abordan el estudio y conceptualización de proceso tecnológico, revoluciones tecnológicas y el significado de las revoluciones industriales.

En esa dirección, Marx construye su investigación sobre el instrumento y la máquina, al identificar la transformación del instrumento en máquina, la transición del trabajo manual al mecánico y su conexión con la acumulación del saber en forma de conocimientos empíricos y científicos aplicados en el proceso de producción. Un proceso histórico concerniente a la formación de órganos productivos de la sociedad, es decir, instrumentos de producción para la reproducción de la vida, de toda organización particular de la sociedad.

---

<sup>29</sup> Las obras del agrónomo y tecnólogo alemán Johann Beckmann (1739-1811) tituladas “Historia de las invenciones”, “Diccionario técnico” y “Filosofía de la fábrica”, quien fue el primero en llamar tecnología al estudio de los oficios y de las artes.

<sup>30</sup> Los trabajos del profesor alemán de tecnología e historia de la técnica Johann Poppe (1776-1854) titulados “Curso de Tecnología”, “Aplicación de la Física a la artesanía y otros oficios beneficiosos” e “Historia de la Tecnología”, en los cuales hizo reflexiones teóricas muy valiosas para explicar la naturaleza social de la tecnología.

En palabras de Marx:

“Una técnica, antes de la Revolución Industrial, es el conjunto indisociable de un medio de trabajo o de una herramienta y de un obrero, formado en su utilización por aprendizaje y hábito, es por tanto cualquier instrumento o procedimiento específico que sirva para transformar la realidad. La técnica es esencialmente individual, incluso si la organización del trabajo es colectiva [...] La herramienta y el obrero reflejan un único y mismo movimiento”<sup>31</sup>.

Marx pudo distinguir la metamorfosis histórica de los medios de trabajo al estudiar en primera instancia, la evolución de los instrumentos, los cuales, se interponen entre la actividad de los sujetos sociales y el objeto de trabajo, en otras palabras, el desarrollo de la técnica, que debía su existencia a la fuerza y la destreza personales, dependiendo por tanto del desarrollo muscular, de la agudeza visual y el virtuosismo manual con que el artesano y el obrero parcial en la manufactura manejaban su minúsculo instrumento, esto significa, una objetivación de la naturaleza sobre la cual recae la actividad; una simbiosis entre el cuerpo y el instrumento, ya que el instrumento está limitado por la adaptación necesaria al cuerpo humano y el cuerpo humano está obligado a reducirse a la sede de facultades especializadas para el uso del instrumento. Lo que le aseguraba al productor la propiedad del instrumento y por lo tanto, de las condiciones de producción, era su maestría particular en la ejecución del trabajo

La observación anterior toma mayor trascendencia si se considera, que el análisis de Marx (1861-1863) de la técnica, parte del artesanado ciudadano —industria propiedad de hombres libres—. A partir del siglo XI, se desarrolló la técnica en las ciudades, vinculado como estaba con el comercio y con la ciencia (mecánica). Con el artesanado se desarrollaron las corporaciones, las gildas y asociaciones; en conclusión las corporaciones, industriales y políticas al mismo tiempo. Lo relevante de dicha etapa de formación social, recae en una serie de inventos e innovaciones técnicas: la pólvora, brújula, imprenta, el molino y el reloj.

Según Marx:

---

<sup>31</sup> Karl, Marx. Op cit p. 27

“La pólvora disuelve la caballería, la brújula abre el mercado mundial y crea las colonias y la imprenta deviene el instrumento del protestantismo y en general del despertar de la ciencia: la más importante palanca para construir los presupuestos de un indispensable desarrollo espiritual. El molino y el reloj herencia del pasado son las máquinas cuyo desarrollo prepara, ya en el período de la manufactura, la época de la máquina[...] Por esta razón el molino indica todos los instrumentos de trabajo puestos en movimiento por la naturaleza, e incluso los instrumentos más complejos cuyo motor es la mano; con la construcción del molino hidráulico se realizó de hecho un principio mecánico (el empleo de la fuerza motriz mecánica y su transmisión mediante dispositivos mecánicos) por que la rueda de agua sobre la cual cae el agua y eje que transmite el movimiento a la muela, a través de un sistema de ruedas dentadas y de engranajes, constituían todo un sistema de movimiento mecánico”<sup>32</sup>

Puntualiza Marx:

De este punto de vista se puede por lo tanto estudiar la historia de la mecánica justamente sobre la historia del molino. En ella encontramos todos los aspectos de la fuerza motriz que primeramente se empleaban en forma alternativa, y por mucho tiempo simultáneamente, uno junto al otro: la fuerza humana, la animal, la del agua, la de los molinos navales, de los molinos de viento, de los molinos sobre carros (molinos montados sobre carros, que se ponían en funcionamiento con el movimiento del carro y se utilizaban en batalla y para fines similares) y finalmente, de los molinos de vapor<sup>33</sup>.

En este sentido, el análisis de Marx, invita a seguir minuciosamente la creciente inclusión de los conocimientos científicos en las innovaciones técnicas y la transformación progresiva de los conocimientos puestos en práctica por los depositarios del saber artesanal (como en el caso de los constructores de molinos y su conexión con los avances de la ciencia mecánica). La importancia del estudio de los molinos en cuanto al progreso técnico en el artesanado y la manufactura, se fundamenta en el hecho de que las fuerzas de la naturaleza comienzan a ser

---

<sup>32</sup> *Ibid.*, p. 126, 127

<sup>33</sup> *Ibid.*, p. 118.



empleadas, como fuentes de movimiento e impulso a la producción de mercancías, independiente de la fuerza y destreza de los sujetos sociales.

Marx argumenta, que el modo de producción capitalista parte de la organización artesanal. En la producción artesanal los artículos son elaborados en forma completa por una persona o artesano en pequeños talleres, en ocasiones familiares. El conocimiento, adquirido por el artesano es transmitido mediante la práctica productiva a unos cuantos aprendices. El capitalista individual reúne o concentra a estos maestros artesanos, distintos e independientes con sus respectivos oficiales y aprendices y sus respectivos instrumentos de trabajo para producir la misma mercancía, en una propiedad única y bajo su mando. A esta forma de trabajo se le conoció como cooperación.

Se llama cooperación simple debido a que en un solo taller trabajan muchos obreros simultáneamente y de manera coordinada en el mismo proceso de producción o en procesos de producción distintos pero entrelazados. Se logra una economía gracias al empleo simultáneo de ciertas condiciones comunes de trabajo como el lugar de trabajo, materias primas, calentamiento, etc. Al concentrarse los medios de producción en un mismo local se producen mayores productos (Marx, 1867).

En la cooperación no existe la división del trabajo. El trabajo mismo permanece bajo el control inmediato de los productores en quienes está personificado el conocimiento tradicional y la pericia de sus oficios. El obrero tiene un conocimiento global del proceso productivo al cual está abocado. Conoce cada una de las tareas que se realizan en el objeto de trabajo hasta su resultado final.

Siguiendo a Poppe (historia de la tecnología) en los siglos XVII y XVIII, surgieron verdaderas manufacturas y fábricas particularmente en Francia e Inglaterra. Se llama manufactura a una empresa en la cual la producción de mercancías se realiza inmediatamente a mano o bien, faltando la mano de obra, a máquina. Si luego para producir mercancías se utiliza también el fuego y la fragua, entonces la empresa representa una fábrica. Algunos trabajos no pueden efectuarse más que en gran escala, por ejemplo la producción de porcelana, vidrio, etc., razón por la cual nunca constituyeron una artesanía (Ver: Marx, 1861-1863: 131).

Si durante la cooperación el artesano, con ayuda de oficiales y aprendices, hace la mercancía integra ejecutando sucesivamente las diversas operaciones requeridas para la producción del producto o mercancía, con la introducción de la división del trabajo, por parte del capitalista, con fines a acelerar la producción y así incrementar las ganancias, el artesano se especializa cada vez más en una actividad productiva perdiendo, de esta manera, su propio oficio que lo caracterizaba.

Ahora con la manufactura, que introduce la división del trabajo en la producción, cada artesano ejecutará solo una y siempre la misma operación, que se complementará con las operaciones únicas de sus compañeros para crear una y la misma mercancía., Así todas las operaciones juntas son efectuadas simultáneamente. Sin embargo, para perjuicio del capitalista la actividad productiva sigue dependiendo de la habilidad, vigor, rapidez y seguridad del ahora obrero individual en el manejo del instrumento.

En este punto vale la pena denotar un par de aspectos esenciales para comprender la transición del modo de producción artesanal al capitalista y la transformación de los instrumentos a las máquinas-herramientas. Primero, Marx enuncia la ley general según la cual “la posibilidad material de la forma posterior (de la producción), —ya sea como condiciones tecnológicas, ya sea como estructura económica correspondiente de la empresa— se crea en el ámbito de la forma anterior”<sup>34</sup>. Después de haber precisado que las grandes innovaciones técnicas (como por ejemplo las primeras máquinas de vapor, son resultado de las transformaciones históricas en los molinos y en los distintos procesos del agua y el viento) y científicas (mecánica) se remontan al período del artesanado y la manufactura; que la metamorfosis de la forma material del medio de trabajo está inscrita en una morfología evolutiva de los órganos productivos, pero es también una historia del dominio capitalista, que no es posible explicar, de hecho, sin la tendencia necesaria del capital a adaptar a sí mismo el medio de trabajo recibido de la tradición artesanal y a trastocar la relación entre el instrumento y el obrero. Pero como punto de partida de un nuevo modo de producción presupone que se haya consolidado tiempo atrás la discontinuidad marcada por la separación histórica entre trabajadores y medios de producción —la erección de las condiciones de trabajo como capital frente al obrero, por una parte, y la

---

<sup>34</sup> Karl, Marx. Progreso técnico y desarrollo capitalista. Op cit., p. 23

metamorfosis del instrumento, por la otra—. Segundo la manufactura no disuelve de hecho la simbiosis entre cuerpo e instrumento: sin embargo, la división del trabajo conduce a una diferenciación y en consecuencia a una simplificación, de los instrumentos que sirven como medios de trabajo; y también conduce, por tanto, a un perfeccionamiento de estos instrumentos. La diferenciación es la distinción de las formas, y al mismo tiempo la consolidación de las mismas; la especialización consiste en el hecho de que el instrumento que se utiliza para un determinado empleo actúa únicamente en el ámbito de este último. Tanto la diferenciación como la especialización encierran dentro de sí la simplificación de los instrumentos, los cuales no deben ser nada más que un medio para realizar una operación.

La diferenciación, la especialización y la simplificación de los instrumentos de trabajo, nacidos de la división del trabajo en la industria manufacturera, que a su vez se basa sobre esta misma división, y los mecanismos construidos para efectuar operaciones muy simples, teniendo en cuenta las primeras tres, están entre los más importantes presupuestos tecnológicos y materiales del desarrollo de la producción mediante la máquina, en cuanto elementos que revolucionan los métodos y las relaciones de producción. Dichos elementos se articulan con la acumulación de conocimientos empíricos sobre las fuerzas de la naturaleza (viento, agua, fuego) y el desarrollo de los conocimientos científicos; “en el siglo XVIII el progreso en el campo de las matemáticas, de la mecánica, de la química y los descubrimientos se llevaron a cabo casi simultáneamente en Inglaterra, Francia, Suiza y Alemania. Pero su empleo en sentido capitalista solo se efectuaba entonces en Inglaterra ya que solo ahí se habían desarrollado de tal manera las relaciones económicas que hacían posible la explotación del progreso científico por parte del capital”<sup>35</sup>.

Asimismo, Marx analiza el desarrollo histórico de los instrumentos y su metamorfosis en máquina a partir de un proceso de transformación de los medios de producción que implica la siguiente transición:

Herramientas simples, acumulación de las herramientas, herramientas compuestas, movimiento de una herramienta compuesta por un solo motor; las manos de los sujetos sociales; movimiento de estos instrumentos por las fuerzas naturales; máquinas; sistema

---

<sup>35</sup> *Ibíd.*, p. 19.

de máquinas con un solo motor; sistema de máquinas con un motor automático; este es el curso del desarrollo de las máquinas (Marx, 1861-1863).

Dicho curso se articula a la acumulación de conocimientos empíricos y científicos aplicados en forma de técnica y tecnología en la producción de mercancías a partir de la fusión del proceso de acumulación del saber ya conquistado (el que asumía en la sociedad capitalista, un carácter de cosa, fijándose para la mayor parte de los sujetos sociales, en los objetos, en los instrumentos) y del saber en formación (trabajo universal).

Antes de identificar el significado de maquinaria y la transición al proceso de trabajo en la gran industria (Revolución Industrial), me parece relevante distinguir el concepto de tecnología y su aplicación en el proceso productivo. Johann Beckmann (1739-1811) parte su estudio de la tecnología, al analizar los problemas de la organización del trabajo y de la producción; fue el primero en usar el término tecnología. Escribe Beckmann:

Me arriesgue a usar el término tecnología en lugar de la denominación, que desde hace mucho tiempo se usa, de la historia de las artes, que es tan incorrecta como la de la historia natural para la ciencia de la naturaleza. La exposición de las invenciones, del progreso y de otros acontecimientos de un arte o de un oficio, pueden señalarse como historia de las artes; pero sería mejor decir tecnología, que explica, de manera completa, ordenada y clara, todos los trabajos, su serie y sus principios.”La tecnología es la ciencia que enseña la fabricación de los productos materiales o bien el conocimiento de los oficios. (Ver, Marx, 1861-1863: 46)

Al sustituirse las normas y costumbres del maestro artesano, explica Beckmann, la tecnología formula sus prescripciones partiendo de principios verdaderos y experiencias ciertas, no solamente basadas en el estudio cuidadoso de las manufacturas y los conocimientos artesanales de los distintos oficios, sino que además identifica a partir del siglo XIX la clasificación de las actividades industriales basadas en criterios esencialmente tecnológicos. Por lo tanto, la disciplina, está dirigida más que otra cosa a la clasificación sistemática de los diversos ramos industriales y a la enunciación de los principios generales de las innovaciones

técnicas, al reordenamiento de las empresas manufactureras y de los conocimientos artesanales articulados con la historia de la técnica anterior al siglo XIX.

Puntualiza Beckmann:

Al exigir una realización de las actividades económicas basadas en el estudio cuidadoso de las manufacturas y los oficios, la tecnología se presenta como ciencia útil y necesaria para la preparación del hombre de gobierno como hombre de negocios (Ver, Marx, 1861-1863)

Respecto a este último punto, si revisamos la literatura tecnológica empeñada de una manera no efímera en el aspecto histórico de la joven disciplina, para principios del siglo XIX, la obra de Johann Heinrich Moritz Poppe (1776-1854) titulada “Historia de la tecnología”, es una de las mayores contribuciones para comprender el significado de la tecnología y su conexión con desarrollo de las ciencias naturales, además de la transición de las manufacturas a la gran industria y la conformación de las máquinas. Poppe afirma que entiende por historia de la tecnología:

La historia de todas las artes (en amplio sentido) para refinar productos naturales, a lo cual, han contribuido tan activamente varias ciencias (Marx, 1861-1863: 48)

Poppe siguiendo criterios muy semejantes a los formulados por Beckmann, encuentra cuatro grandes familias de actividades productivas (producciones mecánicas, mecánico-químicas, químico-mecánicas, químicas) y de acuerdo con ellas ordena la exposición en cuatro secciones principales. La atribución a uno u otro tipo de producción se lleva a cabo basándose en el carácter de los medios de producción y de los procedimientos empleados en cada una de las “artes”. Las cuatro secciones principales se dividen luego en subsecciones; la historia de las producciones mecánicas, por ejemplo, dentro de la historia de “oficios, manufacturas y fábricas” que producen, con procedimientos sustancialmente mecánicos, artículos alimenticios (desde los molinos para cereales hasta el trillado, desde la producción de la mantequilla, hasta el aceite, etc.), vestuario (industria lanera, algodónera, etc.). El mismo Poppe considera que las partes no deben considerarse rígidamente (en la producción del aceite, por ejemplo, entran en juego también procedimientos químicos) ya que constituyen un simple auxilio para el estudio

del amplio y complicado tema; y concluye que resulta imposible ordenar en un sistema los objetos de la tecnología de una manera totalmente satisfactoria.

He aquí la importancia de la aplicación de la ciencia y la tecnología a la producción, proceso histórico de acumulación de conocimiento, que posibilita la transición de los instrumentos a las máquinas, o sea, la consolidación de la producción mecánica, posibilitando el paso de las manufacturas a la gran industria, en otras palabras, el cambio de la forma de los conocimientos aplicados en el proceso de producción. Así se explica la importancia que Marx le atribuye a la historia de la técnica y la tecnología, que muy pronto sirvió de ejemplo a una mecanización completa del proceso productivo y el desarrollo de todos los elementos fundamentales de las máquinas. Escribe Marx:

La máquina-herramienta, pues, es un mecanismo que, una vez que se le trasmite el movimiento correspondiente, ejecuta con sus herramientas las mismas operaciones que antes efectuaba el obrero con herramientas análogas. El número de herramientas con que opera simultáneamente una máquina-herramienta, se ha liberado desde un principio de las barreras orgánicas que restringen la herramienta de un obrero. La máquina, de la que arranca la revolución industrial, reemplaza al obrero que manipula una herramienta única por un mecanismo que opera simultáneamente con una masa de herramientas iguales o parecidas a aquélla y que es movido por una fuerza motriz única, sea cual fuere la forma de ésta. La máquina se constituye principalmente por: el mecanismo motor, el mecanismo de transmisión y, finalmente, la máquina-herramienta o máquina de trabajo. El mecanismo motor opera como fuerza impulsora de todo el mecanismo. Genera su propia fuerza motriz, como es el caso de la máquina de vapor, la máquina calórica, la electromagnética, etc., o recibe el impulso de una fuerza natural, ya pronta para el uso y exterior a él; del salto de agua en el caso de la rueda hidráulica, del viento, en el de las aspas del molino, etc. El mecanismo de transmisión, compuesto de volantes, ejes motores, ruedas dentadas, turbinas, vástagos, cables, correas, piñones y engranajes de los tipos más diversos, regula el movimiento, altera su forma cuando es necesario convirtiéndolo, por ejemplo, de perpendicular en circular, lo distribuye y lo transfiere a la máquina-herramienta. Esas dos partes del mecanismo existen únicamente para transmitir a la máquina-herramienta el movimiento por medio del cual ésta se apodera del objeto

de trabajo y lo modifica con arreglo a un fin—: la fuerza motriz; el motor primario, sobre el que actúa la fuerza motriz; el mecanismo de transmisión (sistema de ruedas, levas, dientes, etc.,) colocado entre el motor primario y la máquina operativa (Marx, 1867)

La máquina entera es una versión mecánica, más o menos modificada, del viejo instrumento artesanal, pero ya no como herramientas del hombre sino como parte de un mecanismo. El trabajo a máquina, en cuanto elemento revolucionario, no es más que el efecto inmediato del predominio de las necesidades sobre la posibilidad de satisfacerlas con los precedentes medios de producción. El predominio de la demanda nació precisamente gracias a los descubrimientos del período artesanal, pero también gracias al sistema colonial, del cual se crearon los fundamentos en el período manufacturero y, en un cierto sentido, gracias al mercado mundial, que de ese modo se había constituido. Junto a la revolución ya realizada en las fuerzas productivas —que se manifiesta como revolución tecnológica— se produce también una revolución en las relaciones de producción.

Por lo tanto la Revolución Industrial que caracteriza el modo de producción capitalista, implica el empleo de las fuerzas naturales y de las ciencias (vapor, agentes mecánicos y químicos, etc.,) aplicadas en el proceso productivo a partir del desarrollo de la tecnología. Ya que la tecnología es la aplicación de la ciencia (conocimiento científico de leyes mecánicas, químicas, etc.,) y la técnica (conjunto de medios y procedimientos) al ámbito productivo y se extiende prácticamente a todas las actividades de la sociedad. Su finalidad es producir bienes y servicios.

En la fase industrial de la historia del capitalismo, la tecnología, se incorpora al proceso productivo en forma de maquinaria; a diferencia del trabajo de cada individuo, no pone en juego solamente las fuerzas productivas del trabajo social, transforma en potencias del trabajo social simples fuerzas de la naturaleza como el agua, el viento, el vapor, etc. Esto independientemente de la utilización de las leyes mecánicas que actúan en la parte que verdaderamente trabaja, es decir, en la parte de la máquina que transforma directamente la materia prima con un procedimiento mecánico o químico. Además el empleo de la maquinaria aumenta la división del trabajo dentro de la sociedad, la multiplicación de las ramas de actividades particulares y de las esferas de producción independientes. Desde el momento en el que la participación inmediata del hombre en la producción se reduce solo al hecho de que él

comienza a actuar como simple fuerza, en ese momento se origina el principio de la producción mediante la máquina. El mecanismo ya era evidente: la fuerza motriz se podía sustituir en lo sucesivo por el agua, por el vapor, etc. La organización y la combinación del trabajo, basadas completamente en la producción mediante la máquina, aparecerán solo en el taller mecánico, en el cual todo el sistema es puesto en movimiento por un solo autómeta.

Con la introducción de la maquinaria al proceso productivo se da paso a la gran industria, se materializa un cambio en las fuerzas productivas y en las relaciones técnicas de producción, ya que las capacidades del obrero como la fuerza, la destreza y la velocidad son asimiladas y reproducidas por la máquina misma. Si durante la manufactura es el instrumento el que sirve constantemente al obrero, en la gran industria el obrero estará constantemente en posición subordinada al servicio de la máquina. Aquel se convierte única y exclusivamente en apéndice de la máquina. En la gran industria, por tanto, la máquina se convierte en la unidad central del proceso de trabajo demandando del obrero movimientos y habilidades específicas y repetitivas para su operación. Por otra parte, el obrero se limitará a vigilar y rectificar las operaciones del mecanismo. El uso de las máquinas por el capitalista sumado a la división del trabajo, herencia de la manufactura, hace posible, aún mas, el ahorro de tiempo que es generalmente perdido en el paso de una especie de trabajo a otro; producir mayores cantidades de mercancías (se lleva a cabo la producción en masa, la producción en gran escala): abaratar aún mas, la fuerza de trabajo debido a que se descalifica en mayor grado debido a que su destreza y habilidad son apropiadas por la máquina; incrementar las ganancias y en caso de ser necesario, una vez que determinada fuerza de trabajo le es superflua e innecesaria para la valorización de su capital, la aplicación de la maquinaria le permite echar a la calle a dichos trabajadores: la productividad de la maquina, pues, se mide por el grado en que sustituye trabajo humano.

En síntesis, la transición de la manufactura a la gran industria, se caracteriza por un proceso inicial de reestructuración y reorganización en la producción capitalista, teniendo en cuenta la afirmación de Marx respecto a las fases del proceso de trabajo analizadas en líneas anteriores:

“El modo de producción correspondiente al capital, solo conoce dos formas: la manufactura o la gran industria [...]” (Marx, 1861-1863: 14)



Una vez que la acumulación de capital se enfrenta a dificultades y limitaciones estructurales de crecimiento económico dentro de la manufactura, el capitalista buscará superar dichas limitantes y dificultades a través de la aplicación, dentro del proceso productivo, de nuevos métodos o formas susceptibles de incrementar la producción e intensidad del trabajo, en otras palabras buscará la metamorfosis de los medios de producción a través de la generación e impulso tecnológico en la primera Revolución Industrial y los cambios organizativos generados en las relaciones de producción técnicas entre los sujetos sociales y las máquinas incorporadas en el proceso de producción. Sin embargo este proceso de reestructuración y reorganización en el desarrollo del capitalismo, no se agota con “la gran industria”, pues el desarrollo de la tecnología, se presenta históricamente, como uno de los factores trascendentales en la transformación de los medios de producción y la organización del trabajo. Desde finales del siglo XVIII hasta principios del siglo XXI, distintos autores —Mandel (1986) Cazadero (1995), Hobbsbawn (1998, 2000), etc.— identifican este fenómeno y centran su atención en tres revoluciones industriales y las modalidades que asumieron principalmente: a) un conjunto de innovaciones tecnológicas de gran importancia que generan productos o servicios nuevos, al mismo tiempo que transforman los procesos productivos incrementando en forma sin precedente la capacidad de producción, b) una serie de transformaciones muy profundas que experimentan las sociedades que se industrializan (impulso generado a partir de la primera y segunda revoluciones industriales, la transición hacia una tercera revolución industrial puede posibilitar la transformación de una economía industrial hacia una que depende en mayor medida de la información y el conocimiento), y que modifican esencialmente su relación con el entorno natural que habitan su sistema económico, su estructura económica-social, sus instituciones políticas y su ideología tanto en el nivel consciente y racional como en el del inconsciente, y c) la metamorfosis del sistema económico mundial.

Cuando se habla de la Revolución Industrial, en singular y como nombre propio, se hace referencia a la gigantesca transformación, sin precedente en la historia de la sociedad, que entre 1780 y 1850, en menos de tres generaciones, cambio el aspecto de Inglaterra. Dentro del conjunto de innovaciones tecnológicas que provocaron la primera Revolución Industrial, tuvo un papel de primera importancia la máquina de vapor, como base para impulsar las industrias del vidrio, la metalurgia y la construcción naval. En el campo energético, la solución era emplear el carbón mineral para sustituir la madera. Este proceso sustitutivo presentaba un nuevo reto,

desarrollar una tecnología que permitiría bombear el agua de minas cada vez más profundas a partir del perfeccionamiento de la máquina de vapor conseguida por James Watt en 1769, fecha notable en la historia de la tecnología ya que representó para el sistema de producción capitalista una nueva organización industrial, para obtener mayores beneficios además de un impulso mayor en los sectores productivos más importantes de la época (Cazadero, 1995: 18,19)

Otro elemento fundamental fue la fabricación de máquinas-herramienta con capacidad para maquinar objetos de metales duros de grandes dimensiones y con un grado de precisión satisfactorio, las cuales estaban representadas por un tipo de mecanismo ligado a las máquinas de vapor. El conjunto de innovaciones descrito conforma la estructura de la industria pesada, sobre la que se levanta otra estructura correspondiente a las industrias de bienes de consumo, entre las que destacan los textiles y su correspondiente avance en la producción de hilo en grandes proporciones con la *spinning jenny* y *water frame* de James Hargraves y Richard Arkwright respectivamente. Por último se desarrolló el ferrocarril para agilizar los ciclos productivos de las grandes industrias mineras de Inglaterra y la necesidad de nuevas vías distintas a las fluviales, avance tecnológico logrado a partir de la *Rocket* de Robert Stephenson hecha en 1829.

La segunda Revolución Industrial, surge a fines del siglo XIX (asociada con el proceso de trabajo fordista en Estados Unidos) mostró señales de agotamiento en la década de los setenta y tuvo como núcleo una constelación de innovaciones tecnológicas diferente a la anterior; a partir de una revolución en las ciencias naturales, primordialmente en la física, respecto al estudio y estructura de la materia, además de la composición del átomo (se descubre el electrón; descubrimiento del micromundo, composición química de los elementos, radioactividad). Surge la industria química, fabricación de colorantes, medicinas, fibras artificiales (nylon), explosivos (dinamita de Nobel). (Hobsbawm, 2000).

Cazadero (1995: 107), propone, que el núcleo del nuevo enjambre de innovaciones se configura en torno de la máquina de combustión interna, el vehículo automotor, la electricidad en sus diversas aplicaciones y la química. Se establece la empresa gigantesca como el elemento dominante de la estructura económica, surgimiento de instituciones supranacionales de nuevo tipo, alteración en los patrones de interdependencia económica entre las naciones, etc.

En resumen la tecnología basada en la ciencia, estaba ya en el centro del mundo burgués del siglo XIX, aunque la gente práctica no supiese muy bien qué hacer con los triunfos de la teoría científica, salvo en casos adecuados, convertirla en ideología, como sucedió en el siglo XVIII con Newton y a fines del siglo XIX con Darwin. Esto empezó a cambiar en algún momento del último tercio del siglo XIX, en la era del imperio<sup>36</sup>, no solo comenzaron a hacerse visibles los resultados de la alta tecnología moderna (no hay más que pensar en los automóviles, la aviación, la radio y el cinematógrafo), sino también los de las modernas teorías científicas: la relatividad, la física cuántica o la genética (Hobsbawm, 2000)

La electricidad aparece a partir de la bombilla de Edison (1879), la transmisión de señales electromagnéticas (telégrafo) acústicas (radio de Marconi). Para el último cuarto del siglo XIX se da la industrialización de la energía eléctrica (alumbrado público, mecanización industrial)

Para los contemporáneos, la gran innovación consistió en actualizar la primera revolución industrial mediante una serie de perfeccionamientos en la tecnología del vapor y del hierro por medio del acero y las turbinas. Es cierto que una serie de industrias revolucionarias desde el punto de vista tecnológico, basadas en la electricidad, la química y el motor de combustión,

---

<sup>36</sup> La era del imperio 1875-1914. Eric Hobsbawm plantea una serie de características que tienen que ver con la metamorfosis del sistema económico mundial y un proceso de conformación de una economía mundial, mucho más plural que antes. El Reino Unido dejó de ser el único país totalmente industrializado y la única economía industrial. Si consideramos en conjunto la producción industrial y minera (incluyendo la industria de la construcción) de las cuatro economías nacionales más importantes, en 1913 los Estados Unidos aportaban el 46% del total de la producción; Alemania, el 23,5%; el Reino Unido, el 19,5%; y Francia, el 11%. La era del imperio se caracterizó por la rivalidad entre los diferentes Estados desarrollados y las relaciones entre el mundo desarrollado y subdesarrollado. Por otra parte, la enorme importancia de las inversiones británicas en el extranjero y su marina mercante reforzaban aún más la posición central del país en una economía mundial abocada en Londres y cuya base monetaria era la libra esterlina. En el mercado internacional de capitales, el Reino Unido conservaba un dominio abrumador. De hecho, ese pluralismo al que hacemos referencia reforzó por el momento la posición central del Reino Unido. En efecto, conforme las nuevas economías en proceso de industrialización comenzaron a comprar mayor cantidad de materias primas en el mundo subdesarrollado, acumularon un déficit importante en su comercio con esa zona del mundo. Era el Reino Unido el país que restablecía el equilibrio global importando mayor cantidad de productos manufacturados de sus rivales, gracias también a sus exportaciones de productos industriales al mundo dependiente, pero, sobre todo, con sus ingentes ingresos invisibles, procedentes tanto de los servicios internacionales en el mundo de los negocios (banca, seguros, etc.) como de su condición de principal acreedor mundial debido a sus importantísimas inversiones en el extranjero. Otras características de esta era, fueron: la revolución tecnológica, la concentración del capital en las grandes empresas con economías a escala y por ende, la transformación del mercado de consumo en un mercado de masas, todo ello implicó no solo la transformación de la producción mediante lo que comenzó a llamarse la producción masiva, sino también de la distribución, incluyendo la compra a crédito (Hobsbawm 1998)

comenzaron a desempeñar un papel estelar, sobre todo en las nuevas economías dinámicas. Después de todo, Ford comenzó a fabricar su modelo T en 1907. Y sin embargo, por contemplar tan sólo lo que ocurrió en Europa, entre 1880 y 1913 se construyeron tantos kilómetros de vías férreas como en el período conocido como “la era del ferrocarril”, 1850-1880. Francia, Alemania, Suiza, Suecia y los Países Bajos duplicaron la extensión de su tendido férreo durante esos años. El último triunfo de la industria británica, el virtual monopolio de la construcción de barcos, que el Reino Unido consolidó entre 1870 y 1913, se consiguió explotando los recursos de la primera revolución industrial. Por el momento, la nueva revolución industrial reforzó, más que sustituyó, a la primera (Hobsbawm 1998)

Para llevar a cabo el análisis de la Segunda Revolución Industrial centraremos la atención en las características dominantes de las sociedades generadas por el proceso transformador, entre las que destacan cuatro que parecen ser las más importantes para comprender este gran cambio son: la concentración del capital, su internacionalización, el cambio en el proceso de trabajo y la intervención masiva del Estado en prácticamente todos los aspectos de la vida social. A esto se añade, como ya se ha mencionado, la conformación de una nueva base energética (hidrocarburos).

Particularmente me interesa identificar, el cambio en el proceso de trabajo que se articula con la empresa gigantesca, que domina la estructura económica, la cual se presenta como el sector moderno (automotriz, electrotermia, electroquímica) que compite con pequeñas empresas tradicionales que buscan sobrevivir a las condiciones impuestas por la gran empresa que en su proceso concentrador de capital, le permite el control y acaparamiento del mercado y las directrices de la evolución de la tecnología. Ya que muchos de los mecanismos que propician la concentración del capital se derivan de la naturaleza de las tecnologías utilizadas en los procesos productivos. Tal es el caso de las economías de escala (producción en masa fordista), en donde, el costo de producción por unidad desciende a medida que el volumen producido aumenta, a través de la división técnica del trabajo, es decir, la especialización de cada trabajador en una sola tarea, que permite el descenso de los costos

A partir de la industrialización de la electricidad y la utilización de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural, etc.), aumentó la potencia, continuidad y velocidad de la

producción de mercancías, lo cual posibilitó una serie de cambios tanto cualitativos como cuantitativos en las capacidades de las máquinas, en otras palabras, evolucionaron y se perfeccionaron los mecanismos constitutivos que forman parte de la mecanización de la producción, es decir, el mecanismo motor se desarrolla a partir de la máquina de combustión interna, el mecanismo de transmisión se genera a través de la electricidad y la utilización de cables para permitir una mayor eficiencia de las máquinas-herramientas. La industria automotriz de Henry Ford, fue pionera en la incorporación y la puesta en marcha de los avances tecnológicos antes mencionados a partir de un tipo específico de la organización del trabajo, caracterizado por el uso de la cadena de montaje e implementos mecánicos de transporte, esto es, los transportadores paralelos. El objetivo de dicha forma de organización del trabajo era maquinizar completamente el trabajo del obrero; intensificando la división del trabajo, hasta el punto que los obreros se convirtieran en mayor medida, en una pieza viva de todo el sistema maquinizado. Dicho proceso de trabajo denominado fordista hace hincapié en el aspecto tecnológico, ya que la implementación de la cadena de montaje, representa un avance excepcional en la mecanización de la producción; se encarga de unir todos los movimientos constitutivos que se necesitan en la transformación completa del objeto o material de trabajo hasta convertirlo en producto. La cadena de montaje va trasladando la pieza principal frente a los obreros para que este vaya siendo ensamblado, remachado, soldado, ajustado, atornillado, remodelado, o completado con partes nuevas<sup>37</sup>

Los obreros son fijados a sus puestos de trabajo, las tareas, actividades o movimientos realizados por cada obrero son previamente establecidos por la gerencia. Estas tareas se caracterizan por ser tareas o movimientos simples y elementales de fácil y rápida ejecución. Cuando la gerencia quiere aumentar el ritmo de trabajo, y por lo tanto, la productividad, una vez que el obrero ha aprendido a ser más hábil y diestro en la tarea que realiza, simplemente aumenta la velocidad de la cadena de montaje y ésta última es la que marca los ritmos de cada una de las operaciones a realizar (Coriat, 1992: 40-51).

La cadena de montaje no es el único elemento que caracteriza al fordismo, sobresalen también los implementos mecánicos de transporte: los llamados transportadores paralelos compuestos por grúas, deslizadores, vagonetas, transportadores, etc. Los transportadores paralelos

---

<sup>37</sup> Harry, Braverman. Trabajo y capital monopolista. México. Ediciones Nueva Imagen, 1987, p.

trasladan el objeto de trabajo de una fase a otra de su elaboración o transformación. Igualmente a ritmos predeterminados, uniendo en un solo movimiento todos los momentos del proceso o partes de la cadena. Otros transportadores paralelos se encargan de asegurar el suministro de piezas y herramientas específicas a cada grupo de obreros según la tarea a realizar. Con este sistema mecánico el obrero se abastece de herramientas y partes del producto final; monta su pieza sobre los elementos básicos que desfilan sucesivamente ante él sobre la cadena de montaje. De esta manera, los transportadores paralelos aseguran la alimentación o suministro regular, fluido y constante de todas y cada una de las partes de la cadena; se crea así un verdadero sistema de maquinaria totalmente integrado (Coriat 1992: 40-51).

Con la introducción de la cadena de montaje, principalmente y los transportadores paralelos en el proceso productivo se da, la descalificación, aún mayor del obrero especializado. La destreza, el entrenamiento y el conocimiento (voluntad e inteligencia) del obrero son fácilmente reemplazables. Con la línea de ensamblaje se reducen los requerimientos respecto a la destreza y la calificación obrera: la cadena de montaje o de transmisión da continuidad al proceso productivo —mejorando el sistema de tiempos y movimientos— reduciendo toda pérdida o tiempo muerto al suprimir los gestos excesivos, inútiles o introductivos implicados en el desplazamiento de la pieza al extremo máximo posible. Se da una mayor productividad al duplicarse el rendimiento por persona y día (calculado y preestablecido por la oficina de métodos).

El rendimiento se intensifica gracias al aumento considerable de la velocidad en el trabajo generando, por tanto, un incremento en el grado de explotación de la fuerza de trabajo, además de generar una plusvalía extraordinaria.

El método mencionado se aplica, por ejemplo, en las siguientes industrias: automotriz, textil, mecánica, metalúrgica, confección y tejidos, cueros y pieles, tabaco y en general, en todas aquellas actividades que trabajen con una escala de producción en gran escala, esto es, en serie o estandarizadas y rígidas; producción en masa.

Otro aspecto relevante de dicha etapa de formación social, recae en una serie inventos e innovaciones:

En 1905 Einstein formula su teoría de la masa energía, en donde la velocidad de la luz sería la máxima velocidad alcanzable, masa y energía serían equivalentes pudiéndose transformar una en otra de acuerdo con la equivalencia  $E= mc^2$ , donde energía es igual a la masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz. La energía se transmite por el movimiento a medida que esta se moviera a mayor velocidad.

En 1926 aparece la teoría de la mecánica cuántica y en 1929 la electrodinámica cuántica (estructura íntima del átomo)

De acuerdo con las tres aportaciones científicas antes mencionadas la industria militar de Estados Unidos, avanza de manera muy importante a partir de la realización de diversos proyectos como:

- El programa "Manhattan" la bomba atómica
- La bomba de hidrógeno de fusión
- El programa "Apolo" los cohetes a la luna
- Cabezas nucleares de hidrógeno.

Debido a que el desarrollo científico-tecnológico capitalista ha servido para aumentar históricamente las capacidades productivas, el esfuerzo por identificar los fenómenos tecnológicos recurrentes no está dirigido a simplificar la historia o a aplicar modelos mecanicistas, sino más bien, está dirigido sobre todo a distinguir la dinámica y la naturaleza cambiante del capitalismo en relación a las políticas de crecimiento económico y por ende reconocer la siguiente fase de impulso científico y tecnológico de los países centrales; un proceso de continua reestructuración y reorganización de la producción y la búsqueda de la maximización de beneficios; en el análisis de los neoschumpeterianos destaca, el análisis y distinción de las revoluciones tecnológicas y el despliegue de su potencial a partir de una práctica óptima que guía la difusión de cada revolución (paradigma o patrón tecno-económico)

Para la escuela evolucionista de la innovación, una revolución tecnológica puede ser definida como un poderoso y visible conjunto de tecnologías, productos e industrias nuevas y dinámicas, capaces de sacudir los cimientos de la economía y de impulsar una oleada de desarrollo de largo plazo. Se trata de una constelación de innovaciones técnicas estrechamente interrelacionadas, la cual suele incluir un insumo de bajo costo y uso generalizado —con frecuencia una fuente de energía, en otros casos un material crucial— además de nuevos e importantes productos, procesos y una nueva infraestructura. La irrupción de esas importantes constelaciones de industrias innovadoras en un lapso breve podría ser razón suficiente para llamarlas “revoluciones tecnológicas”, además de ofrecer un conjunto de tecnologías genéricas y principios organizativos interrelacionados entre sí que hacen posible e inducen un salto cuántico de la productividad potencial para la inmensa mayoría de las actividades económicas. (Pérez, 2000: 32)

Lo que sostiene Pérez (2000) es que el crecimiento económico desde finales del siglo XVIII ha atravesado por cinco etapas, asociadas con cinco revoluciones tecnológicas sucesivas. Esto ha sido captado por la imaginación popular, la cual designa los períodos relevantes según las tecnologías más notables. Revolución Industrial fue el nombre dado a la irrupción de la máquina y la inauguración de la era industrial. A mediados del siglo XIX era común que la gente se refiriera a su tiempo como la era del vapor y los ferrocarriles y más adelante, cuando el acero reemplazó al hierro y la ciencia transformó a la industria, el nombre fue el de era del acero y la electricidad. Hacia 1920 se habló de la era del automóvil y la producción en masa, y desde la década de los setenta, las denominaciones era de la información o sociedad del conocimiento son cada vez más comunes. El cuadro 3 identifica las cinco revoluciones tecnológicas que históricamente han marcado el curso del desarrollo del capitalismo y la posibilidad de mirar prospectivamente hacia la siguiente y nueva constelación tecnológica.

**Cuadro 3: Seis revoluciones tecnológicas sucesivas, 1770-2001**

Revolución Tecnológica	Nombre Popular de la época	País o países del núcleo	Big-Bang iniciador de la revolución	Año



Primera	Revolución Industrial	Inglaterra	Apertura de la hilandería de algodón de Arkwright	1771
Segunda	Era del vapor y losferrocarriles	Inglaterra difundiéndose hacia Europa y EUA	Prueba del motor a vapor Rocket para el ferrocarril Liverpool-Manchester	1829
Tercera	Era del acero, la electricidad y la ingeniería pesada	EUA y Alemania sobrepasando a Inglaterra	Inauguración de la acería Bessemer de Carnegie en Pittsburgh Pennsylvania	1875
Cuarta	Era del petróleo, el automóvil y la producción en masa	EUA y Alemania (rivalizando al inicio por el liderazgo mundial) difusión hacia Europa	Salida del primer modelo T de la planta Ford en Detroit, Michigan	1908
Quinta	Era de la informática y las telecomunicaciones	EUA (difundiéndose hacia Europa y Asia)	Anuncio del microprocesador Intel en Santa Clara, California	1971
Sexta <sup>38</sup>	Era de la Nanotecnología	EUA (difundiéndose hacia Europa)	A fines de agosto de 2001, los	2001

<sup>38</sup> La sexta revolución tecnológica mostrada en el cuadro anterior, es elaboración propia a partir del texto de Roco y Bainbridge (2002) y Foladori (2006) y de los aportes del grupo ETC (2003), teniendo en cuenta que para Kuznets el big-bang iniciador de la revolución se define como un atractor muy visible que simbolice todo el nuevo potencial y sea capaz de despertar la imaginación tecnológica y de negocios. Este atractor no puede ser un mero salto técnico. Su enorme poder reside en que además sea barato o deje en claro que los negocios basados en las innovaciones asociadas con él tendrán un costo competitivo. Sin embargo de acuerdo con el Informe de la Fundación Nacional de la Ciencia, Estados Unidos 2001, el descubrimiento científico necesita por lo menos diez años, para ser implementado en nuevas tecnologías industrias y maneras de vida (Roco, 2004). Aunque algunos de los productos NBIC ya se encuentran en el mercado como por ejemplo, Según el Nanotech Report (Forbes, 2004), entre los primeros productos vendidos en el 2004 se encuentran: calzado térmico (Aspen Aeogels), colchones que repelen sudor y polvo (Simmons Bedding Co.), palos de golf más resistentes y flexibles (Maruman & Co.), cosméticos personales ajustados a edad, raza, sexo, tipo de piel y actividad física (Bionova), vestidos para heridos y quemados que evitan las infecciones (Westaim Corporation), desinfectantes y limpiadores que se aplican a aviones, barcos submarinos, etcétera

---

investigadores de IBM, crearon un circuito capaz de ejecutar cálculos simples mediante un nanotubo de carbono auto ensamblado. Primer paso hacia las computadoras nanométricas. En mayo 2002, IBM anunció que había creado transistores nanotubulares que sobrepasan incluso a los modelos más avanzados de los dispositivos de silicio (aumentan la capacidad para conducir la energía eléctrica).

---

Fuente: Pérez (2000), p. 35

Para Pérez (2000), antes de articularse como una constelación y de ser reconocida como tal, cada revolución tecnológica pasa por un período de gestación cuya duración puede ser muy larga, por lo cual las innovaciones que contribuyen a configurarla pueden haber existido durante mucho tiempo. Al irrumpir una revolución tecnológica, la lógica y los efectos de su predecesora dominan aún y ejercen una poderosa resistencia. El cambio generalizado hacia la lógica de lo nuevo requiere dos o tres décadas turbulentas de transición en las que la instalación exitosa de las capacidades nuevas y superiores acentúa la declinación de las viejas. Para el momento en que esto concluye, de la revolución anterior apenas queda el rastro.

Cada revolución tecnológica es el resultado de la interdependencia sinérgica de un grupo de industrias con una o más redes de infraestructura. El cuadro 4 identifica las constelaciones que conforman cada una de las cinco revoluciones.

Escribe Pérez:

“Las tecnologías y productos constituyentes de una revolución no son solamente aquellos que experimentan los mayores saltos. Con frecuencia la articulación de las tecnologías nuevas con algunas de las viejas es lo que genera el potencial revolucionario. De hecho, muchos de los productos e industrias que aparecen juntos en la nueva constelación habían existido ya durante algún tiempo, bien en un papel económico relativamente menor o como complemento importante de las industrias predominantes [...] (Pérez, 2000; 38).

Lo mencionado anteriormente se ejemplifica de la siguiente manera:

**Cuadro 4: Las industrias e infraestructuras de cada revolución tecnológica**

<b>Revolución tecnológica</b> <b>País-núcleo</b>	<b>Nuevas tecnologías e</b> <b>industrias nuevas redefinidas</b>	<b>Infraestructuras nuevas o</b> <b>redefinidas</b>
PRIMERA: Desde 1971 La Revolución Industrial Inglaterra	Mecanización de la industria del algodón, Hierro forjado Maquinaria	Canales y vías fluviales Carreteras con peaje Energía hidráulica (con molinos de agua muy mejorados)

<p>SEGUNDA:</p> <p>Desde 1829</p> <p>Era del vapor y de los ferrocarriles</p> <p>Inglaterra (difundiéndose hacia Europa y EUA)</p>	<p>Máquinas de vapor y maquinaria (de hierro, movida por carbón). Hierro y minería del carbón (como materia prima y combustible para los ferrocarriles y maquinaria del mundo). Producción de locomotoras y vagones</p> <p>Energía de vapor para numerosas industrias incluyendo la textil</p>	<p>Ferrocarriles (el uso de motor a servicio postal estandarizado de plena cobertura. Telégrafo sobre todo nacional a lo largo de las líneas de ferrocarril.</p> <p>Grandes puertos, grandes depósitos y grandes barcos para la navegación mundial</p> <p>Gas urbano</p>
<p>TERCERA:</p> <p>Desde 1875</p> <p>Era del acero, la electricidad y la Ingeniería pesada.</p> <p>EUA y Alemania sobrepasando a Inglaterra.</p>	<p>Acero barato (especialmente Bessemer) Pleno desarrollo del motor a vapor para barcos de acero Ingeniería pesada química y civil</p> <p>Industria de equipos eléctricos</p> <p>Cobre y cables Alimentos enlatados y embotellados.</p> <p>Papel y empaques</p>	<p>Navegación mundial en veloces barcos de acero (uso del Canal de Suez). Redes transnacionales de ferrocarril (uso de acero barato para la fabricación de rieles). Grandes túneles y puentes. Telégrafo mundial. Teléfono (sobre todo Nacional). Redes eléctricas (para iluminación y uso industrial)</p>
<p>CUARTA:</p> <p>Desde 1908</p> <p>Era del petróleo, el automóvil y la producción en masa</p> <p>EUA (con Alemania rivalizando por el liderazgo mundial.</p> <p>Difusión hacia Europa</p>	<p>Producción en masa de automóviles</p> <p>Petróleo barato y sus derivados</p> <p>Petroquímica (sintéticos)</p> <p>Motor de combustión interna para automóviles, transporte de carga tractores, aviones, tanques de guerra y generación eléctrica</p> <p>Alimentos refrigerados y congelados.</p>	<p>Redes de caminos, autopistas, puertos y aeropuertos</p> <p>Redes de oleoductos</p> <p>Electricidad de plena cobertura (industrial y doméstica).</p> <p>Telecomunicación analógica mundial (para teléfono y cablegramas) alámbrica e</p>

	Electrodomésticos	inalámbrica
QUINTA: Era de la informática y las Telecomunicaciones EUA (difundiéndose hacia Europa y Asia)	La revolución de la información: microelectrónica barata computadoras, software telecomunicaciones instrumentos de control Desarrollo por computadora de biotecnología y nuevos materiales	Comunicación digital mundial (cable fibra óptica, radio y satélite) Internet/correo y otros servicios electrónicos Redes eléctricas de fuentes múltiples y de uso flexible. Alta velocidad de Transportes

Fuente: Pérez (2000), p. 39.

Como se puede observar, ya desde la década de 1880, el petróleo había venido siendo desarrollado para múltiples usos por una industria sumamente activa; algo similar se puede decir acerca del motor de combustión interna y del automóvil, el cual fue producido durante bastante tiempo como vehículo de lujo. Pero es la conjunción de los tres con la producción en masa lo que los hace conformar una verdadera revolución. La electrónica existía ya desde comienzos de siglo XX y en cierta manera fue decisiva en los años veinte; los transistores, semiconductores, computadoras y controles eran ya tecnologías importantes para los años setenta y aún antes, Sin embargo, es sólo con el microprocesador en 1971, cuando el nuevo y vasto potencial de la microelectrónica barata se hace visible, la noción de una computadora en

un chip enciende la imaginación y todas las tecnologías relacionadas con la revolución informática se reúnen en una poderosa constelación. Con frecuencia se ha sugerido que la biotecnología, la bioeléctrica y la nanotecnología podrían conformar la próxima “revolución tecnológica”(Pérez, 2000: 38, 39, 40)

El capitalismo se encuentra en una etapa de extraordinario dinamismo, uno de los factores propulsores que ha posibilitado dicha evolución radica en las transformaciones de su base tecnológica, que en las últimas décadas ha experimentado profundos cambios de naturaleza discontinua, estos cambios son conocidos también como revoluciones tecnológicas.

En esa dirección, en el apartado siguiente, me interesa identificar la revolución informática o el modo de desarrollo informacional, asociado con la transición de una economía industrial hacia una economía que depende cada vez más del conocimiento y la información, una posibilidad de rejuvenecimiento y expansión del capitalismo, a partir de la generación de nuevas fuentes de productividad y nuevos motores de crecimiento (Revolución tecnológica de la información y de la nanotecnología), que permitan el aumento de la producción, la disminución de costos, la expansión del mercado, además de propiciar nuevas modalidades organizativas de carácter flexible en torno a flujos productivos globales, es decir, permitir a las grandes empresas capitalistas gestionar la producción y superar los límites de tiempo y espacio, con la capacidad de funcionar como una unidad en tiempo real a escala planetaria, creando las condiciones necesarias para la obtención de mayores cuotas de mercado, en otras palabras, un modelo capaz de guiar a las grandes empresas hacia mayores grados de competitividad internacional, a través de una red global de interdependencia e interconexión de una triada conformada por empresas, Estado e instituciones académicas que se han propuesto dinamizar la economía estadounidense, es decir, la vuelta al crecimiento económico y a la permanente y creciente valorización del valor como fin último.

## **2.2.- La economía del conocimiento (el desarrollo informacional)**

Sin duda, la información y el conocimiento siempre han sido componentes cruciales del crecimiento económico, y la evolución de la tecnología ha determinado en buena medida la capacidad productiva del modo de producción capitalista, así como las formas sociales de la

organización económica. Sin embargo en la fase actual de desarrollo del capitalismo la misma información se convierte en el producto del proceso de producción. Para ser más precisos, los productos de las nuevas industrias de la tecnología de la información son aparatos para procesar la información o el mismo procesamiento de la información.

Si en la economía industrial los factores productivos por excelencia eran aquellos calificados como tangibles, tales como el capital, el trabajo o los recursos naturales, actualmente las economías tienden a conceder una mayor importancia a los factores intangibles como la información y el uso del conocimiento<sup>39</sup>. Uno de los primeros en reconocer el nuevo cambio producido en la economía fue Daniel Bell, quien por un lado, constató la evolución de la sociedad basada en la agricultura hacia la sociedad industrial basada en las industrias manufactureras, y por otro, la transformación de esta última hacia la sociedad post-industrial; cuya principal característica es hacer del conocimiento su fuerza productiva más importante, por lo que se propone la denominación de capitalismo del conocimiento<sup>40</sup>

Schumpeter (1939) y los neoschumpeterianos (Dosi, 1998, Pérez, 2000 y Freeman y Louca 2001) distinguen la existencia de distintos sectores tecnológicamente originados por una revolución tecnológica, que dinamizan el crecimiento en cada ciclo industrial, cuya duración es de 50 a 60 años aproximadamente, principalmente los neoschumpeterianos identifican la posibilidad de transformación de una economía industrial hacia la economía del conocimiento. En ellos parece estar implícita la noción de que tales sectores tienden a articular el crecimiento de los demás (véase cuadro 3 y 4. pp. 69 y 72). Además, reconocen cinco fases de desarrollo del capitalismo; a partir de la primera Revolución Industrial, distinguen el desarrollo de las fuerzas productivas, en el cual un avance tecnológico u organizativo central (reestructuración y reorganización) posibilita el desarrollo de una revolución tecnológica y un modelo de práctica óptima (patrón tecno-económico) para conducir de manera eficiente dicha revolución. La continuidad está determinada, por un lado, por el creciente papel de la acumulación del

---

<sup>39</sup> María, Barcelo, et al. Hacia una economía del conocimiento. México. Editorial Prince Waterhouse Coopers. 2001, p-. 13

<sup>40</sup> Otras denominaciones son: sociedad posindustrial (Bell, 1973 y Kumar, 1978, citados por Cohen et al., 2000), sociedad red (Catells, 1996), economía digital (USCD, 1999 y 2000), economía del conocimiento (Adler, 1999), economía red (Shapiro y Hal Varian, 1998, citado por Cohen et al., 2000) y economía electrónica (Cohen et al., 2000)

conocimiento o lo que denomina Mokyr (2002)<sup>41</sup> como la ampliación de la base epistemológica de la tecnología<sup>42</sup> y por otro lado, por cambios inducidos en la organización social planteados por el propio desarrollo productivo.

Marx capta la continuidad y discontinuidad del progreso tecnológico al plantear la unidad del sistema de maquinas (Marx, 1867, tomo I). Cada uno de sus tres componentes, a saber, máquina herramienta, máquina motriz y máquina de transmisión, experimenta sucesivos cambios revolucionarios que imponen transformaciones posteriores en los otros componentes. Lo anterior quiere decir que en todo sistema tecno-productivo existe un elemento que está en contacto con el objeto de trabajo, otro factor que crea movimiento y otro elemento de comunicación o desplazamiento. Marx hace hincapié en que el cambio de uno de esos elementos induce transformaciones en los otros dos. Esta es la noción que tomaremos como base para encontrar la lógica que relaciona una revolución con otra y por ende la especificidad de las mismas, en particular la última (véase cuadro 4. p. 72). Un intento por esclarecer el recorrido hecho en el apartado anterior y distinguir la importancia de la transformación de la

---

<sup>41</sup> Benn, Steil, et al *Technological innovation and economic performance*. Part I. Innovation and Historical Perspective, tales of technology and evolution. U.S.A. Princenton University. 2002. pp. 36-45

<sup>42</sup> Para Joel Mokyr (2002), la mayor parte del incremento de la productividad en el siglo XX, fue resultado del perfeccionamiento en las técnicas de producción y de los procesos de innovación: conocidos como “El sistema americano de manufactura” como una cierta habilidad por parte del capital para producir las herramientas y la maquinaria que se ajustara con la coevolución de los cambios tecnológicos, organizativos y de la especialización del trabajo, y permitir poner en practica este desarrollo de las fuerzas productivas, es decir, un continuó crecimiento de la “**base epistémica**” que se presenta como el soporte tecnológico que a la postre deriva en el crecimiento económico; sin perder de vista una serie de factores que en conjunto podrían ser vistos, como el desarrollo, agotamiento y cambio del patrón tecnológico del siglo XX, su evolución, características y componentes que lo identifican. Para poder comprender el significado de la “base epistémica”, hay que tomar en cuenta dos aspectos que son fundamentales en el análisis sobre los avances tecnológicos que podrían desencadenar en una “Tercera Revolución Industrial”, a partir de un proceso que presenta conexiones y sinergias en el transcurso del tiempo. El primero se refiere a los micro inventos, los primeros son aquellos que son resultado por un lado del desarrollo de los gastos en desarrollo e inversión a lo largo del siglo XX en donde la velocidad y la naturaleza del progreso tecnológico estaba determinado por las políticas gubernamentales por razones estratégicas, y de otro lado como resultado de desarrollos anteriores a este, es decir, los denominados inventos “híbridos” que combinan componentes que habían sido utilizados antes de 1914 en novedosas maneras. Como los principios de utilización de la electricidad para poner en marcha diversas máquinas y la energía para el calentamiento y funcionamiento de radios, lavaplatos, ventiladores y otras aplicaciones, que consolidaron las bases para el desarrollo industrial hasta 1950 y más allá. En automóviles (el motor de combustión interno de diesel se utilizaba ya en 1914), química, energía, ingeniería industrial, procesamiento de comida, telefonía y comunicaciones inalámbricas, además de los materiales sintéticos. Por lo tanto se presentan como técnicas ya conocidas, que tienen resultados directos en la eficiente organización y en la búsqueda de nuevo conocimiento, y su impacto representa una gran parte del éxito económico de Estados Unidos en el periodo de 1914-50. Este sorprendente fenómeno perduró a lo largo del siglo hasta que estos micro inventos empezaron a operar con rendimientos decrecientes y mostrar sus efectos en la calidad de vida dominante y omnipresente del periodo. (Steil et al., 2002: 36)



tecnología y la organización del trabajo en la fase actual del capitalismo, contamos con el siguiente análisis realizado por Dabat, (2007):

- 1) La Revolución Industrial y los tres elementos fundamentales de la primera era tecnológica (algodón, energía hidráulica y hierro). El agua como medio de transporte y fuente energía permitió el crecimiento de la industria de textiles de algodón. El crecimiento se basó en la mecanización de la producción primeramente con la lanzadera mecánica de Arkwright. Pero esta primera producción fabril presentaba dos problemas: a) las máquinas fabricadas con hierro no forjado eran quebradizas y b) las fuentes hidráulicas estaban territorialmente muy dispersas, lo que obligaba a desconcentrar la industria. El primer punto se resolvió con el uso del hierro forjado mediante el método Puddling, de esta manera, el uso del hierro forjado transformó la industria de la maquinaria
- 2) El segundo problema se resolvió con la construcción de la máquina de vapor de alta precisión (motor de vapor) a principios del siglo XIX, lo cual constituyó la segunda fase o revolución tecnológica. Innovación que fue posible por los avances precedentes en la producción de máquinas-herramienta centradas en el abaratamiento del hierro forjado, También jugó un papel importante la demanda creada por las necesidades energéticas (la máquina de vapor permitió bombear agua de minas de cada vez más profundas, ya que el carbón era la fuente energética principal) y las necesidades de transporte derivadas del crecimiento de la industria textil. El arribo del transporte ferroviario, con la inauguración de la línea Liverpool-Manchester en 1830, abarató el transporte y el costo de la energía declinó aún más gracias a la rápida movilización de los inventarios de carbón.
- 3) A medida que el conocimiento sobre metalurgia se perfeccionaba, se lograron grandes avances en su eliminación, para llegar al acero, o sea, hierro al que se le habían reducido las impurezas del carbón. A su vez, el abaratamiento del acero imprimió un nuevo impulso a la industria de la maquinaria. A partir de los avances en la ingeniería de máquinas y la metalurgia, se explica en buena parte los descubrimientos en inducción electromagnética de 1830, de los que surgió la tecnología del dínamo eléctrico hacia 1860-1870, (base de la tercera revolución tecnológica) Dicha tecnología abrió la puerta a la generación y transmisión de un nuevo tipo de energía que se conjugaba con los

avances en materiales, maquinismo y medios de comunicación logrados hasta entonces. Tecnología que generó nuevos requerimientos y necesidades de mantenimiento, reparación y transformaciones organizativas, que serían la base para la era de la producción en masas.

4) El desarrollo de la industrialización en el siglo XIX, generado por cambios cualitativos en la ingeniería de máquinas e impulsado por el arribo del acero y la electricidad cumplía su papel sobre la base de una organización artesanal. La desarticulación del poder artesanal y de los oficios se logró a partir de la fórmula de Taylor en asignar a trabajadores semiespecializados o no especializados adscritos a maquinaria especializada, tareas acotadas y específicas, garantizando la continuidad a un ritmo creciente mediante el movimiento de componentes. La idea de la línea de ensamblaje para mover las partes se tomó de la industria química añadiendo el motor eléctrico.

Hacia principios del siglo XX existían en Estados Unidos las condiciones para la cristalización de la nueva era tecnológica. Ello se dio con la primera planta de ensamblaje de Ford (1915). En la terminología de Freeman y Pérez, la industria automotriz es una rama receptora; las proveedoras son la eléctrica y el petróleo (avances en la química). El taylorismo separó las tres funciones de producción (manufactura, diseño y coordinación) que eran indivisibles y difusas en las primeras fábricas. Las grandes firmas entrañaban sobre todo grandes problemas de coordinación. El papel de ingenieros y científicos, se volvió cotidiano para dar lugar al laboratorio. Dentro de esta revolución organizativa inducida por las transformaciones en la ingeniería de máquinas y la tecnología del dínamo eléctrico, había una debilidad que impulsaría la siguiente transformación. Si el fordismo llegó a grado excelso por medio de la maquinización y la capacidad de transferencia lineal, era débil la capacidad de control, lo que compensaba utilizando gran cantidad de trabajadores especializados que actuaban como elementos de integración y comunicación, lo que hacía falta era una máquina inteligente.

5) El problema central de la producción en masa era, en consecuencia, la retroalimentación entre la innovación y sus usos, además de la integración y la coordinación de la producción, que se configuran como problema de información y comunicación. Las limitaciones en ambos atributos colocaron la producción bajo el peso de fuerte rigidez que afecta el sistema de máquinas, el uso de la fuerza laboral y la producción final. El problema se resolvería a lo largo del siglo XX, a partir de la

comprensión de los fundamentos de las innovaciones, o sea, el saber por qué en comparación al saber cómo. Lo segundo se refiere al grado de difusión de ese conocimiento como condición del progreso social. Es únicamente a partir de principios del siglo XX, cuando tiende a haber una correspondencia entre las dos estructuras, gracias al conocimiento acumulado, pero también a una revolución en la organización de la ciencia aplicada, centrada en el perfeccionamiento del laboratorio de investigación y desarrollo, la universalización de la educación y el apoyo público a la ciencia básica. La correspondencia entre el por qué y el cómo cristaliza en la revolución de la física cuántica y la electrónica que conduce a la invención del transistor en los años cuarenta. El transistor, la célula de la quinta revolución tecnológica, debe verse como un instrumento básico de comunicación que enlaza, mediante el lenguaje binario, a los sujetos sociales con las máquinas y a las máquinas entre sí, es decir, lo que pensamos y cómo pensamos queda expresado en bienes, servicios, producción material e intelectual, ya sea alimento, refugio, sistemas de transporte y comunicación, computadoras, misiles, salud, educación e imágenes<sup>43</sup>.

En ese contexto Dabat (2007), concluye que la generación e impulso científico-tecnológico obligadamente lleva a cuestionar la lógica con la que se desarrolla, es decir, la finalidad para la que es creada. El estudio y distinción las fases analizadas líneas arriba, contienen la esencia misma del sistema, en otras palabras, el modo de producción capitalista, el cual se orienta hacia la maximización del beneficio, es decir, hacia el aumento de la cantidad de excedente apropiado por el capital en virtud del control privado de los medios de producción y circulación. Las relaciones sociales de producción y, por tanto, el modo de producción, determinan la apropiación y usos del excedente. Una cuestión distinta pero fundamental es la cuantía de ese excedente, determinada por la productividad de un proceso de producción específico, esto es, mediante el aumento de los rendimientos en producto (output) por unidad de insumo (input). Los grados de productividad dependen de la relación entre mano de obra y materia, como una función del empleo de los medios de producción por la aplicación de la energía y el conocimiento. Este proceso se caracteriza por las relaciones técnicas de producción y define los modos de desarrollo.

---

<sup>43</sup> Alejandro, Dabat et al Cambio histórico mundial, conocimiento y desarrollo, México, Juan Pablos Editor, 2007, pp. 51, 52, 53, 54.

En esa dirección, Castells (2000), identifica los modos de desarrollo, es decir, los dispositivos tecnológicos mediante los cuales el trabajo actúa sobre la materia para generar el producto, determinando en definitiva la cuantía y calidad del excedente. Cada modo de desarrollo se define por el elemento que es fundamental para fomentar la productividad en el proceso de producción. Así, en el modo de desarrollo agrario, la fuente del aumento del excedente es el resultado del incremento cuantitativo de mano de obra y recursos naturales (sobre todo tierra) en el proceso de producción, así como la dotación natural de esos recursos. En el modo de producción industrial, la principal fuente de productividad es la introducción de nuevas fuentes de energía y la capacidad de descentralizar su uso durante la producción y los procesos de circulación.

En el nuevo modo de desarrollo informacional, la fuente de la productividad estriba en la tecnología de la generación de conocimiento, fundamentalmente en las capacidades de las unidades o agentes de esta economía (ya sean empresas, regiones o naciones) para generar, procesar y aplicar con eficacia la información basada en el conocimiento.

Aunque resulta imposible proporcionar una definición exacta de conocimiento, para Barcelo (2001) existen suficientes reflexiones y aproximaciones que ayudan a su conceptualización:

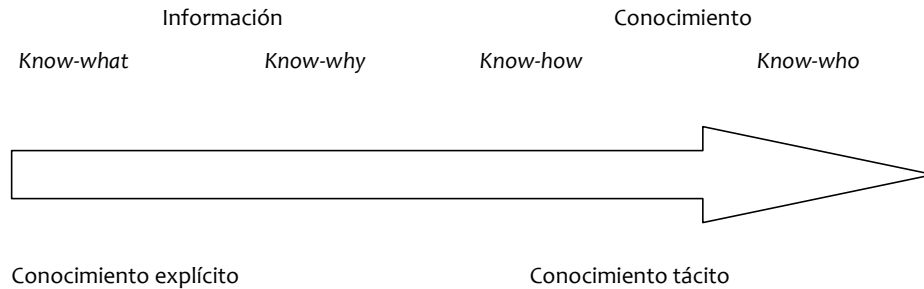
En el dato, como representación de un grupo de objetos y acontecimientos que se dan en el mundo real, se encuentra un primer nivel de conocimiento. Una vez que el dato adquiere un determinado significado en un contexto específico, encontramos un segundo nivel en la información. El flujo de experiencias, valoraciones, información técnica y juicio experto capaz de evaluar e incorporar nuevas experiencias e información convierten este segundo nivel en un tercero, que es el conocido como conocimiento.

Siguiendo a Lundvall y Johnson (1994), se pueden identificar diferentes tipos de conocimiento: saber qué, saber-por qué, saber-cómo y saber-quié:

- Saber-qué generalmente hace referencia a hechos y a proposiciones ciertas
- Saber-por qué hace referencia al conjunto de estructuras explicativas de los principios y leyes de la naturaleza, es decir, al entendimiento

- Saber-cómo se refiere a las capacidades y habilidades para hacer algo
- Saber-quién engloba la información sobre quién sabe qué y quién sabe cómo hacer qué

**Figura 2. Tipos de conocimiento**



Fuente: Barcelo (2001), p. 15.

La información suele asociarse al saber-qué y saber-por qué y puede ser obtenida a través de la lectura de libros, accediendo a bases de datos o asistiendo a clases o conferencias. Por otra parte, el conocimiento es asociado al saber-como y saber-quién obtenidos mediante un aprendizaje basado en experiencia. Otra forma de distinguir el conocimiento es en función de la forma y el soporte con los que se distribuye. Así la información (saber-qué, saber-por qué) es un conocimiento codificado, puesto que puede transferirse más fácilmente, dado que puede encontrarse en diferentes soportes como el papel o las bases de datos. Del mismo modo, el conocimiento (saber-cómo, saber-quién) es un conocimiento no codificado o tácito cuya distribución y uso son más difíciles, dado que está asociado a las propias personas y a sus experiencias y capacidades.

Para David y Foray (2002: 475, 476)<sup>44</sup> el conocimiento, es una facultad que permite a su poseedor actuar intelectual y físicamente. El conocimiento es esencialmente una cuestión de capacidad cognoscitiva<sup>45</sup>. La información consiste en datos estructurados que permanecen

<sup>44</sup> David, P.A y D. Foray. Fundamentos económicos de la sociedad del conocimiento. México. Comercio Exterior, vol. 52, número 6, 2002, pp. 475, 476.

<sup>45</sup> Capacidad del conocimiento, "el aprender a aprender", habilidad que describe a los "descubridores" a partir de la deducción lógica se autoaprende en la llamada escuela de la vida, el entorno cobra un especial interés ante este tipo de individuos, interesados en todo lo que el mundo exterior puede deparar ante sus maravillas, no se acaba la capacidad sobre todo de asombro, ya

ociosos hasta que alguien con los conocimientos suficientes los utiliza para interpretarlos y procesarlos.

La cuestión del costo determina la diferencia. En tanto el costo de duplicar la información no va más allá del precio de las fotocopias, la reproducción del conocimiento, es un proceso mucho más costoso, ya que muchas de las capacidades cognoscitivas no son fáciles de expresar o transferir, por ello hay elementos que quedan implícitos: sabemos más de lo que podemos expresar. Es por esta razón que la reproducción del conocimiento ha dependido del modelo experto-aprendiz; la reproducción del conocimiento nos lleva a la cuestión de la codificación (David y Foray, 2002)

El conocimiento puede codificarse de manera tan articulada y clara que puede ser expresado en un lenguaje específico y registrado en un medio particular. Así, la codificación implica la exteriorización de la memoria. Pero en tanto la codificación equivale a un proceso que reduce el conocimiento “humano” a información, podrían perderse significados originales. Lo que se expresa y registra no es conocimiento del todo. Cuando a un aprendiz se le da un manual no se le está dando directamente conocimiento. Pero cuando los técnicos han aprendido a aprender, la reproducción del conocimiento se vuelve instantánea y adquiere características cercanas a la información.

Otra función de la codificación consiste en transcribir el conocimiento en representaciones simbólicas susceptibles a difundirse y almacenarse. La codificación da lugar a nuevas posibilidades cognoscitivas ya que, previo aprendizaje, pueden conducir a la creación de nuevos objetos de conocimiento, que a su vez den lugar a nuevas posibilidades cognoscitivas.

Este proceso de codificación del conocimiento, se materializa en la fase actual del capitalismo, en la construcción de un tipo diferente de instrumentos y máquinas, a partir del desarrollo tecnológico del siglo XX; para acelerar el progreso material y la generación de nuevos elementos para generar valor y plusvalor; un proceso de canalización y aplicación de la información al proceso productivo para transformar los procesos y los productos, gracias a los avances de la física cuántica, electrónica y química —permite la generación de los instrumentos

---

que es la característica que lleva al aprendizaje constante. La inteligencia cognoscitiva, para que podamos pensar, conocer y aprender a aprender. David y Foray (2002).

electrónicos de procesamiento de datos, es decir, se digitaliza la información afectando íntegramente el mundo simbólico o reproducido (imágenes, sonidos), como también la comunicación y la programación de la producción, ya que se integran a ella los seres inanimados, de modo que se abre la comunicación entre máquinas (las cuales procesan información) y entre ellas y los sujetos sociales—<sup>46</sup>.

De lo anterior se desprende que cada estadio de desarrollo del capitalismo —o modo de desarrollo según los regulacionistas— queda definido por su capacidad para elevar la productividad, o sea, los rendimientos en producto por unidad de insumo; a su vez, la productividad definirá la magnitud del producto neto (o plusvalía). En consecuencia, el aumento de la productividad determinado por la tecnología y la organización es, como lo establecieron la economía política clásica, Marx (1867) y Schumpeter (1946), el fundamento del crecimiento económico. De acuerdo con Marx la producción crecerá intensivamente, si crece la productividad, lo cual depende del desarrollo de las fuerzas productivas y de la organización tecnológica del proceso productivo (reestructuración y reorganización). Este enfoque lo asume Schumpeter y lo desarrollan sus seguidores de la escuela de Sussex.

El desarrollo de las fuerzas productivas, de la ciencia y la tecnología en el modo de desarrollo informacional, está constituida esencialmente por cuatro familias de innovaciones: la microelectrónica, la computación, el software y las telecomunicaciones.

Siguiendo a Castells (2000), me propongo realizar una breve revisión de la secuencia histórica que condujo a la cristalización de la quinta revolución tecnológica. El primer paso decisivo hacia lo que después se llamaría la tecnología de información y comunicación fue la invención en 1947, del transistor, por Bardeen, Brattnain, y Shockley que trabajaban en los laboratorios Bell. Como explica Castells, el adelanto implicado por el transistor fue acelerar el procesamiento de los impulsos eléctricos por medio de un lenguaje binario de interrupción y paso que permitió establecer un medio de comunicación con las máquinas y entre ellas. Para operar a una escala significativa, los transistores deben integrarse para constituir lo que se denomina semiconductores o chips. A partir de mediados de los cuarenta inició un proceso de

---

<sup>46</sup> Miguel Angel, Rivera. *Capitalismo informático, cambio tecnológico y desarrollo nacional*. México. Juan Pablos Editor, 2005, p. 111.

perfeccionamientos sucesivos en la fabricación y operación de los semiconductores. Los más importantes de ellos fueron los siguientes: 1) el uso del silicio en 1945, 2) el transistor de contacto en 1951, 3) el método planear para integrar componentes miniaturizados y 4) el circuito integrado en 1957. A partir de la fabricación del circuito integrado por medio del sistema planear se produjo una explosión tecnológica que implicó el derrumbe de los precios y el aumento exponencial del desempeño. Los semiconductores y circuitos integrados, o sea la integración gigantesca de transistores, tiene en general dos destinos; a) se aplican en artefactos o máquinas a los que provee de instrucciones para su funcionamiento, abriendo una nueva vía de automatización; b) se emplean como parte central de la unidad de procesamiento de las computadoras, que de este modo se convierten en los instrumentos fundamentales para el manejo de información y la comunicación. El circuito integrado acelera el procesamiento de la información.

Pero el paso definitivo que condujo a la cristalización de la revolución tecnológica fue la invención del microprocesador, o sea, la computadora en un chip. Con esta innovación empezó la integración definitiva de la microelectrónica con dos de las familias fundamentales de la revolución tecnológica; la computación y el software y más adelante con las telecomunicaciones. La computadora potencia la organización de la información.

Los instrumentos para procesar información son las computadoras y el uso de los circuitos integrados en ellas (para dar lugar a las computadoras electrónicas) fue lo que amplió exponencialmente su capacidad. La primera computadora comercial fue la Univac-1 —aparatos gigante adecuados solo para grandes entidades fondistas y oficinas gubernamentales— producida en 1951. Con la llegada del microprocesador se aceleró el proceso, ya que dio paso a la microcomputadora, una innovación de la compañía Apple. Pero la versión de IBM denominada Personal computer (PC) fue la que se convirtió en el estándar de la industria a partir de comienzos de los ochenta.

La universalización de la microcomputadora no habría posible sin el software. Se trata del código almacenando en la computadora que instruye a ésta para efectuar tareas específicas. Existen tres clases de software: 1) los sistemas operativos, que controlan las operaciones internas de la computadora, 2) aplicaciones, que apoyan la ejecución de tareas que conectan la



computadora a otros sistemas como bancos de datos y operaciones de ingeniería y 3) soluciones, que permiten a la computadora efectuar funciones específicas requeridas por el usuario final como contabilidad y procesamiento de texto.

El software computacional, como elemento específico del sistema informático, se originó en la arquitectura propuesta por Von Neuman, que implicaba un programa almacenado en la computadora, donde las instrucciones estaban almacenadas en la memoria que en consecuencia podían modificarse. En los años sesenta se aceleró la constitución de una industria independiente de software que estaba en función de la multiplicación del número de computadoras. Un paso decisivo fue la introducción del modelo 360 de IBM, que proporcionó una misma arquitectura mainframe para todas las computadoras, gracias a lo cual empezó a utilizarse por primera vez el software empaquetado.

Pero el salto definitivo hacia la constitución de una gran industria y con ello, la cristalización de la revolución tecnológica fue, como se señaló, el microprocesador, que atrajo masivamente nuevos productores de software. Este proceso se consolidó en los ochenta, cuando apareció el diseño dominante en la industria norteamericana de las microcomputadoras en torno a la arquitectura de la PC de IBM y de la Apple-Macintosh.

El diseño dominante en la industria computacional a su vez determinó el diseño dominante de la industria del software empaquetado; todas las PC de IBM, funcionaban con los sistemas operativos MS-DOS y Basic, proporcionados, al igual que los componentes del microprocesador, por proveedores independientes. Los dos proveedores independientes que después se convertirían en los líderes industriales fueron Intel, en el caso de los microprocesadores, y Microsoft, en el del software.

Un paso decisivo para que se constituyera la quinta revolución tecnológica fue la interconexión de las computadoras basada en el sistema cliente/servidor. Las microcomputadoras o desktop (clientes) se interconectan a otras computadoras que actúan como servidores gracias al desarrollo tecnológico en las telecomunicaciones y en la tecnología de las redes informáticas a partir de los setenta. Las innovaciones cruciales fueron el conmutador electrónico presentado por los laboratorios Bell en 1969 y luego el conmutador digital a mediados de los setenta, que

desplazó en pocos años a los conmutadores analógicos. Esos avances se complementan con el desarrollo explosivo de la fibra óptica, cuyo prototipo se presentó a comienzos de la década del setenta, la fibra óptica, sustituyó masivamente a los cables de cobre a principios de los noventa y se convirtió en la base de la infraestructura de la tecnología de la información y la comunicación en esa década. De tal manera que las telecomunicaciones basadas en la fibra óptica, permiten progresos extraordinarios en la difusión de la información, al conectar entre sí diferentes unidades de procesamiento y organización de la información.

Ahora bien para esclarecer el papel de la tecnología de la información en la fase actual del capitalismo contemporáneo, me parece necesario a continuación identificar las modificaciones en el sistema de producción suscitadas a partir de la inclusión de los instrumentos electrónicos y las máquinas inteligentes, un proceso que implica una transición de la mecanización de la producción hacia la automatización, y la generación de nuevos productos, industrias y relaciones técnicas de producción.

Para Rivera (2006), en el fordismo, la complejidad y el problema principal radicaba en la organización, esto es, en el sistema socio-técnico de la cadena de montaje, que requería de una gran masa de trabajadores para controlar la producción, comunicar e integrar la misma. Las posibilidades de valorización quedaron subordinadas a la simplificación del producto, para reducir su costo y multiplicar el volumen de la producción. La organización del sistema de maquinaria de la fábrica fordista refleja fielmente lo anterior ya que fue concebida para expandir el volumen en detrimento de la calidad. La utilización de la fuerza de trabajo también quedó subordinada a este principio ya que su uso se sometió a una fuerte simplificación (descalificación laboral) que reflejaba la estandarización o simplificación del producto. Durante el fordismo el proceso de valorización se apoyó enteramente en la expansión cuantitativa del mercado, concomitante con el abatimiento de los costos unitarios y con el incremento de la escala de producción, así como con el uso intensivo de la maquinaria especializada y de la fuerza de trabajo. El límite de esta modalidad de acumulación de capital se encuentra en la saturación del mercado que emana de factores tanto técnicos como socioculturales. Llegando a un punto histórico, que empezó a aparecer a mediados de los sesenta, la ingeniería de la cadena de montaje se encontró imposibilitada para mantener el aumento de los rendimientos o

reducir visiblemente los costos unitarios (Coriat, 1985). Desde el punto de vista del mercado, la monotonía por la falta de variedad llevó al estancamiento de la demanda social.

Esta situación cambiara con la aparición de la tecnología de la información y la comunicación. El eje del cambio en el proceso de valorización es la transformación del conocimiento en el insumo fundamental de la producción capitalista, posibilitado por los poderes que derivan del cambio tecnológico, a partir de la invención del microprocesador, la computadora personal y la individualización del software. La codificación de la información requerida para el diseño y comunicación de la producción pudo ser expresada en un lenguaje electrónico-binario lo cual propició enlazar y comunicar a las máquinas entre ellas y resolver el problema de la integración de la producción, reduciendo mano de obra, además de flexibilizar la producción aumentando la variedad de bienes y servicios. La concreción del proceso de integración de las innovaciones antes mencionadas, posibilita la generación de la tecnología genérica, que se plasma en la era actual de la computadora microelectrónica-digital, para usar la denominación propuesta por David y Foray (2002). Los efectos de esta tecnología genérica según Castells, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Transformación profunda de las actividades productivas, automatizando procesos e integrando en línea, diseño, manufactura, inventarios, ventas, administración, etc. Se acelera el crecimiento de la productividad, principalmente en el procesamiento, almacenamiento e intercambio de información, crucial en un grupo muy amplio de sectores económicos.
- b) En el marco de la integración de actividades, el diseño se convierte en la actividad fundamental por su capacidad para transformar productos y procesos de manera cada vez más acelerada y ampliada. Surgen nuevos bienes y servicios.
- c) Incremento de la capacidad de los sujetos sociales para generar valor y riqueza por medio de efectos cuantitativos (aumento de productividad) y cualitativos (calidad y variedad), que devuelven al trabajo su condición compleja, mermada con la revolución organizativa y gerencial del fordismo. El trabajo de los sujetos sociales, se potencia como trabajo complejo a partir de tres actividades centrales: 1) la programación como creador de lenguaje de instrucción para las computadoras electrónico-digitales, principalmente bajo la modalidad de aplicaciones para el desarrollo de software

(software para crear software); 2) la concepción del producto o proceso por medio del diseño y su cristalización como prototipo comercializable y 3) en tanto eje de la coordinación global del proceso productivo, interconectando sus diferentes estructuras espaciales para dar continuidad a la alta valorización capitalista.

- d) Formación de redes entre múltiples unidades productivas, integrando a proveedores y usuarios para generar grandes economías de abastecimiento.
- e) Sustentación de la cadena de actividades productivas en enormes bases de datos y medios cada vez más avanzados de procesamiento de información, gracias a los cuales se integra la producción y circulación.

Gracias a los nuevos medios informáticos, la definición cualitativa del producto experimenta variaciones teóricamente ilimitadas que conducen a la ruptura de la monotonía previa. En rigor este fenómeno no es enteramente desconocido ya que tiene su antecedente en la diferenciación del producto promovida por la corporación multidivisional en las postrimerías del fordismo. Sin embargo, los fundamentos de la diferenciación fordista del producto son limitados por qué no se había desarrollado la maquinaria reprogramable, el diseño computarizado y la realidad virtual que han permitido modificar incesantemente la calidad del producto. Esta nueva dimensión del producto y de la productividad es lo que hace posible la transformación del proceso de valorización y significan que la riqueza, así como el excedente, se definirá preponderantemente a partir de la calidad y no simplemente la cantidad del producto.

El abismo entre el régimen actual informacional de organización global y flexible de las actividades productivas y el fordismo no debe buscarse primordialmente en las características de los medios de producción, sino entre la interrelación entre tecnología y la organización a partir de la cual se han configurado los activos del conocimiento científico de nueva generación. Por lo tanto, a continuación me propongo identificar el concepto de patrón o paradigma tecnológico de la escuela evolucionista de la innovación, para avanzar en la comprensión de la fase actual de desarrollo del capitalismo. Un intento por distinguir la transición productiva y organizativa del modelo de producción industrial-fordista, durante el cual, la principal fuente de productividad fue la introducción de nuevas fuentes de energía y la capacidad de descentralizar su uso durante la producción y los procesos de circulación; hacia

una reestructuración y reorganización flexible, que en la actualidad permite organizar la producción en cadenas globales, superar barreras de costos y acumulación de capital a partir de la cristalización de nuevas fuentes de competitividad y productividad basadas en las tecnologías electro-informáticas y en la difusión inicial de las nuevas tecnologías nanoescalares.

Lo expuesto hasta aquí tiene la finalidad de identificar y concebir a la tecnología como un proceso articulado con el crecimiento económico provocando un comportamiento de la producción capitalista tipo ondas Kondratiev, en donde se pueden distinguir movimientos de largo plazo en la actividad económica de carácter cíclico —se repiten cada determinado plazo— y ondulatorio —por que la fluctuación no gira siempre en torno al mismo nivel—, producidos por fuerzas endógenas conectadas con la acumulación de capital y la actividad innovadora. Sin embargo para comprender los cambios estructurales y organizativos suscitados por la revolución informática en la fase actual de desarrollo del capitalismo, me parece fundamental distinguir en el siguiente apartado la propuesta de “la escuela evolucionista de la innovación” o los denominados “neoschumpeterianos”, la cual postula que: “lo decisivo no es que las innovaciones aparezcan simultáneamente en un período de tiempo, sino la existencia de un alto grado de complementariedad entre ellas, que provoca su gradual integración en constelaciones, en otras palabras, el eje de los cambios estructurales en el sistema económico se basa en la conformación de un modelo o paradigma tecno-económico capaz de guiar el potencial tecnológico” (Pérez 2000).

### **2.3.- La escuela evolucionista de la innovación y la definición de patrón tecnológico.**

La teoría evolucionista de la innovación, surgida en las décadas de los 70 y los 80 del siglo XX, estudia los determinantes del proceso tecnológico, las tendencias del avance y desarrollo científico-tecnológico, así como las características del entorno socioeconómico y las relaciones de estos aspectos contempladas desde un punto de vista dinámico (Arriola 2006) .

Las principales aportaciones de los evolucionistas, se ubican en los análisis a largo plazo enfocados desde una perspectiva histórica (Rosenberg) o de las ondas largas de acumulación y los sistemas tecnológicos (Mensch, Freeman, Pérez) y del análisis de los paradigmas y su

evolución a través de trayectorias tecnológicas (Richard Nelson, Sid Winter, Giovanni Dosi, Keith Pavitt, Lue Soete, etc)

La parte medular contenida en la teoría evolucionista de la innovación, incorpora la noción dinámica del cambio histórico del capitalismo, a partir de la teoría de las ondas largas de Van Gelderen (1913), y Kondratiev (1926), centran su análisis en la producción y distinguen movimientos de largo plazo en la actividad económica de carácter cíclico —se repiten cada determinado plazo— y ondulatorio —por que la fluctuación no gira siempre en torno al mismo nivel—, producidos por fuerzas endógenas conectadas con la acumulación de capital y la actividad innovadora. La conformación de sucesivas ondas largas y la conexión entre ellas, representan por tanto las fases de evolución del sistema en su conjunto (sus modos de desarrollo); articuladas con innovaciones discontinuas en el tiempo (revoluciones tecnológicas) (Rivera 2006)

La propuesta de Freeman y Pérez (1988) sobre las revoluciones tecnológicas y las ondas largas, postula que lo decisivo no es que las innovaciones aparezcan simultáneamente en un período de tiempo, sino la existencia de un alto grado de complementariedad entre ellas, que provoca su gradual integración en constelaciones, en otras palabras, el eje de los cambios estructurales en el sistema económico se basa en la conformación de un modelo o paradigma tecno-económico capaz de guiar el potencial tecnológico.

En esa dirección me parece fundamental en el presente apartado distinguir la propuesta evolucionista que articula al cambio tecnológico con el crecimiento económico provocando un comportamiento de la producción capitalista tipo ondas Kondratiev. Un intento por identificar por un lado la concepción integral de la tecnología como un proceso, el cual está conformado por las fases de invención, innovación, difusión, transferencia tecnológica y aplicación. Así, a partir de dicho planteamiento, el proceso tecnológico en conjunto posibilita la aparición del tipo fundamental de innovaciones o las denominadas revoluciones tecnológicas capaces de generar dinámicas de crecimiento a largo plazo. Por otro lado habría que considerar el marco organizativo y productivo que define la base económica y determina el régimen de acumulación (patrón tecno-económico)

Como se ha venido analizando en los apartados anteriores la tecnología, se entiende como la aplicación del conocimiento científico y de las habilidades adquiridas en el proceso de trabajo, hacia la operación, mejora y expansión de la producción (Dabat, 2007), sin embargo un segundo vector de una concepción integral de la tecnología hace referencia al dinamismo y dialéctica del fenómeno mismo, lo cual privilegia un enfoque de proceso. De esta manera, el fenómeno tecnológico puede verse como una realidad en constante cambio, como todo un proceso; el cual se puede dividir para fines de análisis, en fases interconectadas e interdependientes entre sí, que solo adquieren su exacta dimensión en una visión global y de conjunto. Este es el conocido concepto del proceso de innovación formado por las fases de invención, innovación, difusión y transferencia tecnológica.

Cuando se define al cambio técnico, tecnológico y a la tecnología, se hace referencia generalmente, al conjunto comprendido por la invención, la innovación y la difusión de tecnologías, así como sus efectos e impactos. En líneas generales, Arriola (2004) asume que la tecnología presenta una sucesión de fases, constituidas, por lo que denomina como ciclo de vida de la tecnología, conformado por: invención (concepción de la idea), innovación (aplicación comercial) y difusión.

De acuerdo con lo anterior, el proceso tecnológico se define de la siguiente manera: la invención es la primera producción de un conocimiento (científico o no) concretizada: es una idea basada en un conjunto de conocimientos científicos o técnicos, que pueden ser utilizados para satisfacer una aplicación práctica, pero que todavía no se le ha exigido viabilidad económica ni práctica. Se podría considerar, por tanto, como una reserva de información para alimentar la actividad innovadora de una economía. Pero como bien señala Rosenberg (1986) en su introducción: las invenciones por sí mismas no producen ningún resultado técnico o económico. Son una condición necesaria, pero no suficiente para el cambio tecnológico.

Lo que nos lleva directamente a la segunda fase: la innovación. En esta etapa como señala Vergara (1989) consistiría en el acto/proceso consistente en acoplar; en casar por primera vez, en un país o ámbito espacial preciso, una nueva oportunidad tecnológica con una necesidad o, en su caso, con una demanda solvente, una demanda de mercado. El origen de una innovación tecnológica puede ser una invención doméstica o la transferencia tecnológica.

Por su parte, la transferencia supone la transmisión y asimilación a través de las fronteras de dos países, de conocimientos y elementos materiales que hacen posible la innovación (uno es exportador y el otro receptor de tecnología).

Finalmente, la difusión es el proceso de divulgación y aplicación de la innovación al interior de una economía, manifestada en el creciente número de los usuarios efectivos de esta. La difusión tecnológica, por muchos aspectos, es la etapa que menos se ha estudiado, y solo es hasta la década de los ochentas que se le ha dado una mayor importancia, principalmente por su relación con la política tecnológica. La etapa de difusión resulta muy importante, ya que el impacto macroeconómico de las innovaciones se halla canalizado y determinado por su proceso de difusión, este proceso de ampliación del uso efectivo de las innovaciones, es el causante final de las consecuencias económicas globales, sean estas a nivel sectorial o global.

Y si la innovación se consideraba un proceso complejo, la fase subsiguiente, la difusión no lo es menos, ya que abarca una serie de factores tanto institucionales, sociales, jurídicos, políticos y de organización de la producción, este último factor es el que me interesa distinguir, el cual indudablemente está ligado a la escuela evolucionista de la innovación. Este proceso efectivo de difusión, no es simple copia y adopción, sino la difusión exige múltiples modificaciones y adaptaciones.

En palabras de Rosenberg (1976, pp. 88-90):

“La innovación adquiere importancia económica solo a través de un proceso extensivo de rediseño, modificación y mil pequeñas mejoras que le convienen para un mercado de masas, para la producción por medio de nuevas técnicas de producción masiva, y por la eventual posibilidad de un completo campo de actividades complementarias”.<sup>47</sup>

En el estudio de la difusión tecnológica, se pueden identificar dos enfoques, uno de demanda y otro de oferta. Según la demanda, la difusión depende del crecimiento económico, de la productividad y del contexto macroeconómico; y según la oferta, la difusión tecnológica

---

<sup>47</sup> Nathan, Rosenberg. *Perspectives on Technology*. Cambridge University Press. 1976, pp. 88-90.



depende de los medios de comunicación, de los servicios científico-técnicos, de las redes de infraestructura e información, etc.

En este punto, Vergara (1989) señala:

“La difusión no depende únicamente de la demanda, sino también de la capacidad efectiva de resolver problemas, aparentemente de detalle y que afectan al conjunto de prestaciones efectivas en entornos concretos. Esta perspectiva contribuye a explicar las diversas fechas de adopción, las velocidades de difusión y las tasas de saturación”.

En dicho contexto una condición desde la oferta para que se lleve a cabo el cambio tecnológico, materializado en la difusión de nuevos productos, industrias, infraestructura, etc., consiste en elaborar un modelo a seguir o una práctica óptima para aplicar de manera eficiente la tecnología en el proceso de producción capitalista, en ese sentido, el grupo de Sussex, (Freemann y Soete, 1982 Clark, 1984) y en general la escuela evolucionista Nelson y Winter (1982), Dosi (1982), Pavitt (1984) y Pérez (1989); estudian las evidencias empíricas de la naturaleza del cambio técnico y la innovación a partir de casos en economías desarrolladas.

La teoría evolucionista del cambio técnico considera tres conceptos básicos, a saber, trayectoria tecnológica, paradigma o patrón tecno-económico y sistema nacional de innovación. La trayectoria tecnológica refiere a la evolución de la tecnología. Se distingue una primera fase, donde el conocimiento se encuentra disponible; en una segunda fase, el conocimiento se privatiza convirtiéndose en una barrera a la entrada; y en una última fase, de madurez con rendimientos decrecientes, el conocimiento vuelve a ser accesible a través de relaciones institucionales diversas

La categoría de sistema nacional de innovación se construye a partir de considerar los agentes y las relaciones institucionales para la innovación. Se reformula el concepto del empresario innovador aislado, de la época schumpeteriana, al considerar un enjambre complejo de relaciones institucionales. En efecto, esta categoría engloba un conjunto de instituciones: empresas, centros de investigación y desarrollo, privados y públicos, universidades, empresas de consultoría, mecanismos de financiamiento, entre otros. Es decir, un sistema de innovación

implica la creación de una amplia red que pone en contacto a los agentes con el fin de que interactúen en la búsqueda de un marco institucional propicio para la innovación.

Por último el concepto de paradigma tecno-económico alude a los sistemas tecnológicos cuyo denominador común es la capacidad para transformar el aparato productivo. Un nuevo patrón tecno-económico surge cuando influye en el rumbo de aparato productivo, mediante tecnologías que revitalizan las industrias maduras y tradicionales y crean nuevas ramas.

Un antecedente importante de los conceptos aplicados en las teorías evolucionistas del cambio técnico se encuentra en Thomas Kuhn<sup>48</sup> (1962), este autor aporta, en el ámbito de la filosofía de la ciencia, el concepto de paradigma, como realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica. Giovanni Dosi (1984)<sup>49</sup>, retoma el lenguaje de Kuhn y propone un modelo de interpretación en el que sugiere que los procedimientos y la naturaleza de las tecnologías son muy similares a los que caracterizan a la ciencia. Estos son los paradigmas tecnológicos, desempeñando un papel similar al de los paradigmas científicos. El modelo trata de considerar tanto los cambios continuos como los discontinuos en la innovación tecnológica. Para Dosi, un paradigma tecnológico es entendido como un modelo y patrón de solución de problemas tecnológicos selectos sobre una base de principios derivados de las ciencias naturales y tecnologías específicas.

---

<sup>48</sup> Concepción de Thomas Kuhn (1962) en su obra *"La estructura de las revoluciones científicas"* destacando la definición que hace de paradigma como consecuencia de su análisis de la historia de la ciencia y de las teorías científicas, distingue dos formas principales del uso de la palabra "paradigma". Por un lado, el paradigma debe ser concebido como un logro, es decir, como una forma nueva y aceptada de resolver un problema en la ciencia, que más tarde es utilizada como modelo para la investigación y la formación de una teoría. Por otra parte, el paradigma debe ser concebido como una serie de valores compartidos, esto es, un conjunto de métodos, reglas y generalizaciones utilizadas conjuntamente por aquellos entrenados para realizar el trabajo científico de investigación, que se modela a través del paradigma como logro. De acuerdo con Kuhn, el cambio de un paradigma por otro, a través de una resolución, no ocurre debido a que el nuevo paradigma responde mejor las preguntas que el viejo. Ocurre más bien, debido a que la teoría antigua se muestra cada vez más incapaz de resolver las anomalías que se le presentan, y la comunidad de científicos la abandona por otra a través de lo que el mismo Kuhn ha denominado *switch gestaltico*. Las revoluciones ocurren porque un nuevo logro o paradigma presenta nuevas formas de ver las cosas, crean de con ello nuevos métodos de análisis y nuevos problemas a qué dedicarse

<sup>49</sup> Giovanni Dosi, *Technological paradigms and technological trajectories. The determinants and directions of technical change and the transformations of the economy in long waves in the world economy*. Frances Printer, 1984, pp. 70-112.

Las similitudes de los mecanismos y procedimientos de la ciencia por un lado, y de la tecnología por otro, se pueden plantear de la siguiente manera: así como un paradigma científico determina el campo de cuestionamiento, los problemas, los procedimientos y las tareas (el rompecabezas en palabras de Kuhn), del mismo modo lo hace la tecnología. Señala Dosi (1984), no existe una plena analogía entre paradigma científico y paradigma tecnológico, por lo que no deben entenderse como una identidad. Existen obvias diferencias entre la naturaleza del problema-solución en la ciencia y en la tecnología. La solución tecnológica no puede ser explicitada como el conocimiento científico; pues implica experiencia, habilidades, rutinas, equipos, etc. Un paradigma tecnológico debe considerarse como una aproximación, adecuada en función de una actividad productiva concreta en un contexto particular.

Una cuestión crucial se refiere a cómo emerge un paradigma tecnológico y cómo éste fue preferido a otros posibles.

A lo largo del flujo ciencia → tecnología → producción, las fuerzas económicas junto con los factores sociales e institucionales operan como un dispositivo de selección; entre las variables específicas que entran en juego son: 1) los intereses económicos de las organizaciones involucradas en I y D en esas nuevas áreas tecnológicas; 2) su historia tecnológica, la especialidad de sus expertos, etc.; 3) variables institucionales, tales como las agencias públicas, consultorías, etc. Todos esos factores parecen operar como fuerzas que orientan el desarrollo tecnológico.

Carlota Pérez (1989), introduce el concepto de paradigma tecno-económico análogamente al de paradigma tecnológico de Dosi, para referirse a la constelación de sistemas tecnológicos cuyo denominador común es su capacidad para transformar el aparato productivo. Freeman (1984) y Pérez (1988) agregan: no es solamente un paradigma tecnológico, es tecno-económico: no es solamente el uso de una tecnología sino que es un cierto tipo de organización de la producción asociado a esa tecnología. Y pasan a otra conclusión fundamental, que los coloca en un campo muy próximo al marxismo. Dicen: no solamente el nuevo paradigma es tecno-económico, sino que por su misma lógica lleva a un nuevo sistema sociopolítico. Lo cual tiene muy poco que ver con la teoría ortodoxa. Estos cambios estructurales no sólo impactan radicalmente los modos de producir y de vivir, sino que explican

cada uno de los ciclos largos de auge por lo que ha atravesado la economía mundial desde la revolución industrial.

Sin proponerse ser exhaustivas, las listas del cuadro 5, ilustran e indican el tipo de lineamientos básicos de un paradigma tecno-económico para Pérez (2000):

**Cuadro 5**

**Un paradigma tecno-económico diferente para cada revolución tecnológica.**

<b>Revolución tecnológica</b>	<b>Paradigma tecno-económico.</b>
<b>País-núcleo</b>	<b>Principios de sentido común para la innovación</b>
PRIMERA: Desde 1971 La Revolución Industrial Inglaterra	Producción en masas Mecanización. Productividad/medición y ahorro de tiempo Fluidez de movimientos (como meta ideal para máquinas movidas por energía hidráulica y para el transporte por canales y otras vías acuáticas) Redes locales
SEGUNDA: Desde 1829 Era del vapor y de los ferrocarriles Inglaterra (difundiéndose hacia Europa y EUA)	Economías de aglomeración/ciudades industriales/mercados nacionales. Centros de poder con redes nacionales. La gran escala como progreso  Partes estandarizadas/máquinas para fabricar máquinas. Energía donde se necesite (vapor)  Movimiento interdependiente (máquinas y medios de transporte)

---

TERCERA:  
Desde 1875  
Era del acero, la electricidad y la  
Ingeniería pesada.  
EUA y Alemania sobrepasando  
a Inglaterra.

Estructuras gigantescas (acero)  
Economías a escala en planta/integración  
vertical  
Distribución de la energía para la industria  
(electricidad)  
La ciencia como fuerza productiva  
Redes e imperios mundiales (incluyendo  
cárteles)  
Estandarización Universal  
Contabilidad de costos para control y  
eficiencia  
Grandes escalas para dominar el mercado  
mundial/lo pequeño es exitoso si es local

---

CUARTA:  
Desde 1908  
Era del petróleo, el automóvil y la  
producción en masa  
EUA (con Alemania rivalizando por  
el liderazgo mundial.  
Difusión hacia Europa

Producción en masa/mercados masivos  
Economías de escala (volumen de producción  
y mercado) / integración horizontal  
Estandarización de productos  
Uso intensivo de energía (con base en el  
petróleo)  
Materiales sintéticos.  
Especialización funcional/pirámides  
jerárquicas  
Centralización/centros metropolitanos-  
suburbanización.  
Poderes nacionales, acuerdos y  
confrontaciones mundiales

---

QUINTA:	Uso intensivo de la información (con base en
Era de la informática y las	la microelectrónica
Telecomunicaciones	Integración descentralizada/estructuras en
EUA (difundiéndose hacia	red
Europa y Asia)	El conocimiento como capital/valor añadido
	intangibles
	Heterogeneidad, diversidad, adaptabilidad
	Segmentación de mercados/proliferación de
	nichos
	Economías de cobertura y de especialización
	combinadas con escala
	Globalización/interacción entre lo global y lo
	local
	Cooperación hacia adentro y hacia
	afuera/Clusters
	Contacto y acción instantáneas/comunicación
	global instantánea

---

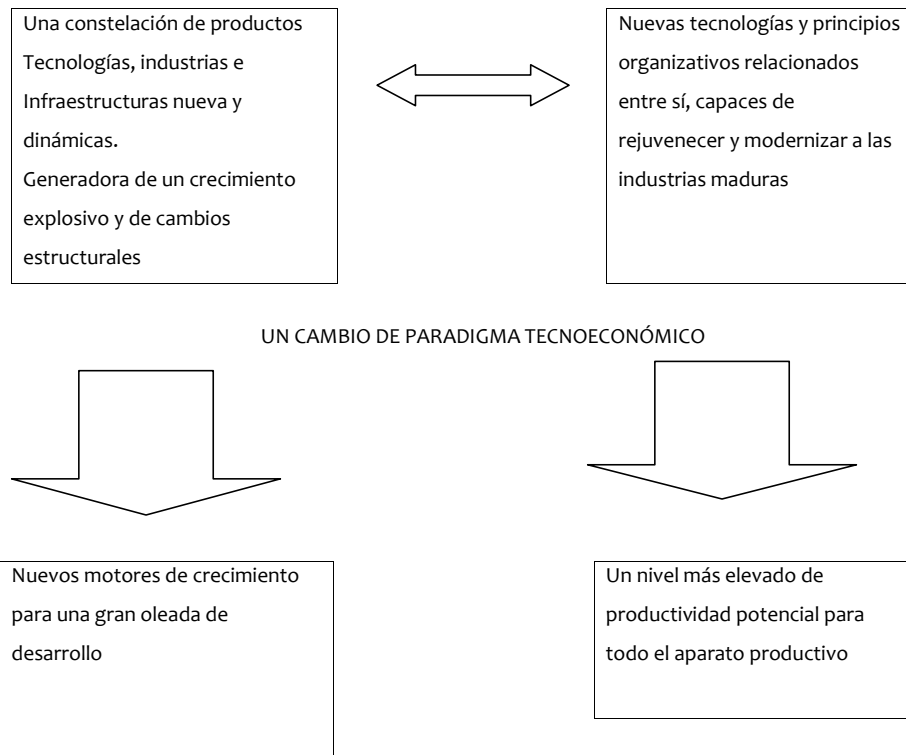
Fuente: Pérez (2000), p. 44

Los principios del listado del cuadro 5, no se limitan estrictamente a la organización de la producción sino que se extienden hasta incluir la estructura de las empresas, las formas de propagación geográfica, la estructura del espacio geopolítico y social, se puede hablar de un **“paradigma organizativo”**. En este marco, un paradigma tecno-económico representa el modelo rector del progreso tecnológico comercial durante varios decenios, en el cual se identifican y desarrollan productos y procesos productivos económicamente rentables, partiendo de la gama de los tecnológicamente viables.

Como ejemplo, se puede observar el proceso de cambio organizativo producido por la revolución informática. Hasta 1980 aproximadamente, la organización prevaleciente que servía como marco óptimo al despliegue de la revolución en masa era la pirámide jerárquica centralizada y compartimentada por funciones, esta estructura fue aplicada en la economía por casi todas las corporaciones, pero también fue reproducida en cualquier otra organización que confrontara una tarea vasta y compleja como el gobierno, hospitales, las universidades, etc., en los países desarrollados y subdesarrollados. Con la llegada de las computadoras e internet, esas grandes pirámides se revelaron rígidas y difíciles de manejar. En su lugar, la estructura en redes descentralizadas y flexibles con un núcleo estratégico y un sistema de comunicación rápido, mostró su capacidad para adecuarse a organizaciones mucho más grandes y complejas al igual que a organizaciones más pequeñas. Su sentido común, es decir, la lógica que facilita su funcionamiento fluido, reforzado por la naturaleza y capacidades de las tecnologías informáticas disponibles, se ha estado difundiendo en forma gradual y eventualmente abarcará una muy amplia gama de instituciones donde probablemente estarán incluidas las del gobierno tanto global como local.

Por lo tanto, para Pérez (2000; 41), un paradigma tecnoeconómico es, entonces, un modelo de óptima práctica constituido por un conjunto de principios tecnológicos y organizativos, genéricos y ubicuos, el cual representa la forma más efectiva de aplicar la revolución tecnológica y de usarla para modernizar y rejuvenecer el resto de la economía, Cuando su adopción se generaliza, estos principios se convierten en la base del sentido común para la organización de cualquier actividad y la reestructuración de cualquier institución.

Figura 3: La doble naturaleza de las revoluciones tecnológicas



Fuente: Pérez (2000), p. 33.

El surgimiento de un nuevo paradigma tecnoeconómico afecta las conductas relacionadas con la innovación y la inversión de tal manera que puede compararse a una fiebre del oro o al descubrimiento de un nuevo y vasto territorio. En la vida real un paradigma es sobre todo un modelo imitativo, construido con principios implícitos pronto convertidos en talento inconsciente y más tarde subsumidos en reglas prácticas.

Es importante notar que el paradigma tecnoeconómico sirve a la vez como impulsor de la difusión y como fuerza ralentizadora. Es un impulsor porque proporciona un modelo que puede ser seguido por todos, pero su configuración lleva tiempo —alrededor de diez años— y dado



que cada revolución es por definición diferente de las anteriores, la sociedad tendrá que aprender los nuevos principios.

Los aspectos de temporalidad y la difusión tecnológica están relacionados con el análisis de los ciclos largos (Kondratiev; en donde la variable explicativa se relaciona con el cambio tecnológico por innovaciones básicas). Cabe recordar que los ciclos económicos son parte de un proceso dinámico del movimiento de la producción capitalista a través de fases que guardan entre sí una relación de sucesión; auge (aumento y maximización de la producción, pleno empleo) y crisis (estancamiento de la producción, disminución de los ingresos y del empleo).

La teoría del ciclo tecnológico explica la existencia de los ciclos largos de Kondratiev, por existir momentos en los que la conjunción de algunos descubrimientos científicos clave permite la aparición de un grupo de nuevas tecnologías, lo que estimula fuertemente la inversión, la demanda y el empleo. Mientras los nuevos productos se hacen accesibles a un número cada vez mayor de personas en más países el ciclo continuará en su fase expansiva. Cuando los mercados estén saturados se detendrá la inversión, cerrarán empresas y se producirá la recesión a la espera de una nueva ola tecnológica. Los avances en los transportes suelen ser mostrados como claves en varios ciclos históricos: los ferrocarriles a mediados del siglo pasado, los automóviles a principios de este siglo y los aviones tras la Segunda Guerra Mundial.

Para comprender la dinámica del ciclo largo hay dos aspectos fundamentales, que se refieren a la difusión del nuevo PTE; como veremos a continuación Pérez (1983), diferenció dos modalidades de difusión del nuevo PTE, dependientes de la disponibilidad de capital por lo que generan formas específicas de comportamiento empresarial, financiero y social: 1) *la difusión inicial del nuevo estilo tecnológico* que se realiza durante la onda ascendente, fundamentalmente con capital ocioso y de alto riesgo y 2) *la difusión posterior del paradigma ya consolidado*, que se efectúa en el período de depresión y por ello con mayor disponibilidad de capital.

El más crítico de estos procesos de difusión es el primero, ya que de él depende la concreción del nuevo paradigma. Comienza con la propagación de las innovaciones desde las industrias originarias hacia el resto del sistema económico, que depende de tres condiciones materiales y

organizativas: 1) la aparición de la tecnología genérica, es decir, aquella susceptible de aplicarse a cualquier actividad; 2) los principios organizativos universales que acompañan la difusión de la nueva tecnología a todas las actividades económicas y 3) la construcción de la infraestructura específica de comunicaciones y transportes que facilite la interconexión del conjunto de las actividades productivas. Conforme interactúan estas tres condiciones se produce tanto la aparición de nuevas industrias como la regeneración de las antiguas, para pasar a lo que llamaremos, siguiendo a Fajnzylber (1983, cap. 1), “nuevo patrón industrial” que puede interpretarse como un avance en la concreción del nuevo paradigma. Entendiendo por patrón industrial al conjunto de industrias, ramas, bienes y servicios, mercados y patrones de consumo en torno a los cuales se constituyen las trayectorias de crecimiento a largo plazo derivadas de una revolución tecnológica.

Para Rivera (2006) la difusión de la revolución tecnológica constituye el fundamento material, del cambio histórico del capitalismo y por ende de la transformación del conjunto de la estructura y organización socioeconómica. El cambio histórico da lugar a un nuevo tipo de capitalismo y con él a un nuevo modo de desarrollo específico. La base económica que determina el régimen de acumulación ha sido conceptualizada por Freeman y Pérez como paradigma tecno-económico. El nuevo paradigma tecno-económico constituye el marco de largo plazo en el cual quedan integradas un conjunto de relaciones técnicas de producción, propias del nuevo saber tecnológico o práctica óptima, que permite relacionar costos con posibilidades tecnológicas y de inversión. El conjunto interrelacionado de innovaciones van entretejidas entre sí y con el resto del sistema productivo y social por medio de una red de relaciones de producción. Los neoschumpeterianos llaman a esta red de relaciones de producción paradigma tecno-económico (Freeman y Pérez, 1988). El concepto se inspira en Kuhn en tanto alude a un marco social aplicado a la actividad de los sujetos sociales, que rige por períodos largos. Pero la inspiración fundamental del concepto se halla en Marx, ya que el concepto señala las relaciones objetivas que establecen los actores del proceso de producción en su actividad regular y duradera.

Los ejes de dichas relaciones son, de acuerdo con Freeman y Pérez los principios productivos y organizativos que definen la estructura de costos para insumos y productos, a partir de los cuales se toman las decisiones de inversión. Dichos principios forman un todo organizado que,

además de regir por períodos largos, se integra a la visión de los actores productivos que se ubican en el mundo a partir de él.

Esta visión analizada precedentemente y presente en autores tales como Christopher Freeman, Giovanni Dosi, John Clark, Carlota Pérez, Lue Steve, Michael Piore y Charles Sabel, grupo de autores que constituye la escuela neoschumpeteriana, afirma que a partir de la década de los 70 se produce un profundo cambio en el modo de producción, denominado la Tercera Revolución Industrial o nuevo “paradigma tecnológico y productivo”, cuyo factor clave es la microelectrónica y la informática, capaces de aplicarse a cualquier actividad productiva, es decir, tecnología genérica, convertida en instrumentos de aplicación general en la industria, tanto para organizar las actividades de producción como para procesar la información. La constitución del paradigma informático tiende a transformar las estructuras productivas, pero también las sociales; redefine al sistema productivo, las estructuras circulatorias y los patrones de consumo, yendo acompañada del surgimiento de un nuevo sujeto obrero, nuevas visiones del mundo y la cultura, de este modo el concepto de revolución industrial apunta a dicha transformación radical de la producción y la vida social, resultante de la utilización generalizada de la constelación de innovaciones radicales.

Sin embargo para mi trabajo de investigación, el factor clave a contemplar se articula con un nuevo sistema tecnológico o las denominadas tecnologías transectoriales: informática, biotecnología, ciencias cognoscitivas, nanotecnología, nuevos materiales, etc. En la actualidad estas tecnologías se están desarrollando intensamente dentro de la lógica de la sociedad informática.

Conforme lo analizado en el capítulo 2, la difusión de cada una de las revoluciones tecnológicas constituye el fundamento material del cambio histórico y por ende la transformación del conjunto de la estructura y organización socio-económica. El cambio histórico da lugar a un nuevo tipo de capitalismo y con él a un modo de desarrollo específico. La base económica que determina el régimen de acumulación ha sido conceptualizada por Freeman y Pérez como paradigma tecno-económico. El nuevo paradigma tecno-económico constituye el marco de largo plazo en el cual quedan integradas un conjunto de relaciones de producción propias del nuevo saber tecnológico o práctica óptima, que permite relacionar costos con posibilidades

tecnológicas y de inversión. Para Rivera (2005) aunque el concepto se inspira en Kuhn en tanto alude a un marco social aplicado a la actividad social que rige por períodos largos, la inspiración fundamental del concepto se halla en Marx, ya que el concepto señala las relaciones objetivas que establecen los actores del proceso de producción en su actividad regular y duradera.

La interrelación entre el cambio en la estructura social y el cambio tecnológico no equivale a adoptar una visión determinista, ya que el papel que se le asigne a la tecnología depende de cómo se conciba su relación con la sociedad. Lo anterior equivale a decir que el cambio tecnológico requiere un entorno que lo favorezca y que conduzca gradualmente a un cambio generalizado en las formas de producción.

En esa dirección en la segunda parte de mi tesis, me propongo distinguir: la trayectoria tecnológica de Estados Unidos en el siglo XX y principios del XXI, y por ende la gestación de la revolución electrónico-informática y la posterior revolución nanoescalar. Como señalan Castells y otros autores, la revolución electrónico-informática, fue un fenómeno norteamericano, especialmente californiano en la localidad conocida como Silicon Valley en la época de la guerra fría y la posterior revolución nanoescalar se ha venido desarrollado en el este de Estados Unidos, espacio geográfico donde se concentra la mayor cantidad de universidades.

Por lo tanto me parece relevante identificar en el siguiente apartado, el ambiente de la guerra fría, o lo que denomina Palazuelos (2000) como “el estilo tecnológico de posguerra” que alentó la experimentación y desarrollo de innovaciones que pudieran contribuir de manera duradera a la defensa nacional, y la integración entre la industria, universidad y Estado (bajo la égida de los proyectos del Departamento de Defensa); proceso convergente fundamental para comprender el desarrollo científico-tecnológico nanoescalar desde el año 2001 y la posterior difusión inicial del nuevo patrón tecnológico BANG, en el que se expresan los elementos sociales, ideológicos y culturales favorables a la innovación.

## SEGUNDA PARTE.

### **3.- Trayectoria tecnológica en Estados Unidos en el siglo XX y la posible conformación del nuevo patrón tecnológico BANG.**

#### 3.1. Estados Unidos un breve recorrido de su trayectoria tecnológica en el siglo XX

La trayectoria tecnológica en Estados Unidos en el siglo XX y la posible conformación del nuevo patrón tecnológico BANG, puede comprenderse en el marco del cambio histórico del capitalismo, representado por la transición de la economía industrial que dependía de los factores tangibles —tierra, trabajo y capital— hacia la llamada sociedad o economía del conocimiento, en donde, las fuentes de productividad se articulan fundamentalmente con factores intangibles, como son: el conocimiento y la información. Dicho cambio representa desde 1970 para la escuela de pensamiento evolucionista, la fase de desarrollo actual del capitalismo, y la posibilidad de respuesta a dificultades y limitaciones estructurales de crecimiento y acumulación suscitadas dentro del régimen de producción fordista —a mediados del siglo XX—, a través de la aplicación dentro del proceso productivo de nuevos métodos o formas susceptibles de incrementar la producción, intensidad y control del trabajo. El desarrollo de la física cuántica, la electrónica, la química, la ciencia de los materiales, la simulación computacional, la ingeniería, etc., y la convergencia hacia los mismos principios experimentales, ha posibilitando avances extraordinarios en las tecnologías electrónicas-informáticas y en nanotecnología —que trata del diseño, caracterización, producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas a través del control del tamaño y la forma en la escala de los átomos y las moléculas (Foladori, 2006)—; base tecnológica para desarrollar en las últimas décadas nuevas fuentes de competitividad y productividad.

El grupo ETC (2005), utiliza el término “BANG” para describir la estrategia de la convergencia: bits, átomos, neuronas y genes. A partir de la teoría del “little BANG” —emplean y juegan con el nombre de la teoría del BING BANG— explican el curso de las nuevas tecnologías nanoescalares a partir de las acciones y recursos destinados por la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF, por sus siglas en inglés) la Iniciativa Nacional de Nanotecnología en Estados Unidos —organismo coordinador de los presupuestos federales dedicados a este ramo de la

ciencia—, el Departamento de Comercio y de Defensa, los cuales, buscan la generación de una constelación de sistemas tecnológicos cuyo denominador común sea la capacidad para transformar el aparato productivo, conectado con dos procesos paralelos: por un lado, un proceso creciente de la objetivación histórica de la naturaleza, en otras palabras, un mayor control, modificación y transformación para fines sistémicos. Por otro, el creciente proceso de transferencia de actividades de destreza física y mental requeridas por el proceso de trabajo que históricamente han pasando de la mano al instrumento y a la máquina, que puede leerse, como la objetivación del trabajo físico en forma de maquinaria mecánica en el proceso productivo y la objetivación de funciones que antes realizaba el intelecto de los sujetos sociales: la reprogramación automática de tareas por parte de las “máquinas inteligentes”, que implica enlazar a los sujetos con las máquinas y a las máquinas entre sí, lo que pensamos y cómo pensamos queda expresado en bienes y servicios. Además con la revolución de la nanotecnología en curso, los grandes capitalistas buscan, la posibilidad de que la materia estructurada artificialmente reaccione de manera inteligente frente al entorno, con lo cual se objetivan funciones que antes desempeñaba la mente de los sujetos sociales o la propia naturaleza (Foladori 2006). Lo antes mencionado representa una trayectoria tecnológica diferente, precisamente por el hecho de que a nanoescala los elementos adquieren propiedades físicas diferentes (en resistencia, en conductividad eléctrica, reactividad química, propiedades ópticas, etc.,). Las nuevas interconexiones que los materiales nanotecnológicos puedan establecer con el entorno es una cuestión imprevisible en toda su extensión, De tal manera que formulando una analogía con la teoría de la cosmología física del “BING BANG”, que se utiliza para referirse al momento en que se inició la expansión observable del universo y que explica el origen y evolución del mismo, la teoría del “little BANG”, del grupo ETC (2005) hace referencia a la revolución nanoescalar y las posibilidad de recrear, manipular, controlar la materia, la vida y la naturaleza por parte de las grandes empresas capitalistas, sin precedentes en la historia de la sociedad

Para Foladori (2006) y Pérez (2005), la nanotecnología aún se encuentra en su etapa temprana de investigación y desarrollo, la mayoría de las investigaciones, están dirigidas hacia la comprensión de los fenómenos de la nanoescala, los procesos, y la creación de nuevos materiales o nanoestructuras; sin embargo el desarrollo científico-tecnológico y las capacidades productivas generadas por la sinergia interdisciplinaria, la articulación de las

tecnologías “viejas” con algunas de las “nuevas”, y las iniciativas tomadas por el gobierno de Estados Unidos en el siglo XX y principios del siglo XXI, permiten distinguir la importancia de las estrategias dirigidas a fomentar el crecimiento económico y competitividad en dicho país,

En ese contexto me parece relevante identificar en el presente apartado, la importancia de la ciencia en la innovación tecnológica, gracias al conocimiento acumulado, pero también a una revolución en la organización de la ciencia aplicada, centrada en el perfeccionamiento del laboratorio de investigación y desarrollo a partir de principios del siglo XX, la universalización de la educación y el apoyo público a la ciencia básica (Dabat, 2007). Teniendo en cuenta que tanto para Kranzner (1967) como para Mokyr (1990), la Primera Revolución Industrial, si bien no se basó en la ciencia, contó con un amplio uso de la información, aplicando y desarrollando el conocimiento ya existente. En cambio, la Segunda Revolución Industrial, a partir de 1850, y la Tercera Revolución Industrial a partir de 1970, se caracterizaron por el papel decisivo de la ciencia para fomentar la innovación, en efecto, los laboratorios de I+D aparecieron por primera vez en la industria química alemana en las últimas décadas del siglo XIX.

A continuación me propongo realizar un breve recorrido de la trayectoria tecnológica — evolución de la tecnología— en Estados Unidos en el siglo XX, con el objetivo de identificar la creación de innovaciones y la incidencia de sus efectos en toda la economía, no solo liderando la emergencia de un rango de nuevos productos y servicios, sistemas e industrias, sino además afectando directa o indirectamente todas las ramas de la economía y la organización de la producción, es decir, el posible tránsito de la mecanización, a la estandarización y posterior automatización y computarización de la producción (Tercera Revolución Industrial). Además el papel que con frecuencia juegan en el establecimiento de una trayectoria tecnológica las acciones públicas, un ejemplo, es la electrónica y la física cuántica, especialmente en el campo de los semiconductores y computadoras durante las primeras décadas del período de la posguerra. Los programas militares y espaciales operaron entonces como un poderoso mecanismo dirigido hacia blancos tecnológicos bien definidos, mientras al mismo tiempo apoyaron con financiamiento a la I+D y garantizaron la seguridad pública.

Principalmente tres son los factores a distinguir en el presente apartado:

- Innovaciones Radicales; que son eventos discontinuos como resultado usual de investigaciones deliberadas y del desarrollo de actividades de empresas, universidades y laboratorios de gobierno. Estas innovaciones se distribuyen en forma desigual en los diferentes sectores pero, donde quiera que ocurran poseen, un gran potencial como trampolín para el crecimiento de nuevos mercados y el crecimiento de la inversión asociada con booms. Engloban tanto productos, combinados, procesos así como innovación en la organización. Llevan al reemplazo de un producto por otro o a cambios profundos en las técnicas de producción, o más aún, al auge de nuevas industrias y servicios, como materiales sintéticos o la industria de semiconductores (Arriola, 2004: 59).

- Cambios en el sistema tecnológico. Estos son los cambios de más largo alcance en tecnología, que afecta a varias ramas de la economía, permitiendo el auge de nuevos sectores. Están basados en una combinación de innovaciones radicales, junto con innovaciones en la organización y en la administración, y que afectan a más de una o varias firmas. Un ejemplo de estos son los encadenamientos de innovaciones de materiales sintéticos, innovaciones petroquímicas y las innumerables innovaciones en las aplicaciones introducidas entre los años 20 y los años 50.

- Indicador de capacidad tecnológica; los gastos en investigación para el desarrollo ó I+D, consisten en toda utilización de los resultados de trabajo de investigación para llegar a la explotación de nuevos productos, dispositivos, sistemas y procedimientos, o para mejorar los ya existentes. El desarrollo consiste en pasar del modelo de laboratorio, que muestra la validez de los principios elegidos para un nuevo procedimiento industrial, al prototipo industrial digno de ser reproducido para la venta. Asimismo, otras definiciones incluyen en los gastos de I+D: la realización de pruebas y prototipos, la construcción y utilización de instalaciones piloto, los estudios y proyectos, aquellos recursos destinados al trabajo creativo realizado de manera sistemática y organizada, con el fin de incrementar el acervo de conocimientos y la utilización de estos para derivar nuevas aplicaciones útiles al sistema productivo; en cualquiera de sus áreas, tanto la investigación básica o fundamental, la investigación aplicada o el desarrollo experimental. Los trabajos en investigación básica son aquellos encaminados al análisis de las propiedades, estructuras y relaciones mutuas de los objetos y seres que componen el universo, con vistas a sistematizar en leyes generales; por su parte, los trabajos de investigación aplicada



son emprendidos, bien para encontrar nuevas soluciones que permitan alcanzar un objetivo determinado, seleccionado con anterioridad, con vistas a satisfacer una necesidad del sistema de producción capitalista, El desarrollo experimental incluye todo trabajo sistemático en el que se utilizan todos los conocimientos obtenidos de la investigación y/o de la experiencia práctica y está encaminado a producir nuevos materiales, productos y dispositivos, a establecer nuevos procesos, sistemas y servicios y a mejorar sustancialmente los ya existentes o establecidos.

Los sectores en cuales se desarrolla la I+D son: a) las empresas de producción, siendo ellas públicas o privadas, nacionales o extranjeras, y ya sea de producción de bienes o de servicios; b) la educación superior, incluyendo laboratorios, clínicas y unidades de investigación; c) el sector estatal, como los consejos de investigación y academias de ciencia; las organizaciones científicas profesionales, las sociedades científicas, etc.

Los indicadores de ciencia y tecnología más utilizados, los divide Arriola (2004; 62) en tres grandes grupos:

—Indicadores de recursos (inputs), en los que se incluye: gastos en I+D, personal dedicado a investigación, etc.

—Indicadores de resultados (outputs), como: número de patentes registradas y solicitudes, artículos científicos publicados, balanza tecnológica (incorporada o no) etc.

—Indicadores de impacto, como: índices de productividad, nivel de producción, de comercio tecnológico, etc.

Siguiendo a Hobsbawm (2000) y Palazuelos (2000)<sup>50</sup>, me parece relevante a continuación, identificar el proceso de invención, innovación y difusión de los aportes tecnológicos de mayor importancia en el aparato productivo de Estados Unidos en siglo XX, a partir de la concepción y distinción de tres etapas históricas que en conjunto Hobsbawm (2000), denomina como “el siglo corto” 1914-1991, para distinguir como se generan las revoluciones tecnológicas y su impacto en el surgimiento y decadencia de las distintas ramas económicas en el período

---

<sup>50</sup> Enrique. Palazuelos. *Estructura económica de Estados Unidos. Crecimiento económico y cambio estructural*. España, Editorial Síntesis. 2000.

mencionado —cuarta y quinta revolución tecnológica en el análisis de la escuela evolucionista—.

Para Palazuelos (2000), dicho proceso, representa la generación y concreción de la Segunda Revolución Industrial —la cual reforzó más que sustituyó a la primera— y la posibilidad de una tercera, a partir de la convergencia científico-tecnológica, que conecta, el papel del Estado, las universidades y la industria militar. Fenómeno que me interesa distinguir a grandes rasgos a partir de la periodización propuesta por Hobsbawm (2000) descrita a continuación:

- La “era de las catástrofes“ 1914- 1945: En el siglo XX la humanidad ha estado al borde del abismo. Y en ocasiones se ha precipitado en él. La era catastrófica proporcionó dos guerras mundiales, la desaparición de los regímenes democrático-liberales de la mayor parte de Europa durante las primeras décadas del siglo, la eclosión de los fascismos, el triunfo y consolidación del estalinismo y la división del movimiento obrero internacional.

Para el período entre guerras el comportamiento del sector agrícola, manufacturero y de servicios, transitó del auge a la depresión (crisis 1929), por las condiciones de aumento de demanda de bienes de los países europeos durante el conflicto bélico —la primera Guerra Mundial— y por el consumo en masa, un rasgo novedoso en la historia del capitalismo, el cual se presentó como la respuesta de la demanda a la dinámica generada desde la oferta por la producción en masa, es decir, por las grandes series de bienes estandarizados que fabricaban las empresas que habían incrementado rápidamente sus escalas de producción, lo cual residía en los avances introducidos en la producción manufacturera<sup>51</sup>, vinculadas a cinco nudos centrales: a) fabricación de automóviles, b) electricidad, c) construcción de máquinas y aparatos eléctricos d) manufacturas metálicas y e) producción química, incluyendo el refinado del petróleo. Ramas que permitían junto con el tipo específico de la organización de la producción

---

<sup>51</sup> Para ejemplificar este último fenómeno podemos citar, el símbolo de la época, el automóvil. En la primera década del siglo se requerían 14 horas para fabricar el modelo 7, lanzado por la empresa Ford, Después de la Guerra Mundial, con la introducción de la cadena de montaje el tiempo de fabricación era de hora y media, mientras que a mediados de los años veinte se producía un automóvil cada diez minutos. Esta enorme disminución del tiempo de producción, se reflejaba en la fortísima reducción de los costes de producción, por tanto aumento la demanda de automóviles, uno de cada cinco ciudadanos estadounidenses disponía de un auto. Algo similar se repetía en muchos bienes, otro ejemplo es la reducción del coste de producción del kilovatio/hora de energía, que facilitó el gran consumo de electricidad para la iluminación doméstica y para el funcionamiento de distintos aparatos como radios, cocinas, etc. Palazuelos (2000)

y del trabajo —fordismo—, el aumento de la productividad que revertía un sensible abaratamiento en los costes de producción y en consecuencia, de los precios de venta de esos bienes. Estas condiciones favorables del mercado propiciaron una dinámica de un gran volumen de productos ofrecidos, de consumo privado y del aumento de la demanda de inversión. (Palazuelos, 2000: 68, 69)

Cabe resaltar el papel que comienza a jugar el sector servicios como resultado de las condiciones antes mencionadas y la expansión de sus cuatro ramas principales: a) la distribución comercial, a través de la ampliación de las redes mayoristas y el gran crecimiento de los mercados de bienes de consumo, b) los transportes y las comunicaciones, en torno al desarrollo del parque automovilístico y de los sistemas de comunicación por radio y por teléfono, c) el sistema financiero, impulsado por el apogeo especulativo que desembocó en el crash de 1929 y d) las actividades del sector público, definitivamente impulsadas por la política institucional del New Deal (significó una reorientación estratégica del papel del Estado en la economía, aportando un grado de sensibilidad social hasta entonces desconocido y convirtiendo la demanda pública en el complemento indispensable para lograr la recuperación económica) para hacer frente a la crisis económica.

Las condiciones de bonanza económica, que mostraban los indicadores sobre la producción industrial y los beneficios empresariales, los aumentos salariales, de la demanda de consumo y de la oferta productiva a través de una política monetaria del Estado que favorecía el acceso al crédito bancario por parte de las familias y empresas, eran alentadas por tasas de interés bajas con el fin de incrementar el consumo y la inversión. Por tanto era lógico que los valores de las empresas experimentaran un aumento de sus cotizaciones.

Sin embargo se presentaba el peligro de la cada vez más evidente de la incapacidad de la demanda para absorber la producción que seguía lanzándose al mercado. Pero como los beneficios seguían creciendo y se mantenía una política monetaria de dinero barato, los recursos que dejaban de canalizarse hacia la inversión productiva y hacia el consumo encontraban una vía de escape, que además presentaba una alta rentabilidad: en la adquisición de activos financieros.

Esta efervescencia avivó el ritmo alcista de las cotizaciones, hasta que empezaron a sobrepasar el valor real de las mismas, de tal manera, que dejaron de representar una anticipación del crecimiento de la producción y se transformaban en un cúmulo de expectativas especulativas, movimiento que llegó a su fin en octubre de 1929 y condujo a la mayor crisis de la historia de Estados Unidos, como una interacción de los fenómenos de sobreinversión y subconsumo que condujeron a una fase depresiva.

La cual hizo caer el PIB en un 28%, el empleo disminuyó en un 12% y el desempleo comprendía al 17% de la población activa, la industria contrajo su producción casi en un 40%, en un período caracterizado por la deflación.

Para contrarrestar la situación en 1933 el gobierno de Roosevelt, implementó un conjunto de programas públicos que generasen la expansión del consumo y la inversión, al tiempo que introducían notables controles sobre el funcionamiento global de la economía, lo cual se denominó como el New Deal, es decir la intervención pública, en los diferentes sectores, a través del gasto público, de inyección de recursos impulsando la creación de infraestructura para crear empleos, etc., y de controles de políticas para ajustar los precios y ajustar la baja del valor de la moneda nacional.

Sin embargo un impulso de gran magnitud que completó al programa de políticas públicas antes mencionado, fue la incorporación de Estados Unidos a la Segunda Guerra Mundial y la orientación del gobierno a una insólita y acelerada conversión de su aparato productivo en una monumental economía de guerra, establecida desde el *War Production Board*, la cual dirigió la industria, y se consiguió el mayor crecimiento económico conocido en Estados Unidos con una tasa de 12.2% anual de 1940 a 1944. Este programa por tanto se encargó de la asignación de los recursos, subvenciones, préstamos y concesiones de licencias para la reestructuración de cada rama y cada empresa, un drástico control de precios y salarios para evitar desequilibrios monetarios que amenazaran el crecimiento económico. Se ocupó también de fijar programas de desarrollo tecnológico, organizados desde la *Office of Scientific Research and Development*, los programas de investigación contaron con grandes recursos financieros, con un gran capital humano de alta calidad (más de 100 000 científicos, ingenieros y otros especialistas en 1944) y con centros dotados de equipos técnicos cada vez más avanzados.

La actividad tecnológica se orientó en cuatro direcciones fundamentales: a) la movilidad, potencia y eficacia de los medios de transporte motorizados por tierra, mar y aire, b) el alcance y precisión de las armas de fuego, c) los sistemas de protección y seguridad ante el armamento enemigo, buscando la máxima rapidez, fiabilidad, duración, control y diversificación de los productos elaborados y d) el armamento atómico (Palazuelos, 2000: 95)

Al tiempo, las cadenas de montaje, que hasta entonces se habían introducido en un número limitado de actividades, se generalizaron en la mayoría de los procesos productivos. Las escalas de producción y las técnicas de estandarización de los bienes alcanzaron cotas inimaginables antes de la guerra, promoviéndose para ello una mayor concentración empresarial, de modo que un número muy reducido de empresas fabricaba gran parte de los aviones, barcos, acero, aluminio, vehículos motorizados e infinidad de otros bienes industriales. Así por ejemplo, tres empresas aeronáuticas producían el 72% de los motores para aviones, cuatro plantas siderúrgicas obtenían la mitad del acero y tres plantas de automoción fabricaban casi el 80% de los vehículos motorizados..

Esta reorganización productiva además de impulsar el crecimiento económico y consolidar el aparato industrial, generó nuevos polos de crecimiento económico de acuerdo a las necesidades que requería la guerra en cuanto a insumos y encadenamientos productivos, territorios que carecían de tradición industrial, pero que en cuanto su ubicación se presentaban como estratégicos en cuanto a ubicación marítima y recursos energéticos, para llevar a cabo la experimentación y posterior fabricación de material bélico. Así sucedió en Texas, Florida y de manera especial en California, estado en el que apenas en unos años se registró una rápida pujanza industrial. Las autoridades federales decidieron ubicar allí una parte considerable de la producción aeronáutica, naval y petroquímica. Junto con nuevas empresas siderúrgicas y electrónicas que se encargaban de suministrar insumos y equipos para esas industrias prioritarias. Además de destinar grandes recursos financieros y tecnológicos, se promovió una vasta movilización de recursos laborales (Milward, 1986).

**Mapa 1: Producción aeronáutica, naval, petroquímica y las nuevas empresas siderúrgicas y electrónicas**



Fuente: elaboración propia a partir de la idea sugerida por Palazuelos (2000)

- La “edad de oro” 1945 a 1973: La "edad de oro" del capitalismo está constituida para el historiador inglés (Hobsbawn 2000) por las tres décadas que transcurren, aproximadamente, desde 1945 hasta 1973; desde la derrota de las potencias fascistas y sus aliados hasta el final del ciclo largo de expansión económica de la posguerra. En la "edad de oro" se desarrollan los sistemas de protección social en los países capitalistas avanzados, acaba el colonialismo, se produce el largo equilibrio entre superpotencias que caracterizó la "guerra fría", se acelera el avance tecnológico, etc. Lo más importante es que, asociado al nuevo ciclo demográfico y de acumulación, tiene lugar una trascendental transformación en las condiciones de vida de una gran parte de los habitantes del planeta. Por vez primera, desde el Neolítico, la mayor parte de los sujetos sociales, dejan de vivir de la agricultura y la ganadería, y se desarrolla impetuosamente la urbanización e industrialización de las economías centrales.

El curso de la economía en los años posteriores a la guerra sufre un leve período de disminución de la producción y por ende un aumento de los precios, como síntoma de la reconversión de la economía de guerra a una posbélica, lo cual generó un menor grado de utilización de la capacidad instalada en las ramas conectadas directamente con la producción de armamentista, como la metalurgia, siderurgia y maquinaria.

Como consecuencia de este fenómeno contractivo de la producción (recesión económica de 1946), una capacidad de demanda mayor a la oferta y la condición deficitaria del Estado por el impulso científico-tecnológico, reflejado en gasto militar, se generó un proceso inflacionario y un tipo de respuesta en el desempleo y las tendencias recesivas de la producción.

Sin embargo el impulso generado por la estructura productiva y el tipo de organización del trabajo, además de la onda tecnológica expansiva y su difusión en las ramas de modernización económica para el período de mediados de siglo XX, propiciaron el avance y salida de la recesión antes mencionada, soportada por las grandes inversiones del Gobierno Federal en la actividad científico-técnica en el sector militar para difundir los avances en el conjunto de las actividades productivas, como fueron las innovaciones en la electrónica y los plásticos, dando lugar a nuevas líneas productivas, que permitieron la fabricación de nuevos bienes de inversión y de consumo.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los gastos en investigación y desarrollo, calculados en dólares constantes, se multiplicaron por seis, creciendo a una tasa media de 8% anual (National Science Foundation), aumentando la proporción de 1.3% hasta antes de la guerra de Corea hasta casi 3% en 1965. El número de ingenieros y científicos trabajando en investigación y desarrollo se incrementó entre 1946 y 1970 desde 100,000 hasta 550,000, aumentando la proporción relativa de aquellos en el conjunto de la fuerza de trabajo desde 4 a 64 investigadores por cada 10,000 trabajadores (Palazuelos, 2000: 103)

Aumentaron la cantidad de laboratorios y staff científicos que contaban con instalaciones y equipos cada vez más avanzados, en los que se integraban las disciplinas científicas, además del crecimiento en el número de patentes hasta alcanzar su máximo a mediados de los años sesenta, con 50,300 patentes nacionales registradas (Rosenberg, 1976)

El otro factor decisivo que impulsó el progreso técnico durante el período fue la nueva base organizativa en la que se asentó la actividad productiva a través de los métodos fordistas que habían sido aplicados en la industria automovilística en los años veinte y que luego se extendieron a otras actividades productivas durante la guerra.

Este sistema organizativo permitía un estricto control empresarial de los respectivos trabajos individuales y colectivos, consiguiendo con ello una notable intensificación de los mismos, lo que proporcionaba un mayor rendimiento del esfuerzo físico efectuado por cada trabajador, cada taller y cada fábrica (Coriat, 1982)

El “estilo tecnológico” de posguerra, surgió bajo la impronta militar, así las nuevas técnicas de trabajo con metales se habían experimentado en el blindaje de los carros de combate, acorazados, navíos y aviones; las técnicas electrónicas procedían de la detección de los sonares marinos y los radares aéreos; los nuevos motores se habían introducido en la construcción del material de transporte militar y así un largo etcétera de novedades relacionadas con la investigación del sector militar. A través del Pentágono, la NASA y otras agencias especializadas, el gobierno desembolsó más del 60% del total de los gastos de investigación, porcentaje que aún fue más elevado en la primera mitad de los años sesenta, llegando a cubrir las dos terceras partes del total (Palazuelos, 2000)

Además el protagonismo de los poderes públicos se extendió a otras facetas en apoyo de las empresas privadas: difusión de los avances logrados en el sector estatal, formación en centros públicos de especialistas que posteriormente trabajarían en las empresas, cesión de laboratorios, materiales y científicos pertenecientes al sector estatal, apoyo a la exportación de bienes que incorporaban tecnologías avanzadas y un sinnúmero de medidas destinadas al desarrollo de la innovación en las empresas

Los sectores de defensa y aeroespacial concentraron el 70% de los desembolsos federales en inversión y desarrollo durante los años sesenta, aeronáutica (10.2%), maquinaria y aparatos eléctricos (7.3%) e instrumentos profesionales (5.7%) siendo sensiblemente más reducida la



investigación en otros campos tan importantes como sanidad, energía, medio ambiente, transporte, agricultura y otros de carácter económico social. (Palazuelos, 2000)

Durante la guerra de Corea, se consolida un complejo militar-industrial, es decir, un fuerte vínculo establecido entre el gasto en defensa y el desenvolvimiento de las principales ramas manufactureras, reforzándose en las décadas posteriores. Entre 1950 y 1953, el gasto militar pasó de 12,000 a 44,000 millones de dólares (corrientes); después fue disminuyendo suavemente y volvió a elevarse con rapidez en los años sesenta hasta alcanzar 78,000 millones en 1969, descendiendo en los últimos años (Bureau of the Census, 1976). Con respecto al PIB, el gasto aumentó durante la guerra de Corea desde el 4% hasta el 14.5%, situándose en los veinte años posteriores en una media próxima al 8% del PIB. Aproximadamente, la mitad de ese gasto se destinó a la compra de armamento y otro 10% a la investigación y desarrollo, teniendo una importancia decisiva sobre la actividad productiva y tecnológica del sector privado. La producción corría a largo de empresas privadas, que fabricaban el material militar mediante contratos con las agencias gubernamentales. Se forjó así un nudo de intereses comunes entre los estamentos políticos y militares, los sectores empresariales y los grupos de científicos e ingenieros que trabajaban en la investigación avanzada. En la medida en que se intensificó la carrera armamentista entre Estados Unidos y la Unión Soviética, aumentó la programación del arsenal convencional y nuclear, de modo que tanto la inversión como el desarrollo, como los contratos gubernamentales, se establecían con una notable antelación. Las empresas privadas adquirieron una influencia creciente en la toma de decisiones sobre el futuro armamento y al mismo tiempo, se redujo el número de empresas que obtenían los principales contratos, justificándose todo ello en aras del sigilo, con el que había que llevarse a cabo la investigación sobre misiles, cazabombarderos, submarinos atómicos, portaaviones, emplazamientos nucleares en tierra, etc. El mismo proceso se produjo en el ámbito de la actividad espacial bajo la dirección de la Agencia Aeroespacial de Investigación (NASA). (Palazuelos, 2000: 110)

La producción, la tecnología, las ventas y los beneficios de importantes corporaciones industriales quedaron vinculados al comportamiento del gasto militar. Cualquier modificación en la estrategia militar sobre el tipo de armamento o el cuerpo a reforzar (aviación, naval o terrestre) implicaba que los pedidos se realizasen a unas u otras empresas especializadas en la fabricación de los distintos productos bélicos. En los años sesenta, ciertas empresas lograron

contratos millonarios superiores a 15,000 millones de dólares, de modo que en algunas de ellas (Lokhead, McDonnell, Douglas, Rockwell International) la producción militar representó más del 75% de su producción total, mientras que en otras (General Dinamic, United Technologies, Boeing) ese porcentaje se acercó al 60% (Melman 1975).

- El "derrumbamiento" de 1973-1991 supone el final de los equilibrios internacionales nacidos en 1945 y mantenidos gracias a la *guerra fría*. Una imagen tan brutal debería justificarse muy convincentemente. Hobsbawm utiliza ese concepto intentando dar cuenta de forma unificada de diferentes series de acontecimientos: la desaparición de los estados comunistas europeos, el final de la *guerra fría*, la crisis de la economía mixta y la ofensiva neoliberal, la mundialización creciente de la economía-mundo y la crisis de identidad del estado-nación, la nueva división del trabajo, la nueva era tecno-informática, etc.

En el transcurso de las tres décadas analizadas a continuación, los indicadores que expresan el esfuerzo realizado en la innovación tecnológica muestran varias secuencias. Desde finales de los años sesenta estaban presentes los ingredientes típicos de una fase de allanamiento o desaceleración tecnológica según la interpretación que proponen los autores de la tradición schumpeteriana (Freeman, 1984, 1985; Fremman y Soete, 1985). Tanto los input que miden el esfuerzo en investigación y desarrollo (gastos totales en investigación y desarrollo, número de investigadores, gastos con respecto al PIB o por investigador y otros), como el output tecnológico (patentes, innovaciones de carácter radical), ponen de manifiesto que se produjo una tendencia declinante. Al mismo tiempo, la organización fordista del trabajo fue presentado síntomas de agotamiento y se acumularon las pruebas de su creciente inadaptación a los nuevos requerimientos productivos y a las modificaciones que experimentaba la demanda (Coriat, 1982)

Posteriormente, a mediados de los años ochenta aparecieron síntomas de que se estaba produciendo una inflexión de aquella tendencia. Los indicadores de esfuerzo tecnológico<sup>52</sup>

---

<sup>52</sup> El esfuerzo tecnológico de la economía se expresa, en primer término, a través de la evolución de los gastos dedicados a la actividad científico-técnica y sus resultados se aprecian mediante el logro de innovaciones y procesos de difusión, así como el número y características de las patentes registradas, sin embargo el presente apartado se limita al estudio de los recursos destinados a la investigación y el desarrollo (I+D) y de las nuevas tecnológicas surgidas durante las últimas décadas. Palazuelos E. (2000)

volvieron a expresar un alza sustancial y las empresas comenzaron a introducir nuevas formas organizativas. Era la prueba de que se estaba configurando un nuevo patrón tecnológico en la actividad productiva

Un tipo de condiciones necesarias no solo técnicas sino también de relaciones sociales para organizar y estructurar el sistema de producción capitalista, Avances que permitieron un gran crecimiento de Estados Unidos, los cuales se desarrollaron a partir de la co-evolución de las instituciones y la tecnología<sup>53</sup>. Tal vez el más importante desarrollo del siglo XX, fue el cambio en la naturaleza del proceso de invención en conjunto con la emergencia de las corporaciones, universidades y el gobierno que patrocinaba los gastos en inversión y desarrollo, que Mowery y Roserberg (1998) denominan “institucionalización de la innovación”.

Dicho proceso de institucionalización de la innovación, fue resultado de la aportación de recursos del gobierno federal canalizados a través de laboratorios y centros públicos especializados y de empresas y centros privados que se beneficiaron de aquella financiación federal, lo cual en conjunto constituyó a lo largo del siglo XX, en Estados Unidos lo que denomina Palazuelos (2000) como el estilo tecnológico, cuyos logros se adaptaron y difundieron con rapidez por el tejido productivo de la economía, creándose y consolidándose en la década de los sesenta a partir de la Guerra de Corea un “complejo militar-industrial” que articulaba los intereses tecnológicos, políticos y militares del Pentágono, el Gobierno, las empresas industriales y los grupos científicos más selectos (Melman 1990; Markusen 1991; Purcell 1972), basado en la mayor parte de los gastos en I+D corrían a cargo del gobierno federal y su destino fundamental era la defensa, incluyendo la carrera aeroespacial, que absorbía el 85% de los gastos federales y cerca de un 55% de los recursos totales dedicados a los gastos en I+D.. Desde el punto de vista sectorial, las ramas que obtenían la mayoría de los recursos y que, por tanto, fortalecían su potencial tecnológico eran las de aeronáutica (aviones y misiles), equipos mecánicos y eléctricos, química y automoción

Los gastos destinados a I+D han crecido espectacularmente, de forma que los 205,000 millones de dólares corrientes invertidos en 1997 multiplican por seis los desembolsados efectuados en

---

<sup>53</sup> Steil, Victor, Nelson, *Technological Innovation and Economic Performance, Part I: Introducción, Innovation and Historical Perspective; Tales of Technology and Evolution*, by Joel Mokyr, Princenton University Press, 2002

1974 y por tres los realizados en 1980. En dólares constantes de 1987, el incremento real entre 1981 y 1996 fue de 60%, es decir, a una tasa media de 3% anual. El número de científicos e ingenieros ocupados a tiempo completo se elevó a un ritmo medio del 5% anual entre 1975 y 1990 hasta emplear a casi 760, 000 investigadores, pero después fue decreciendo en la última década (National Science Foundation, *National Patterns of R&D Resource*). Lo mismo sucedió en el gasto por investigador, creciendo hasta superar los 145, 000 dólares (constantes) en 1987 para reducirse después y estabilizarse a partir de 1990 en torno a 125,000, lo que supone un descenso próximo al 15% con respecto al nivel logrado en 1987. Sin embargo, esa media incluye comportamientos diferentes a largo plazo, por cuestiones no solo económicas, sino políticas de parte del Gobierno Federal de los Estados Unidos en cuanto a intereses, tecnológicos, políticos, militares, industriales y de los grupos científicos más selectos. (Palazuelos, 2000: 164)

Para Joel Mokyr (2002), la mayor parte del incremento de la productividad en el siglo XX, fue resultado del perfeccionamiento en las técnicas de producción y de los procesos de innovación: conocidos como “El sistema americano de manufactura” como una cierta habilidad por parte del capital para producir las herramientas y la maquinaria que se ajustara con la coevolución de los cambios tecnológicos, organizativos y de la especialización del trabajo, y permitir poner en práctica este desarrollo de las fuerzas productivas, es decir, un continuo crecimiento de la “base epistémica” que se presenta como el soporte tecnológico que a la postre deriva en el crecimiento económico; sin perder de vista una serie de factores que en conjunto podrían ser vistos, como el desarrollo, agotamiento y cambio del patrón tecnológico del siglo XX, su evolución, características y componentes que lo identifican.

Para poder comprender el significado de la “base epistémica”, hay que tomar en cuenta dos aspectos que son fundamentales en el análisis sobre los avances tecnológicos que podrían desencadenar en una “Tercera Revolución Industrial”, a partir de un proceso que presenta conexiones y sinergias en el transcurso del tiempo. El primero se refiere a los micro inventos, los primeros son aquellos que son resultado por un lado del desarrollo de los gastos en desarrollo e inversión a lo largo del siglo XX en donde la velocidad y la naturaleza del progreso tecnológico estaba determinado por las políticas gubernamentales por razones estratégicas, y de otro lado como resultado de desarrollos anteriores a este, es decir, los denominados inventos “híbridos” que combinan componentes que habían sido utilizados antes de 1914 en

novedosas maneras. Como los principios de utilización de la electricidad para poner en marcha diversas máquinas y la energía para el calentamiento y funcionamiento de radios, lavaplatos, ventiladores y otras aplicaciones, que consolidaron las bases para el desarrollo industrial hasta 1950 y más allá. En automóviles (el motor de combustión interno de diesel se utilizaba ya en 1914), química, energía, ingeniería industrial, procesamiento de comida, telefonía y comunicaciones inalámbricas, además de los materiales sintéticos (Steil et al, 2002: 36).

Por lo tanto se presentan como técnicas ya conocidas, que tienen resultados directos en la eficiente organización y en la búsqueda de nuevo conocimiento, y su impacto representa una gran parte del éxito económico de Estados Unidos en el período de 1914-50. Este sorprendente fenómeno perduró a lo largo del siglo hasta que estos micro inventos empezaron a operar con rendimientos decrecientes y mostrar sus efectos en la calidad de vida dominante y omnipresente del período (Steil et al, 2002; 37)

En segundo lugar, las macro invenciones en el mismo lapso de tiempo, son menores, sin embargo, la década de los cuarenta, es el principal testigo de tres espectaculares macro inventos: la energía nuclear, los antibióticos y el semiconductor. Se debe aclarar que estos tres macro inventos, en conjunto no han podido avanzar en la misma trayectoria, ya que por ejemplo la energía nuclear no pudo ser difundida de manera masiva para su utilización. Esta base epistémica sienta las bases, para la consolidación del estilo tecnológico del siglo XX, y sienta la base tecnológica y de infraestructura para el desarrollo actual —principios de siglo XXI— y la posible difusión inicial del nuevo patrón tecnológico.

El recorrido y análisis para el período de 1970 y 1990, se caracteriza por la canalización de recursos hacia la aeronáutica, que concentró alrededor de la cuarta parte de la I+D, ejecutada en las empresas manufactureras; a continuación, la maquinaria eléctrica obtuvo casi la quinta parte y la maquinaria eléctrica alrededor del 15%, lo que significa que entre las tres ramas desarrollaban alrededor del 60% de la investigación efectuada en el sector manufacturero. Si se agregan las ramas de química y automoción, cada una de las cuales recibía más del 10%, entre las cinco ramas canalizaba casi el 80% de los recursos tecnológicos disponibles en la industria manufacturera. (Palazuelos, 2000: 167).

Para Palazuelos (2000), esta situación se fue modificando conforme transcurrían las últimas décadas del siglo XX y principios del XXI cambiando el comportamiento del Estado y su papel en materia de inversión y desarrollo, disminuyendo su participación en la investigación de carácter militar-industrial, porque si bien es cierto que las inversiones de las empresas privadas representaban cantidades menores al dos por ciento para los años sesenta y setenta, el grueso de la utilización de los fondos o recursos se llevaban a cabo en las empresas, las universidades y otros centros adscritos a programas financiados por el Estado y como veremos adelante desde el punto sectorial, las ramas en donde se comienzan a canalizar los recursos se han modificado, hacia las ciencias de la información para generar y almacenar la información, la nanotecnología y la manipulación de los átomos, las ciencias cognitivas que se ocupan de las neuronas y la biotecnología que explota los genes, y las nuevas tecnologías en relación a nuevos materiales.

Aunque en la década de los ochenta la administración Reagan impulso una estrategia de rearme, manteniéndose la aportación del gobierno en torno al 45% en materia de inversión y desarrollo, en investigación militar en detrimento de las restantes actividades tecnológicas, las restricciones presupuestarias impusieron un recorte, dando lugar a la caída del esfuerzo tecnológico, al tiempo que aumentaban los desembolsos realizados por las empresas. Tendencias que se reforzaron bajo la Administración Clinton y su política tecnológica, referente a la reducción de aportaciones federales, el descenso de los recursos destinados al sector militar y con ello, una cierta merma de la privilegiada posición que ostentaban esas ramas industriales. El programa de “Tecnología y Crecimiento Económico”, presentado en 1993 por el vicepresidente Gore, afirmaba que “la tecnología estadounidense debe tomar nuevos rumbos y contribuir al desarrollo del país. La estrategia anterior basada en gasto federal hacia el Departamento de Defensa y la NASA, no es adecuada para afrontar los importantes retos actuales y del futuro. La tecnología de nuestro sector privado no puede depender permanentemente de las innovaciones del sector militar.

La estructura económica de Estados Unidos a lo largo del siglo XX, tuvo una serie de cambios que permitieron convertirse en líderes en materia tecnológica y de esta manera impulsar la productividad del trabajo y del capital. Como señalan Nelson y Wrigth (1992), de un lado, se ponía de manifiesto la superioridad que mostraba su infraestructura científico-técnica: alta calificación de los directivos, técnicos, profesionales y la mano de obra, mayor dotación de

medios y de personal investigador y mejor organización empresarial de los procesos de investigación. De otro lado quedaba patente la superioridad mostrada en la aplicación y difusión de los hallazgos científico-técnicos obtenidos. Observando el curso de los acontecimientos parece claro que la hegemonía tecnológica de Estados Unidos hunde sus raíces en este período entre guerras, sin olvidar que encontró un espaldarazo definitivo en la experimentación militar desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial; soportada por las grandes inversiones del Gobierno Federal en la actividad científico-técnica en el sector militar para difundir los avances en el conjunto de las actividades productivas, como fueron las innovaciones en las primeras décadas del siglo XX, en torno a la metalurgia, siderurgia y maquinaria conectadas directamente con la producción armamentista; para posteriormente a partir de la década de 1950 impulsar la electrónica y los plásticos, dando lugar a nuevas líneas productivas, que permitieron la fabricación de nuevos bienes de inversión y de consumo. El “estilo tecnológico” de posguerra, surgió bajo la impronta militar, así las nuevas técnicas de trabajo con metales se habían experimentado en el blindaje de los carros de combate, acorazados, navíos y aviones; las tecnologías electrónicas procedían de la detección de los sonares marinos y los radares aéreos; los nuevos motores se habían introducido en la construcción del material de transporte militar y así un largo etcétera de novedades relacionadas con la investigación del sector militar. A través del Pentágono, la NASA y otras agencias especializadas, el gobierno desembolsó más del 60% del total de los gastos de investigación, porcentaje que aún fue más elevado en la primera mitad de los años sesenta, llegando a cubrir las dos terceras partes del total. La producción corría a cargo de empresas privadas, que fabricaban el material militar mediante contratos con las agencias gubernamentales. Se forjó así un nudo de intereses comunes entre los estamentos políticos y militares, los sectores empresariales y los grupos de científicos e ingenieros que trabajaban en la investigación avanzada (Palazuelos, 2000)

En esa dirección, desde los años ochenta se ha ido configurando un nuevo patrón tecnológico en la economía mundial (Freeman y Soete, 1996, Castells, 1990, 1997; Cornoy, 1993; Howells y Word, 1993), dotando a la economía de nuevas características técnicas y organizativas. Las modificaciones productivas más significativas proceden de la introducción de las máquinas de control numérico que funcionan con dispositivos microelectrónicos, el diseño de productos a través de ordenador (computadoras), la robótica y la producción flexible que permite obtener

gamas diferentes de bienes en una misma línea de producción, superando la rigidez precedente que sólo permitía la fabricación de series estandarizadas.

La creciente interconexión que existe entre los intereses económicos, políticos y militares del Estado, las empresas y los grupos científicos más selectos, de Estados Unidos a durante el siglo XX, ha posibilitado la transición de una economía industrial mecanizada y estandarizada, hacia una economía que depende cada vez más de máquinas inteligentes articuladas con la programación de la producción, en otras palabras, la automatización y computarización de la producción.

Las observaciones anteriores toman mayor trascendencia si se considera que el paradigma de la tecnología de la información no evoluciona hacia su cierre como sistema, sino hacia su apertura como una red multifacética. Es poderoso e imponente en su desarrollo histórico; sus cualidades decisivas son su carácter integrador, complejo e interdisciplinario que combina e interconecta los conocimientos científicos de nueva generación para fines sistémicos; en medio de un contexto de creciente estímulo al desarrollo de la miniaturización de los dispositivos electrónicos e informáticos que conforman la base técnica del modelo productivo actual, lo cual ha posibilitado encauzar esfuerzos en investigaciones de los fenómenos a escala molecular, propiciando nuevos desarrollos científico-tecnológicos identificados en la actualidad con la nanociencia y la nanotecnología.

Así, el propósito del siguiente apartado es identificar la propuesta de dos agencias del gobierno estadounidense en 2001, las cuales copatrocinaron un taller titulado Tecnologías Convergentes para Mejorar el Desempeño Humano. La colaboración entre la principal instancia científica y “la voz de los negocios en el gobierno” —la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Comercio (DOC) — concentrando esfuerzos, se propone unir un conjunto de ciencias y la posibilidad de obtener nuevas tecnologías; de lo que se está hablando es plausiblemente de una nueva *revolución tecnológica capitalista* centrada en la convergencia de cuatro ejes tecnológicos, para transformar la materia viva e inerte, teniendo en cuenta el impulso, desarrollo e investigación de la manipulación de la materia, en la escala atómica y molecular como herramienta fundamental que permite la manipulación, además del control de todos los elementos de la naturaleza y la convergencia con otros campos



tecnológicos, tenemos: 1) la nanotecnología (la manipulación de los elementos), 2) la biotecnología (o manipulación de los genes), 3) las tecnologías de la información (el manejo electrónico de la información) y 4) las ciencias cognitivas (exploración y manipulación de la mente).

### **3.2.- ¿Qué es el nuevo paradigma tecnológico BANG?**

El nuevo paradigma tecnológico BANG, debe considerarse como una aproximación teórica, que permita identificar la constelación de avances tecnológicos y disciplinas científicas de principios del siglo XXI en Estados Unidos, cuyo denominador común sea la capacidad para transformar el aparato productivo de dicho país. Desde esta perspectiva la noción de paradigma tecnológico de Dosi (1984), entendido como un modelo y patrón de solución de problemas tecnológicos selectos sobre una base de principios derivados de las ciencias naturales y tecnologías específicas, desempeña un papel crucial en el presente apartado, ya que representa la propuesta teórica que permite distinguir el desarrollo interdisciplinario científico-tecnológico actual y la lógica de sucesión de patrones tecnológicos, que en cada fase de desarrollo del capitalismo abre oportunidades de expansión y crecimiento económico.

En la última década la constelación de nuevas tecnologías se identifica con el desarrollo interdisciplinario y convergencia de las disciplinas científicas y tecnológicas como: la física, química, biología molecular, ingeniería eléctrica y proteica, investigaciones microscópicas y proximales, diseño de imágenes atómicas, química computacional, biotecnología, tecnologías de la información, ciencias cognitivas, entre otras como la metrología (Roco y Bainbridge, 2002). Dicho desarrollo científico-tecnológico descansa en nuevos métodos de síntesis, nueva instrumentación, nueva caracterización, nuevas teorías y nuevos modelos para la comprensión de la naturaleza en la escala de los átomos y las moléculas, es decir, la nanociencia y la nanotecnología. La nanociencia es el estudio del fenómeno y la manipulación de la materia a escala nanométrica (0.1 a 100nm), mientras que la nanotecnología según la Fundación Nacional para la Ciencia (NFS) y la Iniciativa Nacional de la Nanotecnología (INN): es la habilidad de entender, controlar y manipular la materia a nivel de átomos y moléculas individuales, a fin, de crear materiales, dispositivos y sistemas con nuevas propiedades y funciones debido a su pequeña estructura. La definición implica utilizar los mismos principios y herramientas para

establecer una plataforma unificadora para la ciencia y la ingeniería en la nanoescala, utilizando interacciones atómicas y moleculares para desarrollar métodos de producción eficientes. (Roco y Bainbridge, 2002; Foladori, 2006)

Visualizada como una revolución científico-tecnológica, la nanotecnología representa un cambio en la producción de bienes capitalista, de tal forma que la totalidad de los conceptos de manufactura, diseño y conocimiento podrán ser modificados y transformados radicalmente. Sin embargo para comprender la situación actual de la nanotecnología, sería muy útil enfocarla desde la teoría evolucionista de la innovación, la cual plantea: que el capitalismo se encuentra en una fase de extraordinario dinamismo cuyo factor propulsor radica en las transformaciones de su base tecnológica. A partir de la década de 1970, estos cambios, se apoyaron en la revolución tecnológica de la optomicroelectrónica, la computación y el satélite, que modificaron los procesos productivos con la automatización y transformaron los medios de almacenamiento y procesamiento de información y las telecomunicaciones. Estas tecnologías posibilitaron una reorganización global de la producción capitalista, con aumentos de la productividad y las ganancias. Para Pérez (2000) no es solamente el uso de las tecnologías electro-informáticas sino también un cierto tipo de organización global-flexible de la producción asociado a esas tecnologías, lo que le confiere la denominación de paradigma tecno-económico electrónico-informacional.

En esa dirección, el proceso productivo articulado con la revolución informática —la denominada quinta revolución tecnológica por la escuela evolucionista de la innovación (Pérez, 2000)— y la difusión de las “máquinas inteligentes” para permitir la programación, automatización y computarización de la producción capitalista a finales del siglo XX, en medio de un contexto de creciente estímulo al desarrollo de la miniaturización de los dispositivos electrónicos, y el estudio de los fenómenos a escala molecular, ha conducido a nuevos desarrollos científico-tecnológicos identificados en la actualidad con la nanociencia y la nanotecnología.

De lo anterior se desprende la concepción de patrón tecnológico BANG paradigma emergente, que coexiste con el dominante tecno-económico informacional. El nuevo patrón se desarrolla y

permite resolver los problemas tecnológicos-estructurales en la lógica global-flexible del actual modelo productivo

Teniendo en cuenta que la bibliografía acerca de los avances de las tecnologías nanoescalares y de un conjunto de productos e industrias nuevas y dinámicas, es escasa, la posibilidad de una nueva revolución tecnológica sustentada en la nanotecnología a partir de la convergencia de las ciencias BANG, parecería estar en una etapa equivalente a la de la industria petrolera y del automóvil a finales del siglo XIX o a la electrónica en los años cuarenta o cincuenta del siglo XX (Pérez, 2000). Por lo tanto y ante el análisis que nos ocupa, haremos uso de los planteamientos de algunos autores —Roco y Bainbridge, 2002, Folafori *et al.* 2006— y organizaciones internacionales —grupo ETC— entre otros/as, que dan cuenta del desarrollo de la nanotecnología como la principal “herramienta” o tipo de tecnología transdisciplinaria, que supone una gran capacidad unificadora y la posibilidad por tocar cada uno de los sectores de la economía mundial y su potencial para redefinir la vida misma, teniendo en cuenta que se trata de una tecnología que involucra toda la materia.

Tradicionalmente, hemos pensado y manufacturado en la macro escala (en metros), durante los últimos cincuenta años hemos aprendido a pensar y a manufacturar objetos en la micro escala (en micrómetros o en rangos más pequeños; microelectrónica y microprocesadores). Sin embargo con entusiasmo, científicos y gobiernos nos hablan de la próxima revolución nanotecnológica. Será una revolución radical, cambiará todo, desde los materiales con los que construyen las empresas e industrias capitalistas, pasando por los procesos de producción industrial, hasta las propias capacidades humanas, que podrán ser expandidas con nanodispositivos. Se trata de un novedoso proceso de producción, caracterizado por la manipulación de, átomos y moléculas, que puede ser aplicado a prácticamente cualquier rama de la producción. La nanotecnología se presenta como la “herramienta” que opera manipulando estructuras y sus interacciones de entre los 100 nanómetros (nm) hasta el tamaño de los átomos (aproximadamente 0.2 nm). (Foladori, *et al.*, 2006:7, 11).

La nanotecnología es la manipulación directa de los átomos y moléculas para formar productos (ETC group, 2003). Esta manipulación crea sistemas funcionales con nuevas cualidades, debido a la combinación controlada de sus subunidades (Schmid *et al.*, 2003). Las propiedades de la

materia trabajada a nanoescala no son iguales a las propiedades de la misma materia en el mundo macro; esto explica que la nanotecnología no sea simple continuación de tendencias anteriores a la miniaturización o a la robotización, sino que implique el comienzo de una nueva trayectoria tecnológica, cuyo futuro es aún incierto pero promisorio.

La miniaturización encuentra sus límites cuando se emplea una determinada tecnología. La impresión de cada vez más circuitos en los chips se enfrentan, por ejemplo, al cambio de propiedades de la materia que deviene de la miniaturización, con lo cual la corriente puede debilitarse. Es necesario contar con materiales con nuevas propiedades, y la nanotecnología puede ofrecerlo, superando la antigua traba físico-técnica. A diferencia del procedimiento hasta ahora convencional de comenzar por la materia física tal como viene dada en la naturaleza, según sus estructuras propias de unión y reducirla al tamaño de los objetos de uso —proceso *top down*, la nanotecnología propone construir de lo más pequeño (átomos y moléculas) a lo más grande (producto final)— proceso *bottom up*. A esos cambios inesperados se les llama “efectos cuánticos”, al reducir el tamaño sin cambiar la sustancia, los materiales presentan nuevas propiedades como conductividad eléctrica, elasticidad, mayor resistencia, cambio de color y mayor reactividad, características que las mismas sustancias no presentan en escalas mayores (micro o macro). Por ejemplo el carbono en la forma de grafito (como en los lápices) es muy suave y maleable, pero en la escala nano puede ser más fuerte que el acero y seis veces más ligero, o el aluminio que en la escala nano presenta combustión interna y por eso podría usarse como combustible para cohetes. En relación a los cambios cuantitativos tenemos: con nanotecnología se pueden fabricar cosas “de abajo hacia arriba”. Los átomos y las moléculas son los ladrillos de todo, desde un automóvil hasta un edificio. Al usar nanotecnología para fabricar “desde abajo” y evitar el procesamiento de materias primas, la cantidad requerida de éstas se puede reducir drásticamente. Y por cambios cualitativos se plantea: la fusión entre la materia viva y la no viva en la nanoescala, junto con el ensamblaje desde el nivel nanoscópico implica que haya nuevas plataformas de manufactura industrial que podrían ocasionar que la geografía, las materias primas tradicionales e incluso la fuerza de trabajo se volvieran irrelevantes. (ETC Group, 2005)

Otra característica distintiva de la nanotecnología deriva del nivel atómico y molecular en que trabaja. A ese nivel no hay diferencia entre la materia biótica y la abiótica, de manera que

resulta potencialmente posible aplicar procedimientos biológicos a los procesos materiales, o interferir con materiales en los cuerpos vivos, adaptando estos últimos a determinados fines u ofreciendo ventajas particulares, o también crear vida artificial para desempeñar funciones específicas.

Así con tales frentes de acción, se viene abriendo la posibilidad de que los procesos de producción de insumos y bienes agrícolas y manufacturados; los métodos de diagnóstico y tratamiento médico; los problemas medioambientales y las limitaciones bioquímicas de los ecosistemas, los asuntos relacionados a la industrial militar, la guerra y la seguridad nacional, o la producción de energía limpia y los patrones de uso y consumo tanto de energía como de materiales puedan ser modificados o incluso revolucionados por la nanotecnología (Foladori, et al, 2006: 15) a partir, de dos mecanismos principales de producción de materiales (que pueden ser de una dimensión, una superficie muy delgada, de dos dimensiones, como nanotubos o nanocables, o de tres dimensiones como nanopartículas). Estos varían según la perspectiva de aproximación empleada ya sea la denominada *top down* o *bottom up*; la primera alude a la producción de pequeñas estructuras a partir de grandes porciones de material (lógica de miniaturización), de ahí que se le califique como “tecnología de producción a granel” o *nanoescale bulk technology* (caso de ciertos nanotubos de carbono); la segunda se refiere a la construcción de estructuras átomo por átomo y molécula por molécula también denominada como *molecular nanotechnology* o ingeniería de nanoescala (nanorrotadores, nanomotores, etc.).

Lo anterior alude a la disciplina científica que busca incrementar nuestro conocimiento y comprensión de los fenómenos nanoescalares, para diversos usos tanto civiles como militares. Teniendo en cuenta el acelerado crecimiento de las inversiones públicas y privadas en nanociencia y en nanotecnología y de los empujes del mercado de nanoproducidos, será rápido. Se pronostica que en solo cinco años el 15% de todas las mercancías comercializadas tengan componentes o sean directamente producidas con nanotecnologías. Se habla de un mercado de nanoproducidos que alcanzará un trillón de dólares en 2011.

Como indica la Royal Society (2004), se trata del desarrollo del conjunto de fuerzas productivas, producto de una sinergia de factores económico-políticos, morales-culturales, científico-tecnológicos, etc. De lo que se está hablando es plausiblemente de una nueva

revolución tecnológica capitalista centrada en la convergencia de cuatro ejes tecnológicos, para transformar la materia viva e inerte, teniendo en cuenta el impulso, desarrollo e investigación de la manipulación de la materia, en la escala atómica y molecular como herramienta fundamental que permite la manipulación, además del control de todos los elementos de la naturaleza y la convergencia con otros campos tecnológicos, tenemos: la nanotecnología (la manipulación de los elementos), la biotecnología (o manipulación de los genes), las tecnologías de la información (el manejo electrónico de la información) y las ciencias cognitivas (exploración y manipulación de la mente).

Hay muchas maneras de describir la manera en que convergirán estas tecnologías. El grupo ETC (2003) usa el término "**BANG**" para describir la estrategia de la convergencia. Bits, Átomos, Neuronas y Genes, conforman lo que llaman la "teoría del *little BANG*" jugando con el nombre de la teoría del "*Big Bang*", el delirio tecnológico de controlar toda la materia, la vida y el conocimiento; Bill Joy, el investigador en jefe de *Sun Microsystems*, ha escrito provocadoramente de las implicaciones de GNR genética, nanotecnología y robótica; otros apuntan a la combinación GRIAN (por sus siglas en inglés): genética, robótica, inteligencia artificial y nanotecnología. El gobierno estadounidense favorece la NBIC, (por sus siglas en inglés, nano, bio, info, cogno), a partir de una agenda de investigación, la fundación nacional para la ciencia en Estados Unidos (National Science Foundation) a partir, del proyecto: Improving Human Performance, Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive Science, en el año 2002, concentrando esfuerzos, se propone unir un conjunto de ciencias y la posibilidad de obtener nuevas tecnologías, basado en la unidad de la naturaleza (átomos y moléculas) es decir, nanotecnología, biotecnología, informática y ciencia cognitiva. Sean cuales sean las siglas, el punto crítico de las tecnologías convergentes es que todas se juntan en la inmensidad de lo mínimo<sup>54</sup>.

Para el caso de Estados Unidos, la agenda de investigación y desarrollo sugiere estar definida, en gran medida, por una élite de actores provenientes de las diversas comunidades involucradas y que, por distintas razones, buscan el desarrollo de campos particulares de la

---

<sup>54</sup> De los Genomas a los Átomos, La inmensidad de lo mínimo; Tecnología atómica: tecnologías que convergen en la nano escala, ETC Group, Enero de 2003, disponible en: <http://www.etcgroup.org/upload/publication/170/01/atomtec1.pdf> (consultado el 1 de abril de 2008)

ciencia y la tecnología que en el futuro bien podrían “converger“ o no, como producto del avance de lo que en realidad es un mismo conjunto de fuerzas productivas que el sistema capitalista de producción (los capitalistas) busca desarrollar y que por tanto, estimula para animar y preservar la acumulación de riqueza puesto que tal es la principal finalidad del sistema actual de producción. Este es el caso de las “tecnologías convergentes“, es decir, la combinación y sinergia de cuatro provincias centrales (nano-bio-info-cogno) de la ciencia y la tecnología que actualmente están progresando a un rápido ritmo: a) nanociencia y nanotecnología; b) biotecnología y biomedicina, incluyendo la ingeniería genética; c) tecnología de la información, incluyendo el desarrollo de la computación avanzada y comunicaciones; y d) ciencias cognitivas incluyendo neurociencia cognitiva.

Lo mencionado anteriormente se presenta como la propuesta estadounidense, la cual viene arropada de un propósito, cuando menos, altamente controversial (y en cierta medida irresponsable), es decir, “el mejoramiento del rendimiento o funciones humanas a través de la integración de las tecnologías“, (Roco y Bainbridge, 2002), la propuesta agrega que entre lo que se podría obtener estaría la eficiencia del trabajo y aprendizaje, el mejoramiento de las capacidades individuales sensoriales y cognitivas, cambios revolucionarios en el tratamiento médico, mejoramiento de la creatividad individual y colectiva, el desarrollo de técnicas de comunicación altamente efectivas incluyendo la interacción cerebro-cerebro, el perfeccionamiento de la interacción hombre-máquina incluyendo la ingeniería neuromórfica, el desarrollo de ambientes sustentables e “inteligentes“ incluyendo la neuroergonomía, el mejoramiento de las capacidades humanas, para propósitos de defensa (militares), el alcance del desarrollo sostenido del uso de herramientas NBIC y la disminución de la declinación física y cognitiva humana relacionada al envejecimiento de la mente.

De acuerdo con el informe de la Fundación Nacional para la ciencia, Estados Unidos, 2001<sup>55</sup>, a continuación, se presentan los objetivos, del proyecto NBIC para el mejoramiento del desempeño humano de acuerdo con el reporte de Roco y Bainbrige (2002):

---

<sup>55</sup> Cuando converjan las tecnologías nanoescalares, los cambios en la vida como la vivimos serán dramáticos y personales. En diciembre de 2001, dos agencias del gobierno estadounidense copatrocinaron un taller titulado Tecnologías Convergentes para Mejorar el Desempeño Humano. La colaboración entre la principal instancia científica y “la voz de los negocios en el gobierno” —la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Comercio (DOC)— tuvo por resultado, no es una sorpresa, un plan de comercialización para estas nuevas

Desarrollos en cuestiones relacionadas con “nuevas formas” de abordar sistemas matemáticos y computacionales en conjunto con NBIC, permite entender el mundo natural, la sociedad humana y la investigación científica como sistemas cercanos y entrelazados unos con otros. La propuesta además no solo confiere importancia a la evolución y avance en materia técnica-tecnológica, sino además se busca la mejoría del desempeño humano a través de esta integración de las tecnologías, ejemplos de buenos resultados pueden incluirse en mejoras de eficiencia de trabajo y de aprendizaje, mejorando capacidades individuales sensoriales y cognitivas, cambios revolucionarios en sistema de salud, capacidades individuales sensoriales y cognitivas, procesos de manufactura fundamentalmente nuevos, productos mejorados, cambios revolucionarios en cuidados de salud, la mejora de eficacia del individuo y el grupo, técnicas comunicativas altamente efectivas incluyendo interacción cerebro-cerebro, perfeccionando interfaces entre humano y máquina, incluyendo ingeniería neuromórfica, para uso industrial y personal mejorando capacidades humanas para defender propósitos alcanzando desarrollo sostenible, usando herramientas NBIC, y aliviando el decline físico y cognitivo que es común dentro de la mente y paso del tiempo es decir, alentando el proceso de envejecimiento de la mente.

Estamos en la entrada de un nuevo renacimiento en la ciencia y en la tecnología basado en un entendimiento comprensivo de la estructura y el comportamiento de la materia en la escala nano, y los avances en la comprensión del sistema más complejo hasta ahora conocido, o sea, el cerebro humano. Unificar la ciencia basada en la unidad más pequeña de estudio y la naturaleza en su investigación holística se presenta como la posibilidad de la convergencia tecnológica y una estructura social más eficiente para alcanzar metas humanas en las primeras décadas del siglo XXI.

---

tecnologías. Los participantes al taller —del gobierno, la academia y el sector privado— buscaban formas en que las tecnologías convergentes —específicamente la nanotecnología, la biotecnología, la informática y las ciencias cognitivas (convergencia cuya sigla —NBIC— es ya de uso frecuente) pudieran “mejorar” las capacidades físicas y cognitivas de los humanos, a nivel individual y colectivamente. En otras palabras, la cuestión más importante durante el taller, según uno de los participantes, fue cómo las tecnologías convergentes “podían hacernos más sanos, más ricos y más inteligentes”. (ETC Group, 2003: 37)  
Disponible en <http://www.etcgroup.org/upload/publication/170/01/atomtec1.pdf> (consultado el 8 de junio de 2008)



Este patrón tecnológico, está basado en investigación exploratoria ya iniciada en organizaciones representativas de investigación y en las opiniones de científicos e ingenieros líderes usando datos de investigación, es decir, una serie de desarrollos emergentes y la evolución en los posteriores diez a veinte años, en el plano productivo y social, teniendo en cuenta que estos temas fueron abordados del 2 al 4 de diciembre del 2001 en el taller de tecnologías convergentes para mejorar desempeño humano y en contribuciones sometidas después de esa junta para este reporte

La ciencias han alcanzado un punto nuevo en el cual se deben combinar para alcanzar lo más rápidamente “el nuevo renacimiento”, el cual debe ser basado en un punto de vista holístico de ciencia y tecnología que tiene como nuevas posibilidades tecnológicas y puede brindar resultados por las siguientes dos décadas en base a cuatro principios claves que son los siguientes:

- La tecnología puede tomar las riendas de procesos naturales para crear nuevas materias, productos biológicos y máquinas de las escala nano hasta la escala de metros, los mismos principios nos permitirán entender y cuando es deseable controlar el comportamiento sistemas complejos como neuronas y componentes de computadoras y microsistemas como el metabolismo humano y la transportación vehicular.
- Herramientas NBIC transformadoras. Avances revolucionarios en las interfases entre campos anteriormente separados de ciencia y tecnología para crear herramientas transformadoras NBIC claves incluyendo instrumentos científicos, metodologías analíticas y sistemas de materiales radicalmente nuevos.
- Sistemas jerárquicos. Desarrollos en maneras de abordar sistemas matemáticos y de computación en conjunto con trabajo en áreas de NBIC nos permiten por primera vez comprender el mundo natural y cognición en temas de sistemas complejos jerárquicos aplicado a problemas de investigación particulares y a la organización general de la empresa investigadora, este manera de abordar los sistemas complejos provee conciencia holística de oportunidades para integración en orden, para obtener la sinergia máxima en las direcciones principales del progreso.

- Mejoría del desempeño humano. En este momento único de la historia del éxito técnico, la mejora del desempeño humano se convierte en una posibilidad, en un contexto histórico de conflictos sociales, políticos y económicos; el mundo titubea entre optimismo y pesimismo, la convergencia NBIC nos puede dar los medios para lidiar exitosamente con estas metas, engrandeciendo las habilidades humanas mentales, físicas y sociales, generando un mejor entendimiento del cuerpo humano, además de un continuo desarrollo de las herramientas para la interacción directa entre humano y maquina, lo cual ha abierto por completo nuevas oportunidades en términos de avances humanos individuales y colectivos.

EL reporte de Roco y Bainbridge (2002) sobre NBIC subraya algunas implicaciones de las tecnologías convergentes en áreas claves de actividad humana:

—Productividad social en términos de bienestar, así como de crecimiento económico

—Seguridad de desastres naturales y generados por humanos

—Desempeño y comunicación individual y de grupo

—Aprendizaje de por vida, una vida sana y madurar con gracia

—Desarrollos tecnológicos coherentes y su integración con actividades humanas

—Evolución humana incluyendo evolución individual y cultural

El descubrimiento científico necesita por lo menos 10 años para ser implementado en nuevas tecnologías, industrias y maneras de vida, si queremos los grandes beneficios de convergentes de NBIC durante nuestras vidas esta es la hora de empezar, el impacto de tecnología que avanza en la calidad actual de vida, como el programa de desarrollo de la ONU 2001 será acelerada por NBIC y nuevas posibilidades para el desempeño humano serán utilizadas.

Para el grupo ETC (2003), la visión y misión conformada a partir del proyecto estadounidense en relación a la convergencia de las ciencias para el mejoramiento del desempeño humano, tiene que ver, no solo con la promesa de aumentar las capacidades humanas y las científicas-tecnológicas para el desarrollo de las economías y el beneficio de la reproducción social; a partir de un cambio en la manera de adecuar, modificar y transformar las naturaleza, para organizar de una forma diferente los procesos productivos, generando un beneficio para quien o quienes cuentan con los medios necesarios para lograr lo antes mencionado. La preocupación en términos sociales, tienen que ver, con los posibles resultados generados por el impulso y difusión inicial del nuevo patrón tecnológico en cuestión, teniendo en cuenta que la sociedad se organiza a partir del sistema capitalista de producción, a partir de un modo particular de relaciones entre sujetos sociales, y de estas con la naturaleza; relaciones de subordinación entre los poseedores de los medios de producción y los poseedores de su capacidad de trabajo, de aquellas personas que cuenten con los medios para acceder al mejoramiento de sus capacidades humanas y aquellos rezagados de los posibles beneficios de éstas modificaciones. De la mayor concentración y centralización de capital generada por una sinergia entre unas cuantas universidades, empresas y dependencias del sector público, desarrollan innovaciones tecnológicas y posteriormente patentan para contar con una herramienta legal que les permita monopolizar las aplicaciones generadas y los beneficios resultantes. De tal manera que la pretensión es, perpetuar las formas capitalistas de acumulación de las ganancias, generando, estructuras laborales cada vez mas tecnificadas, con un número menor de obreros que participan en el proceso productivo, dando paso a un mayor desempleo, y una calificación por parte del obrero cada vez más especializada. Por ende cabe preguntarnos a partir de lo antes mencionado: ¿Quiénes controlarán los procesos de la nueva tecnología y los productos generados por esta?, ¿Qué otras implicaciones socio-económicas, ambientales o de salud, traerá aparejado este proceso?

El grupo ETC (2003) centra su análisis, a partir de lo que denominan como “tecnología atómica“, o sea, un espectro de nuevas tecnologías que operan en la nanoescala o por debajo, es decir, manipulando moléculas, átomos y partículas subatómicas con el fin de crear nuevos productos. Al haber adoptado el término *nanotecnología*, la industria parece decirnos que la manipulación de la materia se detendrá en el nivel de los átomos y moléculas medidos en nanómetros. Sin embargo, sería ingenuo asumir que la nanoescala es la última frontera. El

término *tecnología atómica* describe mejor aquellas tecnologías que intentan manipular los ladrillos fundamentales de la materia. De igual manera la pretensión es comprender las características de un enfoque transdisciplinario resultante de la propuesta del “nuevo patrón tecnológico” que actualmente están desarrollando y difundiendo algunas empresas de punta, sin embargo la definición propuesta respecto a la “tecnología atómica” pretende ser menos ambigua, que el término nanotecnología, que unas veces se refiere a tecnología aplicada, otras veces a la manufactura molecular, aunque por lo general se refiere a la ingeniería mecánica a la escala molecular

Visualizada como una revolución científica-tecnológica, la nanotecnología representa un cambio en la producción de bienes capitalista, de tal forma que la totalidad de los conceptos de manufactura, diseño y conocimiento podrán ser modificados y transformados radicalmente.

Representa la posibilidad de que la materia estructurada artificialmente reaccione de manera inteligente frente al entorno, con lo cual, se objetivan funciones que antes desempeñaba la mente de los sujetos sociales o la propia naturaleza, en otras palabras, un proceso de objetivación de la naturaleza y del trabajo totalmente nuevo en la historia de la sociedad y del capitalismo.

El siguiente apartado aborda la manipulación de la materia a escala atómica y molecular, así como las nuevas cualidades y propiedades de la materia trabajada a nanoescala. A diferencia del procedimiento hasta ahora convencional de comenzar por la materia física tal como viene dada en la naturaleza, según sus estructuras propias de unión y reducirla al tamaño de los objetos de uso —proceso *top down*, la nanotecnología propone construir de lo más pequeño (átomos y moléculas) a lo más grande (producto final)— proceso *botton up*. A esos cambios inesperados se les llama “efectos cuánticos”, al reducir el tamaño sin cambiar la sustancia, los materiales presentan nuevas propiedades como conductividad eléctrica, elasticidad, mayor resistencia, cambio de color y mayor reactividad, características que las mismas sustancias no presentan en escalas mayores (micro o macro), Por lo tanto, desempeña un papel crucial, ya que la sucesión de patrones tecnológicos en cada fase de desarrollo del capitalismo abre oportunidades de expansión y crecimiento económico.

A continuación se examinan cuatro “saltos a lo mínimo”, un esfuerzo cualitativo realizado por el Grupo ETC (2003), relacionado al espectro de las tecnologías que conforman el nuevo patrón tecnológico y que permiten la difusión inicial del mismo; no son necesariamente secuenciales, no son mutuamente excluyentes y el advenimiento de cada nuevo paso tampoco anuncia el abandono del peldaño previo. Los pasos dos, tres y cuatro contribuyen todos a la convergencia de las tecnologías nanoescalares con la biotecnología, la informática y las neurociencias.

### **3.3.- “Cuatro saltos a lo mínimo”.**

*Paso uno: lo nano a lo granel: la producción de nanopartículas.*

El *paso uno* da cuenta de la mayoría de los productos asociados con la tecnología atómica de hoy. Implica la producción de partículas nanométricas (elementos puros, preparados simples y compuestos utilizados en la producción a granel de aerosoles, polvos y recubrimientos). El *paso uno* incluye también las herramientas necesarias para producir y manipular materiales nanométricos. Veeco, una compañía con sede en Nueva York, es especialmente notable en el campo de herramientas y equipo. Después de adquirir a tres de los fabricantes de microscopios de fuerza atómica (MFA o AFM, por sus siglas en inglés) y propiedad intelectual clave, Veeco domina el mercado mundial de MFA, se dice que controla el 89% del mercado global. Las proyecciones indican que el mercado de microscopios de fuerza atómica crecerá de 181 millones de dólares a 800 millones de dólares para el año 2007

Se estima que en la actualidad existen unas 140 compañías a nivel mundial que producen nano partículas. Las proyecciones indican que el mercado mundial de nano partículas crecerá 13 por ciento por año, llegando a exceder los 900 millones de dólares hacia el año 2005. Hoy, las nano partículas se usan en la manufactura de anteojos que no se rayan, pinturas resistentes al craquelado, recubrimientos anti *graffiti* para muros, filtros solares transparentes, telas repelentes a las manchas, ventanas que se limpian solas y recubrimientos de cerámica, más aguantadores, para celdas solares. Las partículas nanométricas pueden ayudar a producir superficies y sistemas más resistentes, más ligeros, más limpios y más “inteligentes”.

El *paso uno* incluye la manufactura de moléculas de carbono puro conocidas como nano tubos y *buckyballs*. Los nano tubos y las *buckyballs* pertenecen a la misma familia química de los fullerenos. Pero cuando la gente se refiere a los fullerenos, hablan comúnmente de las *buckyballs*. El descubrimiento de los nano tubos y las *buckyballs* es importante porque estas moléculas tienen propiedades únicas con enormes aplicaciones comerciales. Los nano tubos son cien veces más resistentes que el acero pero seis veces más ligeros; conducen mejor la electricidad que el cobre y pueden actuar también como semi conductores. Algunos predicen que los transistores nanoescalares de carbono reemplazarán a los transistores de silicio en los próximos diez años. Para que esto suceda, la industria debe ser capaz de refinar las técnicas de manufactura de los nano tubos, de modo de producirlos uniformes a bajo costo.

Ambos, las *buckyballs* (apodo de los fullerenos) y los nano tubos, son moléculas formadas únicamente por átomos de carbono. Las *buckyballs* son una de las tres formas cristalinas del carbono: el grafito y el diamante son las otras dos. Las *buckyballs* (contracción del término buckminsterfullerenos) son esferas perfectas, conformadas por sesenta átomos de carbono dispuestos como los pentágonos y hexágonos de una pelota de soccer. Los nano tubos son un miembro de la familia química de los fullerenos, pero por supuesto no son esféricos.

.

Como lo sugiere su nombre, los nano tubos son largos y delgados y tienen la forma de un tubo. Pueden estar huecos como un popote (se les llama nano tubos de una sola pared) o estar enrollados uno en otro como los carteles que se guardan en un tubo de transportación postal (son los nano tubos de paredes múltiples). Mucha gente insiste en que los nano tubos son el “material milagroso” de la tecnología atómica porque exhiben características que los tornan ideales para un impresionante espectro de aplicaciones, de la manufactura de naves espaciales y automóviles a la electrónica incluidos los transistores y las celdas de combustible e incluso bio sensores y dispositivos para suministrar medicamentos. Los nano tubos son 100 veces más resistentes que el acero y seis veces más ligeros; pueden ser tan delgados como para medir un nm de diámetro y tan largos que midan 100 mil nm.

.

Dependiendo de la configuración, los nano tubos pueden ser buenos conductores de electricidad o actuar como semi conductores en la electrónica molecular. Ambos tipos de moléculas de carbono se auto ensamblan, es decir, dadas las condiciones correctas, se forman

por sí mismas mostrando su configuración distintiva. Existen varios diferentes métodos para hacer nano tubos y *buckyballs* . Casi todos los métodos parten de una forma común del carbono (el grafito) y una pequeña cantidad de metal (usado como catalizador) Cuando el grafito y el metal se calientan a temperaturas extremas (en uno de los métodos ésta es de unos 1 200 grados Celsius) el carbono se desdobra en átomos individuales. Cuando los átomos de carbono se condensan, se configuran solos como nano tubos o esferas.

*Paso dos: nano fabricación: construir con viruta atómica.*

Como lo vimos en el *paso uno*, los nano tecnólogos son ya capaces de manufacturar partículas nanométricas y de instrumentar el fenómeno del **auto ensamblaje** para hacer nano tubos. El auto ensamblaje es indispensable para transitar de la manufactura de partículas con propiedades útiles (*paso uno*) a complejas y útiles estructuras conformadas por múltiples moléculas (*paso dos*). El término *auto ensamblaje* se refiere al proceso que involucra el uso de catalizadores y energía para ejercer un control cuidadoso de las reacciones químicas, logrando así los resultados esperados, de forma espontánea. Los científicos han observado el auto ensamblaje químico, con resultados en la micro escala, por décadas (y por muchos más años en la escala del matraz); hoy buscan resultados en el nivel nanoescalar (ETC Group 2003: 29).

El propósito del *paso dos* es manipular y ensamblar partículas nanométricas para formar construcciones supra moleculares e incluso estructuras mayores de uso práctico. Esto se conoce como nano fabricación, e implica idear ladrillos de construcción moleculares que automáticamente embonen unos con otros según formas prediseñadas. Es importante enfatizar que la nano fabricación no es construir sillas o casas o computadoras mediante un auto ensamblado molecular. El fin último del *paso dos*, la nano fabricación, permanece aún en el ámbito invisible nanoescalar *menor a 100 nanómetros*.

.

Idear la manera de construir estructuras funcionales a partir de viruta atómica y molecular se encuentra todavía en sus etapas iniciales. Se están desarrollando productos de la nano fabricación para usarse en circuitos electrónicos, bio sensores o nuevos **polímeros** que manipulen la luz en los sistemas ópticos de comunicación. El anhelo de construir dispositivos

electrónicos cada vez más pequeños, más rápidos y más baratos, empuja la tarea del nivel micro al nanométrico.

*Paso tres: manufactura molecular: Goliats invisibles*

Muchas personas creen que algún día los científicos serán capaces de controlar de manera tan total y precisa el posicionamiento de los átomos, que cualquier objeto del que se conozca su composición atómica, podrá ensamblarse a partir de sus componentes primarios (desde estantes a edificios). El arte de la construcción en la macro escala, átomo por átomo, se conoce como **manufactura molecular** o **nanotecnología molecular**. La dificultad estriba en dirigir los átomos de modo que se ensamblen solos de acuerdo a la configuración planeada y que esto se ejecute lo suficientemente rápido como para poder ir por el pavo y ponerlo en la mesa justo a tiempo para alimentar a los tatarata nietos. Hoy se debaten acaloradamente los alcances de la manufactura molecular (ETC Group 2003: 30).

Aunque los *pasos uno* y *dos* son hoy una realidad, el *paso tres* está en la fase conceptual. Mientras muchos científicos importantes aseguran que el *paso tres* nunca llegará, hay otros que creen fervientemente que algún día “en nuestra vida y la vida de nuestros hijos” será posible programar la materia, con precisión molecular, al nivel de la macro escala.

Más allá de la simple incorporación de nano partículas a los materiales convencionales para mejorar su desempeño (*paso uno*), algunos científicos buscan diseñar-construir objetos macrométricos formados únicamente por componentes nanoescalares, procediendo en forma *ascendente*. Objetos así podrían tener propiedades completamente nuevas, nunca antes identificadas en la naturaleza. Si un ladrillo de cerámica o una parte metálica, por ejemplo, se construyeran por completo partiendo de nano partículas, el área superficial aumentaría en forma dramática porque mientras más pequeño es un objeto, mayor sería la proporción de sus átomos que están en, o cerca de, la superficie. Aunque la composición química se mantuviera igual y únicamente el tamaño de las partes cambiara, el aumento en el área superficial significaría que el ladrillo o pieza de metal nano construido sería más duro, menos propenso a rayarse y más resistente a los extremos (de presión, temperatura, luz, etcétera).



Fue K. Eric Drexler, en *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* (1990), el primero en elaborar la visión real del *paso tres*: fabricar casas o automóviles completos mediante una construcción, átomo por átomo, es un salto colosal que trasciende la mera incorporación de componentes nanoestructurados a la manufactura convencional de un auto o una casa. En la visión de Drexler, un transistor nano tubular de una computadora no será un elemento nano fabricado que se incluya en una computadora construida de otras maneras, algo implícito en el *paso dos*. En cambio, todo el artefacto, la pantalla, los circuitos, el teclado, el disco y hasta la caja de cartón se fabricarían como una unidad, átomo por átomo (Foladori, et al, 2006).

A la tecnología atómica de *paso tres* Drexler la llama *nanotecnología molecular*, aunque algunas veces se refiere a ella como *manufactura molecular* y otras le llama *nanotecnología en fase de maquinaria*. Por difícil que sea imaginarlo, según Drexler cualquier objeto "computadoras, motores de cohetes, sillas, y más" podrían fabricarse programando las moléculas adecuadas para ensamblar las configuraciones precisas.

La palabra clave es "ensamblador molecular" los cuales son "aparatos capaces de guiar reacciones químicas al posicionar las moléculas reactivas con precisión atómica" (Drexler, 2003b). No son moléculas específicas ni individuales. Se describen como ensambladores universales, para todos los propósitos, que pueden ensamblar todo tipo de materiales de la misma manera en que los ribosomas pueden ensamblar todo tipo de proteínas.

Sabemos que Drexler conformó su programa de manufactura molecular mientras estuvo afiliado como investigador en el actual laboratorio de sistemas espaciales del MIT, que en ese entonces era el laboratorio de inteligencia artificial, bajo el patrocinio de Marvin Minsky. Es por ello bastante probable que este programa recibiera una influencia de los conceptos de cibernética. En su visión la ingeniería y la tecnología consisten básicamente en la manufactura que conlleva a la visión de una producción masiva que transformará la sociedad (visión artificialista de los sistemas biológicos a partir de los ensambladores universales).

Drexler basó su plan de manera explícita en una comparación detallada entre los componentes bioquímicos y las unidades de operación de las máquinas macroscópicas, como se muestra en su artículo de 1981 (Foladori et al 2006: 90):

**Cuadro 6: Comparación de los componentes macroscópicos y microscópicos**

Tecnología	Función	Ejemplos moleculares
Puntales, vigas, abrazaderas	Transmiten fuerza, conservan posiciones	Microtúbulos, celulosa, estructuras minerales
Cables	Transmiten tensión	Colágeno
Cierres, pegamento	Conectan partes	Fuerzas intermoleculares
Selenoides, actuantes	Mueven cosas	Conformación y cambio de proteínas, actina/miosina
Motores	Hacen girar ejes	Motor de flagelos
Ejes de dirección	Transmiten rotación	Flagelos bacteriales
Abrazaderas	Soportan partes que se mueven	Ligas de sigma
Contenedores	Conservan fluidos	Vesículas
Tuberías	Conducen fluidos	Diversas estructuras tubulares
Bombas	Mueven fluidos	Flagelos, proteínas de membrana
Bandas sinfín	Mueven componentes	ARN movido por ribosoma fijo (análogo parcial)
Prensas	Sostienen piezas de trabajo	Sitios de vínculo enzimático
Herramientas	Modifican piezas de trabajo	Complejos metálicos, grupos funcionales
Líneas de producción	Construyen aparatos	Sistemas de enzimas, ribosomas
Sistemas de control numérico	Almacenan y leen programas	Sistema genético

Fuente: Drexler, 1981.

En un escenario planteado por el *paso tres*, un ingeniero en tecnología atómica se sienta frente a la pantalla de una computadora conectada a un microscopio de fuerza atómica “mejorado”, con el fin de programar que módulos de nano robots se reconfiguren solos para construir el mobiliario de una sala de estar a partir de sus átomos. En otro escenario del *paso tres* vemos a un adolescente hambriento que busca en la red eléctrica la forma de cargar en su computadora los planos de una hamburguesa. Después introduce una hoja con la apariencia del plástico en la nano ensambladora familiar y saca una hamburguesa real, lista para comer. ¿Podrán ser una realidad estos escenarios? ¿Cómo?: Drexler predice que el trabajo en la construcción, átomo por átomo, será ejecutada por robots nanoescalares dirigidos por computadora a los que llama ensambladores, pequeños Henry Fords que laboran en fábricas del tamaño de las células. Las fábricas contendrán nano maquinaria montada en espacios moleculares, con bandas transportadoras que movilizan las partes de máquina a máquina (ETC Group 2003: 30, 31).

En las últimas décadas, la metáfora de la máquina ha invadido el lenguaje de los biólogos, al mismo tiempo en la química y en la ciencia de materiales, las metáforas de la máquina también se han tornado prominentes. Un objetivo primordial de los programas de nanotecnología es construir nanomáquinas que realicen un mejor trabajo que las máquinas convencionales. Mientras buscan diseñar materiales funcionales, los físicos químicos redefinen ágilmente el producto que diseñan como máquinas: moléculas de arado, moléculas de soporte, resortes e interruptores son especímenes de los inventos comúnmente reportados en las publicaciones de materiales (Foladori *et al* 2006: 86, 87).

De tal modo, los lenguajes de la biología molecular y de la ciencia de materiales convergen de manera notable en un flujo de metáforas de la máquina. Por medio de un proceso continuo de transferencia mutua de conceptos e imágenes, han construido un paradigma común basado en una visión artificial de naturaleza. La naturaleza está poblada con nanomáquinas que la tecnología humana debería ser capaz de imitar e incluso superar.

#### *Paso cuatro: nanotecnología biónica*

Es en este paso donde las tecnologías atómicas fusionan materiales biológicos y no biológicos para crear procesos y productos biónicos. Esta compactación podría “mezclar” personas con

robots. Desde los sesenta del siglo XX, la ciencia y la cultura popular han llamado a tales creaciones *cyborgs* (es decir, *organismos cibernéticos* o *ciber organismos*).

El físico teórico Stephen Hawking observa con tristeza que fusionar personas con máquinas tal vez sea la única manera en que la raza humana pueda ser lo suficientemente inteligente como para evitar que las máquinas se apoderen de nosotros.<sup>56</sup>

Una persona amputada, con una pierna protésica, y los pacientes cardíacos con marca-pasos implantados en el tórax, activados por baterías, podrían considerarse la primera generación de *cyborgs*, pero a quienes fusionan máquinas y humanos la tecnología atómica les permitirá caminos que nunca antes habían sido posibles. El *paso cuatro* tendrá como efecto manipulaciones nanoescalares que permitirán que los materiales nanométricos inertes y la materia viva sean compatibles y en algunos casos intercambiables.

Recordemos que en el nivel de la nano escala se borra mucho la distinción entre un material biológico y uno no biológico.

El ámbito nanométrico de lo vivo y lo inerte se fusionará en un camino de dos vías:

El material vivo será extraído y manipulado de modo que ejecute funciones mecánicas y permita el desarrollo de materiales híbridos que combinen materiales biológicos y no biológicos (proceso al que nombramos (*Bio-nano I*). El material biológico es cuantioso, barato y exhibe propiedades útiles —tales como el auto ensamblaje— que el material no biológico no presenta. Ejemplos del proceso *Bio-nao I*, tenemos que

:

Los investigadores están logrando que materiales nanométricos derivados de las células, funcionen como máquinas o se pongan al servicio de éstas. Un equipo de investigadores de Rice University indagan la F-actina, una proteína semejante a una fibra delgada y larga, que proporciona a la célula su apoyo estructural y controla su forma y movimiento. Proteínas como la F-actina, son conocidas como proteínas filamentosas y permiten la transportación de

---

<sup>56</sup> Véase la conferencia de Hawking, "Life in the Universe", disponible en la red electrónica: [www.hawking.org.uk/lectures/life.html](http://www.hawking.org.uk/lectures/life.html) (consultado el 15 de octubre de 2008)

electricidad en toda su longitud. Los investigadores esperan que algún día estas proteínas puedan usarse como biosensores.

Un químico de New York University considera la posibilidad de utilizar la capacidad de auto ensamblaje del ADN para crear circuitos. La bio electrónica puede abrir un camino hacia la creación de computadoras ultra pequeñas y ultra rápidas (ETC Group 2003: 36). El lema de NanoFrames, una compañía auto denominada “biotecnológica”, con sede en Boston, es *aprovechar la naturaleza para transformar la materia*. Un lema así es también una descripción concisa de cómo funciona el proceso *Bio-nano I*. NanoFrames utiliza “sub unidades” de proteína (derivadas de los filamentos de la cola de un virus llamado Bacteriófago T4) para que sirvan como bloques de construcción”.

Estas sub unidades se unen unas con otras, o con otros materiales, mediante auto ensamblaje, produciendo estructuras mayores. Según lo explica el sitio electrónico de la compañía ([www.nanoframes.com](http://www.nanoframes.com)), el diseño de las subunidades determina la estructura final y no requiere la manipulación adicional de moléculas individuales. Nano- Frames llama a su método de manufactura “carpintería bio mimética”, pero dicho término, pese a ser sorprendentemente figurativo, se queda corto. Usar proteínas a modo de ladrillos, y aprovechar su capacidad de auto ensamblaje, es más que meramente imitar el ámbito biológico (*mimesis* es una palabra griega que significa imitación). Es algo más que voltear hacia la biología para inspirarnos: es transformar la biología en una fuerza de trabajo industrial.

Utilizando diferentes tecnologías, el material inerte puede usarse dentro de organismos vivos para ejecutar funciones biológicas (a este proceso le nombramos (*Bio-nano II*). Para contar con idea de esto, tenemos lo siguiente: El investigador Robert Freitas ha estado desarrollando un glóbulo rojo capaz de distribuir 236 veces más oxígeno a los tejidos que un glóbulo rojo natural.<sup>57</sup> Este glóbulo artificial, llamado “respirocito”, mide una micra de diámetro y lleva a bordo una nano computadora que puede reprogramarse a control remoto mediante señales acústicas externas. Freitas predice que su dispositivo podrá usarse en el tratamiento de la anemia y los desórdenes pulmonares, pero además podrá refinar el desempeño humano en las

---

<sup>57</sup> Robert A. Freitas, “A Mechanical Artificial Red Cell: Exploratory Design in Medical Nanotechnology”; disponible en la red electrónica: [www.foresight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html](http://www.foresight.org/Nanomedicine/Respirocytes.html) (consultado el 15 de febrero de 2009)

áreas que demanden gran desempeño físico: por ejemplo el deporte y el combate. Freitas afirma que la efectividad de los glóbulos artificiales dependerá en gran medida de su “confiabilidad mecánica al confrontar desafíos ambientales poco comunes” y, por supuesto, de su bio compatibilidad. Entre los riesgos, considerados ocasionales pero reales, Freitas anota el sobre calentamiento, la explosión y la “pérdida de integridad física” (ETC Group 2003).

Los investigadores de MIT, dirigidos por el físico Joseph Jacobson y el ingeniero en biomedicina Shuguang Zhang, han desarrollado una forma de controlar la conducta de moléculas individuales al interior de una multitud de éstas. El equipo procedió trabándole nano partículas de oro (de 1.4 nm de diámetro) a ciertas hebras de ADN.

Cuando el ADN chapeado en oro es expuesto a un campo magnético, las hebras se separan: cuando el campo magnético es retirado, las hebras se reagrupan de inmediato: los investigadores han logrado, efectivamente, un interruptor que les permitirá activar o desactivar genes. El propósito es acelerar el desarrollo de drogas, lo que permite a los investigadores en fármacos simular los efectos de ciertas drogas que también activan o desactivan genes. El laboratorio de MIT, acaba de obtener la licencia de la tecnología necesaria para operar este adelanto bio técnico, el *engineOS*, cuyo fin es “evolucionar de la detección y la manipulación *in vitro* al monitoreo y la manipulación, a escala molecular, de células *in vivo*”. En otras palabras, se trata de sacar estos bio dispositivos del tubo de ensayo e introducirlos a los cuerpos vivientes.

La nanotecnología es una disciplina emergente, relativamente reciente, en la que se ha empezado a trabajar intensamente desde comienzos de los años 90. Actualmente se producen más de 30000 trabajos sobre nanotecnología anualmente en todo el mundo<sup>58</sup>.

Como se ha estudiado la miniaturización encuentra sus límites cuando se emplea una determinada tecnología, por ejemplo la impresión de cada vez más circuitos en los chips se enfrentan, al cambio de propiedades de la materia que deviene de la miniaturización, con lo

---

<sup>58</sup> Revista de Investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología. Nanociencia y Nanotecnología I. Número 34, enero-febrero 2006. Madrid España  
Disponible en:  
<http://www.madrimasd.org/revista/revista34/tribuna/tribuna4.asp> (consultado el 20 de febrero de 2009)

cual la corriente puede debilitarse. Es necesario contar con materiales con nuevas propiedades, y la nanotecnología puede ofrecerlo, superando la antigua traba físico-técnica.

El siguiente apartado facilita identificar la constelación de avances tecnológicos y disciplinas científicas, empresas y productos de principios del siglo XXI en Estados Unidos. Además del diagnóstico de la nanotecnología en México, realizado por la Secretaría de Economía en febrero de 2008, centrado en una encuesta aplicada a las empresas manufactureras que participan en el área de nanotecnología y la recabación de la información del sector académico referente a los recursos, proyectos y esfuerzos científicos en materia de investigación y desarrollo de la tecnología nanoescalar, con el objetivo de reconocer el panorama nacional actual y el aprovechamiento del potencial del nuevo paradigma.

#### **4.- La difusión inicial del patrón tecnológico BANG articulada con el modelo de organización flexible de la producción**

##### *4.1- La difusión inicial del nuevo patrón tecnológico BANG (el panorama actual de la nanotecnología en México).*

La difusión inicial del nuevo patrón tecnológico BANG, posiblemente sea el rasgo dominante en la última década en Estados Unidos, consecuencia de las sucesivas transformaciones que tienen lugar en la estructura industrial de dicha economía central, a partir del aprovechamiento de las tecnologías nanoescalares. Para lograr un mayor grado de comprensión de la dinámica y la conexión de la nanotecnología con el cambio en la estructura económica-social actual, me resultó metodológicamente adecuado estudiar la tecnología como un proceso generador de innovaciones (revoluciones tecnológicas), que posibilitan el crecimiento de la competitividad y productividad. Como se estudió, la difusión es el proceso de divulgación y aplicación de la innovación al interior de una economía, manifestada en el creciente número de usuarios efectivos de esta. (Ver apartado 2.3.- la escuela evolucionista de la innovación y la definición de patrón tecnológico 87).

Siguiendo a Pérez (2000) el tipo fundamental de innovaciones a examinar en el estudio del cambio histórico del capitalismo son las revoluciones tecnológicas, las cuales en cada período

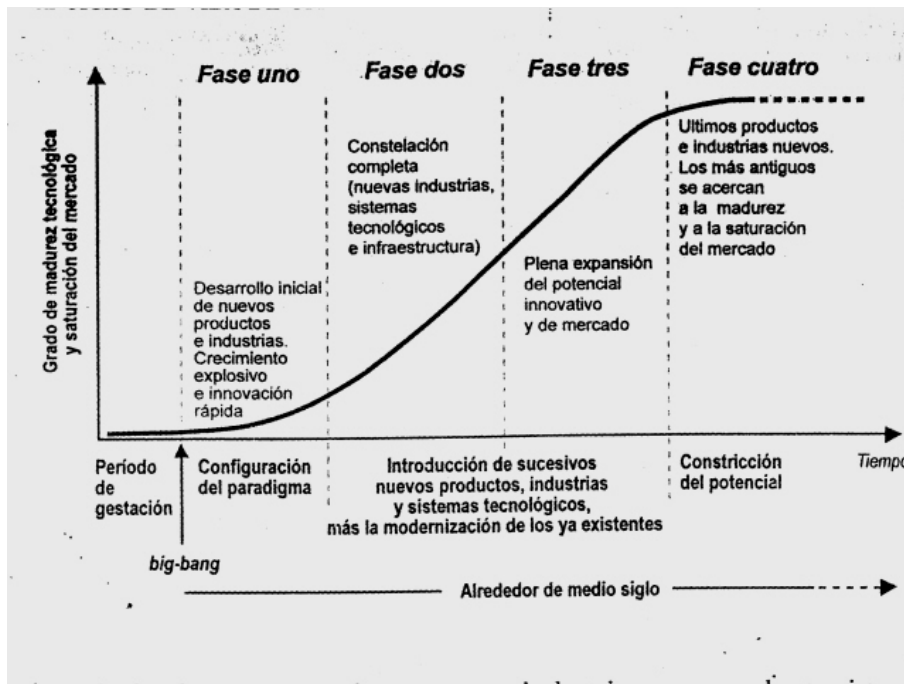
de evolución del sistema, conforman ondas tecnológicas que pasan por cuatro fases distintas: 1) difusión inicial; 2) rápido crecimiento temprano; 3) rápido crecimiento tardío y 4) madurez; para consolidarse e imprimir un impulso a todo el tejido económico. En su trayecto las constelaciones tecnológicas nuevas, industrias y productos capaces de generar dinámicas de crecimiento de largo plazo empiezan a constituirse como paradigma tecno-económico.

En ese contexto, para comprender la situación actual de la revolución tecnológica nanoescalar y la convergencia interdisciplinaria BANG, resulta muy útil el enfoque de la teoría de la escuela de Sussex (Freeman, Pérez y Soete), ya que permite trazar la trayectoria de la nueva tecnología al interior del aparato productivo estadounidense, identificar la propagación e impactos en la economía y en la sociedad en la primera década del siglo XXI y mirar en prospectiva la evolución del ciclo de vida de la nanotecnología en fases.

Por lo tanto, para lograr un mayor avance en el análisis del fenómeno actual de la difusión inicial del patrón tecnológico BANG resulta necesario incorporar la conceptualización de fases del ciclo económico, propuesta por Pérez, ya que dicho instrumental teórico permite identificar la conducción, canalización y restricción de la nanotecnología. Además la teoría del ciclo de vida es de enorme importancia en este apartado, por que estudia la dinámica que tiene lugar en la estructura industrial y de mercado a consecuencia de las sucesivas transformaciones en el aprovechamiento de dicha tecnología. En síntesis, Pérez (2000) analiza los momentos por lo que atraviesa una revolución tecnológica de la siguiente manera:



Figura 4: El ciclo de vida de una revolución tecnológica



Fuente: Pérez (2000), p. 58

Como muestra la figura 4, en la fase uno después del big-bang<sup>59</sup> —la nanotecnología se colocó en el centro de la atención del público mundial en 2001, cuando el Presidente Clinton aprobó el presupuesto para la “US National Nanotechnology Initiative (NNI), la cantidad original presupuestada en ese año fue de 442 millones de dólares—, comienza un período de

<sup>59</sup> Aquí se sugiere que para que una sociedad se enrumbe decisivamente en la dirección de un nuevo conjunto de tecnologías, debe aparecer un atractor muy visible, que simbolice todo el nuevo potencial y sea capaz de despertar la imaginación tecnológica y de negocios de una pléyade de pioneros. Este atractor no puede ser un mero salto técnico. Su enorme poder reside en que además sea barato o deje claro que los negocios basados en las innovaciones asociadas con él tendrán un costo competitivo. Ese evento es lo que se define aquí como el big-bang de la revolución (ver, cuadro 3, columna 4, pp. 65 y 66 )

crecimiento explosivo y rápida innovación en las industrias recién creadas. Los nuevos productos se suceden, revelando los principios que definen su trayectoria ulterior. Así se va configurando el paradigma y su sentido común se hace capaz de guiar la propagación de la revolución.

Así, el proceso de divulgación y aplicación inicial del paradigma tecnológico BANG, se presenta como producto del fuerte estímulo al desarrollo de la nanotecnología y responde a jugosas expectativas de negocio, valuado para 2015<sup>60</sup> en un trillón de dólares, hoy en día el grueso de la inversión de acuerdo con el documento realizado por el grupo ETC en 2003 corresponde a:

- a) Herramientas o instrumental nanotecnológico: microscopio en barrido de túnel y los microscopios de fuerza atómica, que permiten ver muestras nanoescalares y muestras biológicas, herramienta indispensable usada por los investigadores para manipular la materia en la nano escala, su costo varía entre 500 mil dólares y 1.5 millones de dólares. Desarrollo en etiquetas moleculares y microfluidos, que se calcula concentra un 4% de los gastos totales
- b) Nuevos materiales (textiles, cerámicas, etc.) con un 12%
- c) Dispositivos novedosos (sensores) con un 32%
- d) Innovaciones nanobiotecnológicas con un 52%, el cual se distribuye a su vez en un 54% en el desarrollo de nuevos medicamentos, 37% en procedimientos de diagnóstico, 5% para la administración de medicamentos y 4% para el descubrimiento de biofarmacéuticos.

Así con tales frentes de acción, se viene abriendo la posibilidad de que los procesos de producción de insumos y bienes agrícolas y manufacturados; los métodos de diagnóstico y tratamiento médico; los problemas medioambientales y las limitaciones bioquímicas de los ecosistemas, los asuntos relacionados a la industrial militar, la guerra y la seguridad nacional, o la producción de energía limpia y los patrones de uso y consumo tanto de energía como de

---

<sup>60</sup> La National Science Foundation revisó en 2004 sus estimativas del mercado de nanotecnología. Las previsiones de que éste llegará a 1 trillón de dólares en 2015 fueron adelantadas a 2011 una vez que las inversiones públicas y privadas se incrementaron copiosamente durante 2004 (ETC Group Nanogeopolitics: ETC Group Surveys the Political Landscape, julio-agosto de 2005, Communiqué núm. 89 disponible en <http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=520>). (consultado el 22 de junio de 2009)

materiales puedan ser modificados o incluso revolucionados por la nanotecnología (Foladori, et al, 2006: 15). Además de cambiar la manera en que los objetos son de hecho construidos, la nanotecnología estimulará un abanico de transformaciones sociales y económicas; en consecuencia, ya son numerosos los productos o servicios derivados de la nanotecnología que se comercializan o que están en fases de precomercialización. Por ejemplo, en herramientas está el negocio de de etiquetas moleculares (Dendritic, Genicon, NanoPlex, Nanosphere, Quantum Dot), o el de microfluidos (Caliper, Fluidigm, Nanostream, Surface Logix). En *nuevos materiales* como fibras y cerámicas más resistentes y menos pesadas para aplicaciones militares o aeroespaciales están actores como los Laboratorios Sandía (del Departamento de la Defensa de Estados Unidos), el Institute for Soldier Nanotechnologies (del Massachusetts Institute of Technology, Estados Unidos) o la National Administration Space Aeronautics (NASA), entre otros). En nanobiotecnología, para el desarrollo de terapias (Alnis, Biosciences en el desarrollo de nanopartículas polifuncionales. Alza en el desarrollo de nanopartículas de lípidos. NanoCrystal Technologies en el desarrollo de una tecnología para crear nanocristales funcionales para una mayor eficacia en la absorción de medicamentos pues éstos pueden atravesar las membranas celulares, StarPharma en la operatividad médica de una estructura conocida como dendrímero a la que se le pueden “pegar” ciertos grupos drogas y/o dirigirla hacia moléculas o trozos de ADN, algo que resulta útil en la administración, en este caso, de un medicamento contra el SIDA, etcétera), en la ingeniería de tejidos (Agilent, 454 Life Sciences, US Genomics, Nanomix) o en el desarrollo de partículas para cosméticos (Procter & Gamble y L’Oreal)..

Algunos productos con nanocomponentes ya están en el mercado y dan una idea más tangible y real de los avances actuales. Según el Nanotech Report (Forbes, 2004), entre los primeros productos vendidos en el 2004 se encuentran: calzado térmico (Aspen Aeogels), colchones que repelen sudor y polvo (Simmons Bedding Co.), palos de golf más resistentes y flexibles (Maruman & Co.), cosméticos personales ajustados a edad, raza, sexo, tipo de piel y actividad física (Bionova), vestidos para heridos y quemados que evitan las infecciones (Westaim Corporation), desinfectantes y limpiadores que se aplican a aviones, barcos submarinos, etcétera. (EnviroSystems), aerosoles que repelen agua y suciedad, utilizados en la industria de la construcción (BASF), tratamiento a los vidrios para repeler el agua, la nieve, insectos,

etcétera. (Nanofilm), crema contra el dolor muscular (CNBC) y adhesivos dentales que fijan mejor las coronas (3M ESPE) (Foladori, et al 2006: 75).

La nanotecnología permitiría, fabricar nuevos materiales con funciones también nuevas, que podrían aplicarse en las más variadas ramas de la producción, los potenciales beneficios de la nanotecnología son importantes de calcular. Así en lo que se refiere a *manufactura y materiales*; tenemos las nanopartículas que se usan en la fabricación de pinturas y otros recubrimientos más durables, o resistentes, en la producción de filtros solares más protectores y de catalizadores más eficientes. Los estudios muestran que un solo gramo de partículas catalizadoras, de 10 nanómetros de diámetro, es casi 100 veces más reactivo que la misma cantidad de partículas catalizadoras que midan una micra de diámetro. El cambio se atribuye únicamente al aumento en el área superficial, propio de la nano materia (ETC Group 2003: 55),

Empresas gigantescas como Dow Chemical y Exxon Mobil otorgan licencias para algunas variantes de los “metalocenos”, un método nanoescalar para crear catalizadores aplicados a la fabricación de plásticos. Los productos finales son más ligeros, más resistentes y sorprendentemente más versátiles. Exxon Mobil tiene unas 200 patentes de metalocenos. Dow ha trabajado también en la escala atómica para concebir los “inter polímeros” (el desarrollo de su procesado ya dio por resultado unas 50 patentes en Estados Unidos y Europa por combinaciones nunca vistas de la materia con propiedades comerciales únicas). En un futuro muy cercano, la tecnología atómica podrá proporcionarnos algunos de los siguientes productos:

- Telas “inteligentes” que varíen su capacidad para deflectar o absorber calor.
- Recubrimientos super resistentes, para vehículos, que reduzcan las roturas y el astillado en las colisiones.
- Blindajes anti balas ligeros, para usarse en las ropas de policías, civiles y militares.
- Exteriores, libres de mantenimiento, en edificios; vidrios y plásticos irrompibles
- Superficies de construcción que “respiran”, admitiendo y emitiendo el flujo del aire.
- Superficies de vestido y construcción que pueden cambiar de color en respuesta a las variaciones ambientales.

- Con el advenimiento de “láminas” de gran tamaño, la fabricación de nano materia permitirá “texturas” especiales en los cascos de embarcaciones, aeronaves y naves espaciales

El campo de la *energía, electrónica e informática* puede verse rápidamente modificado; se espera que las estructuras nanoescalares jueguen un papel enorme en el almacenamiento de información y energía, dos elementos cruciales en casi todos los productos o procesos basados en la electricidad (ETC Group 2003: 56)

La tecnología nanométrica es ya responsable del elemento clave en la fabricación de discos duros de computadora. Además, los nano tubos han demostrado funcionar como transistores diminutos. A fines de agosto de 2001, los investigadores de IBM crearon un circuito capaz de ejecutar cálculos lógicos simples mediante un nano tubo de carbono auto ensamblado. Esto se anuncia como el primer paso hacia las computadoras nanométricas<sup>61</sup> En mayo de 2002, IBM informó que había creado transistores nano tubulares que sobrepasaban incluso a los modelos más avanzados de los dispositivos de silicio, y sobrepasaban también a los nano tubos diseñados con anterioridad, por tener más capacidad para conducir corrientes eléctricas. Los prototipos de los chips nano tubulares de las futuras computadoras saldrán de los laboratorios de IBM en un par de años. En suma, las potencialidades incluyen:

*La capacidad de almacenamiento de datos y la velocidad de procesamiento* aumentarán dramáticamente y serán procesos mucho más baratos y eficientes en cuanto a la energía. En junio de 2002, los nano tecnólogos de IBM demostraron una densidad de almacenamiento de datos de un billón de bits por pulgada cuadrada, equivalente a un disco duro de 100 gigabytes, o 20 veces los datos almacenados magnéticamente en las computadoras actuales, suficientes para almacenar 25 millones de páginas impresas de libros de texto sobre una superficie igual a la de un timbre postal.

*Bio sensores y chips* que podrían llegar a ser ubicuos en la vida cotidiana al monitorear cada uno de los aspectos de la economía y la sociedad. Por ejemplo, Nanomix Inc. diseña sensores a base de nano tubos para detectar peligrosas fugas de gas en las plantas químicas y las refinerías. La

---

<sup>61</sup> Kenneth Chang, “IBM Creates a Tiny Circuit Out of Carbon”, *New York Times*, 27 de agosto de 2001. Disponible en la red electrónica: [www.research.ibm.com/nanoscience](http://www.research.ibm.com/nanoscience) (consultado el 6 de enero de 2009)

compañía afirma que cada sensor costará diez veces menos que los detectores de gas convencionales y operarán durante un año con pilas de reloj.

Una dependencia mucho menor de los combustibles fósiles, de la potencia hidro eléctrica y de sus infraestructuras relacionadas. Se desarrollan también novedosos nano materiales para almacenar combustible de hidrógeno, por ejemplo, innovación que podría aumentar dramáticamente la eficiencia y decrementar el costo de los automóviles con celdas de combustible.

En el área de la *salud*, podría aumentar la calidad de vida y su duración. Nanosensores incorporados al propio organismo y viajando como si fueran virus por la sangre, podrían detectar enfermedades antes que se expandieran y combatir las eficientemente. Las drogas no serían genéricas para cualquier persona, sino específicas según la composición genética individual, el sexo, la edad, el tipo de alimentación, etcétera. Podrían elaborarse prótesis moleculares que reparen o reemplacen partes defectuosas o enfermas de determinadas células. Nanorrobots podrían realizar cirugías y monitorear los procesos de recuperación. Nanoprótesis podrían extender las capacidades del cuerpo humano, potenciando capacidades cerebrales y motoras. Nanodispositivos permitirían la sensación virtual tal como si fuese real (Foladori et al, 2006: 74). En diez años, la mitad de las entradas de la industria (unos 180 mil millones de dólares por año) tendrán que ver con la tecnología atómica. Para el Grupo ETC (2003), las aplicaciones:

- Secuenciaciones de genoma más veloces mediante chips nanométricos.
- Una caracterización precisa del diseño genético de un individuo.
- Nuevos métodos de administración de medicamentos dirigiéndolos a tejidos u órganos específicos.
- Nuevos vectores en terapia genética.
- Acceso quirúrgico a sitios del cuerpo previamente inaccesibles.
- Órganos y tejidos artificiales más durables y resistentes al rechazo.
- Biomateriales más ligeros e “inteligentes” para los miembros del cuerpo.
- Sistemas de bio sensores que permitirán detectar una enfermedad emergente en etapas mucho más tempranas.

Otro resultado con fuerte impacto en la escala mundial serían los mecanismos de purificación y reciclado de agua. Filtros físicos con poros de escala nanométrica podrían eliminar bacterias, virus y prions (proteínas que causan enfermedades). Nanodispositivos podrían detectar y eliminar sales y metales pesados. Se podrían utilizar bacterias creadas especialmente para consumir contaminantes. Los dispositivos nanotecnológicos de purificación de agua podrían autolimpiarse y funcionar de manera completamente automática.

Muchos otros productos podrían adquirir funciones nuevas que ridiculicen la eficiencia de sus competidores convencionales, como es el caso de los vidrios que se auto-limpian del polvo, la lluvia o la nieve, por estar cubiertos de nanopartículas de óxido de titanio que, estimuladas por la luz solar, expelen las adherencias. (Foladori *et al*, 2006: 75).

Es claro que la aplicación de nanopartículas con propiedades físicas nuevas revolucionará todas las industrias y la agricultura. Los detectores nano fabricados ofrecen potencial para ejecutar miles de experimentos en plantas con el fin de caracterizar y seleccionar simultáneamente genes, a partir de cantidades muy pequeñas de material. Se han desarrollado nano chips que tienen varios miles de puntos nanométricos, cada uno de los cuales contiene una pequeña cantidad de genes diferentes en una planta dada y son capaces de determinar la cantidad de dicho gene expresada por la planta. Cuando la expresión genética de decenas de miles de genes se prueba y luego se compara, los científicos pueden determinar cuáles genes se activan o se inhiben durante el proceso de crecimiento o durante alguna enfermedad (ETC Group 2003: 58)

En conjunción con los nano chips, la perspectiva de tener a la mano secuencias genómicas completas, nos brindará información que revele cuáles genes determinan una producción mejor o qué genes son afectados cuando una planta es expuesta a la presión del salitre o la sequía. La demanda de materias primas podría disminuir significativamente en la medida en que algunas de ellas se sustituyan por nanocomponentes como, por ejemplo, el hierro y el acero por nanotubos de carbón y el silicio por nanocristales. En el caso de materiales de origen mineral se reduciría la actividad minera y con ello, la contaminación; también disminuirían las alteraciones topográficas y el movimiento de tierras que la minería implica. La agricultura se podría ver beneficiada con la aplicación de mecanismos de reciclado de agua, de energías

alternativas baratas y de distribución computarizada de insumos a las plantas. El paso a una agricultura totalmente industrial en el sentido de que no esté sujeta ni a la fertilidad natural ni a las variaciones climáticas sería posible. La producción industrial podría reducir sus efectos contaminantes con la utilización de energías limpias, el uso más eficiente de los materiales, la generación de menor cantidad de residuos, mismos que podrían ser controlados.

En el largo plazo (2020-2050), la ingeniería atómica podrá:

- Eliminar la “geografía” (foto sensibilidad, temperatura, altitud) y el trabajo como factores que inciden en la producción de cultivos.
- Eliminar el “tiempo” como factor en la preparación de alimentos (conforme el manejo de la materia y la energía se hagan más eficientes).
- Eliminar la “agricultura”, con la producción de comida no biológica (conforme se haga viable la manufactura de nano procesadores que produzcan comida a partir de elementos reciclables).

La industria de alimentos y bebidas está ansiosa de abrazar la investigación en tecnología atómica. El departamento de ciencias de la alimentación de Rutgers University (en Nueva Jersey, Estados Unidos) contrató recientemente lo que considera el “primer profesor en nanotecnología alimentaria”. En Rutgers, el profesor Qingrong Huang se centrará en el desarrollo de dos aplicaciones de las tecnologías nanoescalares para la industria alimentaria: “comida nutracéutica” que utilizará proteínas para administrar medicamentos a áreas determinadas del cuerpo, y empaques de alimentos que cambien de color alertando al consumidor cuando la comida contenida comienza a echarse a perder.

En 1999, Kraft Foods, el gigante de alimentos y bebidas estadounidense (subsidiario de Phillip-Morris), valuado en unos 34 mil millones de dólares, estableció el primer laboratorio de alimentos nano tecnológicos de la industria. En 2002, Kraft lanzó el consorcio NanoteK, que involucra un monto no revelado de financiamiento destinado a 15 universidades y laboratorios nacionales de investigación, con el fin de conducir investigación básica en torno a innovaciones diminutas que serán útiles en la tecnología alimentaria.



*Cápsulas nanométricas:* El Consorcio NanoteK de Kraft se está dedicando al desarrollo de productos alimenticios personales que reconozcan el perfil nutricional o de salud de un individuo (alergias o deficiencias nutricionales) o incluso un empaque lo suficientemente inteligente como para detectar y alterar las deficiencias vitamínicas del consumidor. Los investigadores de NanoteK desarrollan también novedosos productos confeccionados a la medida de las papilas gustativas de cada consumidor. Por ejemplo, las nano partículas que encapsulan los sabores, los colores u otros elementos nutricionales, pueden activarse, sobre pedido, al lanzarles una solución líquida con una frecuencia específica de micro ondas. Un consumidor sediento puede comprar una bebida incolora e insabora en la tienda de abarrotes y después seleccionar el sabor/nutriente/ color de su elección fijando el transmisor de micro ondas a la frecuencia correcta. Las nano cápsulas seleccionadas se activarán mientras otras permanecen dormidas, soltando el sabor, el color o los nutrientes deseados.

Es claro que los procesos no son tan simples y existe preocupación en relación con los impactos y riesgos no previstos tanto en el medio ambiente como en la salud. También hay preocupaciones éticas, ya que estas tecnologías bien pueden ser utilizadas para una mayor vigilancia y control de las personas, o en instrumentales de guerra insospechados, o en la hibridación del cuerpo biológico creando seres biónicos.

### Cuadro 7: Una muestra de compañías promotoras de lo nanométrico

Argonide Nanometals, Sandford, Florida, EU, ([www.argonide.com](http://www.argonide.com)), manufactura materiales de fibra de cerámica nanoescalar para incrementar la resistencia, la fuerza y el aislamiento de metales, plásticos, matrices de polímeros y bio materiales. La compañía produce también polvos nanométricos de aluminio, usados como aceleradores, o como material de ignición y propulsores en los cohetes de alta presión. A fines de 1999, Argonide recibió un fondo de 1.4 millones de dólares, para investigación y desarrollo, del Departamento de Energía, parte del cual sirve para cubrir el empleo de científicos provenientes de la Unión Soviética, que antes se dedicaban al desarrollo de armas de destrucción masiva. La compañía utiliza novedosos materiales nanométricos para filtrar virus y bacterias del agua potable.

California Molecular Electronic Corporation, San José, California, EU, ([www.calmec.com](http://www.calmec.com)), apunta a ser el líder de la industria relacionada con la electrónica molecular. Fundada en marzo de 1997, la compañía busca desarrollar comercialmente el uso de moléculas individuales en la formación de componentes utilizados en dispositivos electrónicos

Carbolex, Lexington, Kentucky, EU ([www.carbolex.com](http://www.carbolex.com)), vende nano tubos de una sola pared (por la red electrónica, a granel) a los investigadores de la industria y la academia. Carbolex es miembro del centro de comercialización de ciencia avanzada y tecnología de la Universidad de Kentucky en Lexington, e integra personal universitario y científicos de las corporaciones de alta tecnología.

Carbon Nanotechnologies, Inc. Houston, Texas, EU ([www.carbonnanotech.com](http://www.carbonnanotech.com)) fue fundada por Bob Gower y Richard Smalley (Premio Nobel en 1996 y director del centro de ciencia e ingeniería nanoescalar de Rice University), con fondos de la National Science Foundation.

La compañía produce, investiga y vende nano tubos de carbono utilizando tecnologías de las cuales Rice tiene la patente.

Chemat, Northridge. California, E U ([www.chemat.com](http://www.chemat.com)) fundada en 1990, Chemat se aboca a la creación y comercialización de materiales y tecnologías avanzados, usando técnicas, propiedad de la compañía.

eSpin Technologies. Inc. Chattanooga, Tennessee, E U ([www.nanospin.com](http://www.nanospin.com)), eSpin es el primer productor comercial de nano fibras de entre 30 y 400 nanómetros de diámetro que se utilizan en filtrajes, en tejidos usados como blindaje, en ropa protectora, en la elaboración de compuestos, en ingeniería de tejidos y en celdas de combustible.

Nanoframes llc. Boston, Massachussetts, E U ([www.nanoframes.com](http://www.nanoframes.com)), el objetivo de Nanoframes es desarrollar y posibilitar tecnología para la manufactura de bloques de construcción nanoescalares, funcionales, usando proteínas auto ensamblables. El lema de la compañía es "aprovechar la Naturaleza para transformar la materia"

Nanomix, Emeryville, California, E U ([www.nano.com](http://www.nano.com)), Nanomix es pionera en el uso del moldeado cuántico, la utilización de computadoras para virtualmente diseñar materiales nanométricos, átomo por átomo. El objetivo de la compañía es comercializar los primeros nano componentes que funcionen.

Nanolayers. Jerusalén, Israel ([www.nanolayers.com](http://www.nanolayers.com)). Fundada en 2001, la compañía espera comercializar materiales semi conductores orgánicos, usando una tecnología desarrollada por el doctor Shlomo Yitzchaik, del departamento de química inorgánica de la Universidad Hebrea de Jerusalén

Nanophase Technologies Corp. Romeoville, Illinois, E U. ([www.nanophase.com](http://www.nanophase.com)). Con ingresos de 4.3 millones de dólares en 2000, Nanophase es una de las pocas compañías que cuentan con fondos públicos para su actividades. La compañía utiliza un proceso patentado para hacer ingeniería con las propiedades físicas, ópticas, eléctricas y mecánicas de nano materiales que pueden añadirse a otros materiales con el fin de incrementar su fuerza, su resistencia a la abrasión y su conductividad eléctrica. Nanophase produjo 200 toneladas métricas de nano materiales en el año 2000 y ha solicitado 29 patentes que cubren tecnologías clave.

Nanoprobes. Yaphank, Nueva York, E U ([www.nanoprobes.com](http://www.nanoprobes.com)). Nanoprobes produce y vende partículas coloidales de oro nanométrico utilizado en bio diagnósticos, en la detección de enfermedades y las pruebas de embarazo.

Nanosphere, Inc. Alachua, Florida, E U ([www.nanosphere.com](http://www.nanosphere.com)). Nanosphere, fundada por los investigadores de la Universidad de Florida, se centra en comercializar tecnologías que utilizan nano partículas en las terapias de inhalación.

Nano-X GmbH. Saarbrocken-G.dingen, Alemania ([www.nano-x.de](http://www.nano-x.de)). Nano-X GmbH utiliza nanotecnología química para desarrollar y producir nuevos materiales con características multifuncionales, tales como superficies que se limpian solas, paredes anti graffiti y plástico resistente a las rayaduras

Quantum Dot Corporation. Hayward, California, E U ([www.gdots.com](http://www.gdots.com)). Quantum Dot utiliza nano cristales semi conductores ("puntos cuánticos") en aplicaciones biológicas, bioquímicas y biomédicas. Los puntos cuánticos, adosados a biomoléculas, actúan como "faros" ópticos que se encienden con diferentes colores dependiendo de su tamaño. La compañía obtuvo más de 37.5 millones de dólares en financiamiento y tiene solicitudes para más de cincuenta patentes

Semzyme. Santa Barbara, California, E U ([www.semzyme.com](http://www.semzyme.com)). Esta empresa de innovación fue fundada por Barbara Belcher y Evelyn Hu, y su objetivo es comercializar "herramientas proteínicas" que pueden usarse en el alambreado nanoescalar de los componentes electrónicos.

Sustech GmbH. Darmstadt, Alemania ([www.sustech.de](http://www.sustech.de)). Fundada por un grupo de seis

profesores, el laboratorio de la compañía se encuentra en la Darmstadt University of Technology. Su propósito es desarrollar productos sin problemas ambientales mediante el uso de sistemas nanoescalares.

Zyvex Corporation. Richardson, Texas, E U ([www.zyvex.com](http://www.zyvex.com)). La primera y única compañía dedicada por completo al desarrollo de tecnología de manufactura molecular. Zyvex desarrolla arquitectura para fabricar brazos robóticos minúsculos, que trabajen juntos para ensamblar partes en miniatura.

Fuente: ETC Group 2003

Según el *National Institute of Standards and Technology* de Estados Unidos, la estimación para 2003 era de cerca de unas 1,7000 empresas nanotecnológicas a nivel mundial. Datos de la NanoBusiness Alliance sugieren entre 1,100 y 1,500 empresas de las cuales el 75% tiene sede en Estados Unidos (Rocco, 2004: 893). No es casual entonces que, en 2003, las empresas con mayor movilización de fondos en orden descendente todas fuesen estadounidenses: Immunicon (86.2 millones de dólares), Quantum Dot (44.5), Surface Logix (38) Genicon Sciences (34), PicoLiter (27), US Genomics (27), Nanosphere (23.5), Advino Biosciences (15) Ferx (15), Nanogram Devices (9.2).

Además súmese, entre otros actores, a los gigantes que destacan por su actividad en diversas áreas de la NBIC, como lo son Monsanto, Syngenta, Procter & Gamble, DuPont, Pharmacia, Pfizer, etcétera.

La fase dos corresponde a la rápida difusión del paradigma, con el florecimiento de nuevas industrias, sistemas tecnológicos e infraestructuras con enormes inversiones y el agrandamiento de los mercados. El enorme avance abierto por aplicación de la nanotecnología en la industria estadounidense permite dar coherencia a la segunda fase del ciclo de vida tecnológico y situarnos en una revisión del triangulo científico-tecnológico, el de los actores universitarios y de centros e institutos de investigación gubernamentales y privados, empresas y gobierno, que en la primera década del siglo XXI, impulsan la generación del sistema nanotecnológico y las inversiones realizadas en Estados Unidos.

Estados Unidos desde el 2001 cuenta con la Iniciativa Nacional en Nanotecnología organismo coordinador tanto de los presupuestos federales dedicados a este ramo de la ciencia como de las acciones y programas establecidos para su desarrollo, Foladori (2006), argumenta que para el diseño de la Iniciativa Nacional en Nanotecnología de Estados, la Casa Blanca contó con el asesoramiento de la Oficina de Política en Ciencia y Tecnología que incluye al Consejo Presidencial de Asesores en Ciencia y Tecnología, un equipo ahora integrado bajo el nombre de Grupo Técnico de Asesoría en Nanotecnología. Llama la atención porque en dicho grupo se encuentran sujetos destacados de la élite empresarial estadounidense, aspecto que de entrada sesga claramente la finalidad de la NNI y al mismo tiempo ayuda a posicionar a Estados Unidos a la cabeza de la competencia por el control del mercado nanotecnológico global

**Cuadro 8: Actores que componen el grupo técnico de asesoría en nanotecnología en Estados Unidos (2001).**

Consejo de asesores en ciencia y tecnología	Empresa
Marck Modzelewski	Director ejecutivo de la Business Alliance
Stanley Williams	Hewlett Packard
James Baker	Nanobio
William Beckenbaugh	Konorka Technologies
John Belk	Boeing
Edward Boyes	DuPont

James Heath	Cal Tech and NanoSys
Michael Heller	Nanogen
John Kozarich	Active X Biosciences
Uzi Landman	Ga Tech
Juri Matisoo	Asociación de la Industria de los Semiconductores
Chad Mirkin	NanoInk
Cherry Murray	Lucent Technologies y NJ Nanotech Consortium
Judith Stein	General Electric
Kathleen Taylor	General Motors
Thomas Theis	IBM

Fuente: Foladori (2006), p. 33.

Entre las prioridades militares que suscribe la NNI, destaca la búsqueda de soluciones para la detección y protección de armas biológicas-químicas-radiológicas-explosivas, así como para el monitoreo del estado de salud de cada soldado con el objeto de aumentar su sobrevivencia mediante nanobiosistemas. También se puntualiza el desarrollo de sensores inteligentes, nanofilamentos o nanopolvos para la confección de ropa, máscaras y equipo militar personalizado con funciones camaleónicas en relación activa con el medio ambiente; que protejan de la insolación a través de materiales de alta nanoporosidad, que neutralicen todo tipo de agentes químico-biológico-biológico y/o que “administren” antídotos.

Hay que tener en cuenta, que la industria civil-comercial depende del financiamiento federal para inversiones de largo plazo y de alto riesgo, nótese que el Departamento de Defensa estadounidense ha proveído cerca de la mitad del financiamiento federal total, contabilizando para principios del siglo XXI, miles de proyectos abiertos con contratistas mayores por un costo cercano a los tres millardos de dólares anuales (DOD, 2002: 195). Como escriben Rose y Rose: ...para mediados de la década de 1960, con mucho margen, la mayor proporción de ciencia universitaria se hacía bajo contrato federal, a menudo para el Departamento de la Defensa, y la relación era mucho más sólida... A partir de mediados de la década de 1960 los estudiantes

descubrieron, en universidad tras universidad, una red de institutos y contratos de investigación del Departamento de la Defensa. (Foladori, 2006).

Otros programas indican que el DOD busca alentar el ensamblaje tridimensional de nanoestructuras para desarrollar mejores versiones de la mayoría de las armas convencionales (armamento más ligero y con mayor capacidad de municiones, miras multiespectro, balas guiadas, o armas que se autodisparan cuando es detectado el enemigo), así como el desarrollo de nuevos materiales para armas no convencionales. Según Siniscalchi, "... las tecnologías no letales cubren un amplio rango de posibilidades, incluyendo armas biológicas y químicas, control de masas, así como armas exóticas de última generación" El DOD define como armas no-letales aquellas que están diseñadas explícitamente para incapacitar al personal o infraestructuras enemigas...". Entre las que se desarrollan están las armas químicas y biológicas no letales, las armas ópticas y acústicas, las de macro y microondas, polímeros y espumas inmovilizantes, armas de antimateria y de pulsos electromagnéticos, etcétera.

Tal simbiosis entre los polos de la red científica-tecnológica estadounidense, al ser la más profunda que se registra en la orbe, resulta ser el mejor caso para indagar el aspecto militar de la alta tecnología o en este caso del nuevo patrón tecnológico, fundamentado en la nanotecnología, un panorama en el que permanentemente se profundizan esos vínculos a través de las políticas de Estado en nombre de la "seguridad nacional", es decir, un sistema configurado a través de ciertos mecanismos legales o las denominadas Actas de Investigación y Desarrollo, que permiten la participación privada para conservar los derechos de patente vía investigación por contrato en las universidades y en la industria, acuerdos entre las partes antes mencionadas para la cooperación para el desarrollo y la investigación, como mecanismos de control, con el objeto de evitar el espionaje y la piratería tecnológica.(Foladori, et al, 2006: 34, 35)

Un claro ejemplo es la instauración de una unidad de investigación en el MIT denominada *Institute for Soldier Nanotechnologies* en él participan la Oficina de Investigación de la Armada de Estados Unidos y actores del sector privado como *Raytheon*, *DuPont* y algunos otros del sector salud como los hospitales de mujeres *Brighman/Centro para la Integración de la Medicina*. Y es que las expectativas militares de la nanotecnología no son menores, de ahí que



la *National Nanotechnology Initiative* (2003), y por lo tanto el Acta de Investigación y Desarrollo en Nanotecnología del Siglo XXI, incluya actores gubernamentales como el Departamento de Defensa, el Departamento de Estado, el Departamento de Justicia, el Departamento de Seguridad de la Patria, la Comunidad Estadounidense de Inteligencia, la NASA y desde luego, la Oficina de Patentes y Marcas Registradas, entre otras agencias con intereses en ciencia y tecnología, medio ambiente, agricultura, salud y comercio.

Asimismo, el Departamento de Defensa, mantiene un abanico de programas con universidades que se pueden identificar, principalmente, en dos esquemas de coordinación centralizada: la Iniciativa de Investigación Multidisciplinaria de Universidades (MURI) y el Programa de Instrumentación de la Investigación Universitaria para la Defensa (DURIP). Entre los programas de este último programa están: nanoestructuras catalizadoras (Fuerza Aérea-Universidad de Washington, Universidad Estatal de Iowa y Universidad de Pittsburg), nanocomposites (Fuerza Aérea-Universidad de Akron), nanofotónicos y nanoelectrónicos (Fuerza Aérea-Universidad de Washington y Universidad de California campus Berkeley), computación cuántica y dispositivos cuánticos (Fuerza Aérea-Universidad de Harvard y Rochester; y Fuerza Aérea-Universidad de Kansas), reconocimiento molecular y traducción biomolecular de señales (Darpa-Fuerza Aérea-Universidad de Illinois campus Urbana-Champaign, Colegio Harold Washington), síntesis y modificación de superficies de nanoestructuras (Darpa-Fuerza Aérea-Universidad de California campus Berkeley y Los Ángeles, Universidad de Princeton y Universidad Estatal de Luisiana), Entre los programas de la MURI, se pueden indicar el de cubiertas multifuncionales diseñadas por nanoingeniería (Fuerza Aérea-Universidad de Virginia, Universidad Estatal de Ohio, Universidad de Cincinnati, Universidad Estatal de Arizona y Universidad de Nuevo México; o de la Fuerza Aérea-Universidad de Minnesota, Universidad Estatal de Dakota del Norte, Universidad de Missouri en la ciudad de Kansas y la Universidad de Dayton) (véase *Committee on Implications of Emerging Micro and Nanotechnologies*..

Por lo tanto, entre las “áreas de oportunidad”, indica el comité, están: el desarrollo de vehículos o dispositivos espaciales y sus sistemas (incluyendo el desarrollo de un sistema complejo de nanosatélites para vigilancia y monitoreo global permanente a modo de una antena espacial gigante); la evolución de los sistemas balísticos (misiles miniaturizados baratos, de poco peso mayor precisión y rápido alcance global de diversas especificaciones: aire-aire,

aire-tierra, interceptores); y la innovación de vehículos aéreos y otros dispositivos (micro aviones autómatas de bajo costo, como el Black Widow de la empresa estadounidense AeroVironment, para misiones de monitoreo, vigilancia, reconocimiento o para fungir como señuelos; así como el perfeccionamiento aerodinámico y de camuflaje de aviones).

Consecuentemente, la Fuerza Aérea de Estados Unidos está invirtiendo en nanobiotecnología 7% de su presupuesto destinado al rubro de las nanotecnologías, en nanoenergéticos 11%, en nanomateriales 37% y en nanodispositivos 45% (CIEMNT, 2002:186). Es una tendencia de corto plazo que en general es compartida por las diversas fuerzas militares de ese país pues, según Cliff Lau de la Oficina de Investigación Básica de la Secretaría de la Defensa, "... el gasto del DOD en nanotecnología se enfoca en tres áreas de importancia crítica: diseño de materiales, nanoelectrónicos/magnéticos/optoelectrónicos y nanobiosistemas" (NNI, 2003). Aunque, considérese que su variación porcentual para cada tipo de fuerza armada depende de sus necesidades particulares. (Foladori, et al, 2006: 38)

Ahora bien, de hecho todas las facetas de investigación militar antes indicadas constituyen la "cola" de la investigación "nanomilitar" vistas en el largo plazo pues la apuesta mayor radica en la convergencia NBIC (BANG) para el desarrollo de "supersoldados" con un arsenal altamente sofisticado (desarrollado ya desde el corto y mediano plazos) que, para entonces, ya incluiría, bionanorrobots, o nanocyborgs autómatas, replicables o no replicables. Éstos figurarían como el más sofisticado avance de dispositivos autómatas (vehículos, naves y satélites) que podrían funcionar en solitario o coordinadamente; un contexto donde uno de los más controversiales, tal y como ya da cuenta la Fuerza Aérea de Estados Unidos, es la especificación del grado de autonomía con todas sus implicaciones políticas y sociales.

Es más, los nanorrobots podrían llegar a ser diseñados para que funcionaran como "nanoarmas" inteligentes, para atacar ciertos metales, lubricantes, plásticos u otros materiales. El objetivo: la destrucción de armas convencionales u otras infraestructuras estratégicas del enemigo. También para que, por ejemplo una vez ingeridos aeróbicamente por el humano, busquen ciertos códigos genéticos preprogramados y se autodestruyan en una "apropiada" ubicación (como el cerebro) (Petersen y Egan, 2002: 3). Es decir, los nanocyborgs fungirían, en este caso, como el arma químico-biológica más potente, imperceptible y eficaz en el micro y

macro blanqueo del enemigo en panoramas de guerra convencional o guerra encubierta. Lo previamente señalado indica la potencialidad de nuevas y radicales dimensiones de escenarios de violación de derechos humanos, violencia, subyugación y dominio, dentro y fuera del campo de batalla que, por si fuera poco, de salirse de control o del rango de operatividad previsto, la incertidumbre sobre los peligros a la salud humana y el medio ambiente respectivamente, es de llamar la atención.

Si revisamos otro polo del triangulo científico-tecnológico, el de los actores universitarios y de centros e institutos de investigación gubernamentales y privados, nos encontramos con que los más fuertes se ubican en Estados Unidos pues como afirma el Instituto Nacional de Estudios Estratégicos de ese país, "... Estados Unidos con las mejores universidades del mundo e importantes instalaciones científicas, sigue siendo la primera potencia generadora de tecnología" (Libicki 1989: 2). Por ejemplo, entre los más activos para 2003, figuraban el MIT, el CIT, la Junta de Regentes del Sistema de Universidades de Texas, la Junta de Regentes de la Universidad de California, la Universidad de Rice, la Universidad Northwestern, el Instituto Politécnico Rensselaer, la Universidad de Cornell, la Universidad de Columbia, la Universidad de Princeton y los laboratorios de los institutos nacionales de salud, entre otros. (Foladori et al, 2006: 26)

**Cuadro 9: Actores con mayor actividad relacionada al ciclo inicial nanotecnológico (2004).**

País	Institución académica y/o empresa
Estados Unidos	Advanced Micro Devices
	Intel
	Micro Technology
	Applied Materials
	Motorola
	Coming Incorporated
	Lucent Technologies
	3M Innovative Properties
	Instituto Tecnológico de California

	Sandia Corporation (laboratorio militar)
	La junta de regentes de la Universidad de California
	Estados Unidos como representante de la secretaria de la armada
	Xerox
Inglaterra/ Estados Unidos	Smithkline Beechman
Japón	Fuji Photo Film
	Fujitsu
	Kabushiki Kaisha Toshiba
	NEC
	Sony
Alemania	Bayer
Francia	L'Oreal

Fuente: Foladori (2006), pp. 24, 25.

**Cuadro 10:**

**Actores con mayor presencia según su actividad en la convergencia tecnológica BANG (2004)**

País	Institución académica y/o empresa
Estados Unidos	MIT TIC La junta de Regentes del Sistema de Universidades de Texas Instituto de investigación Scripps

	Genentech Hewlett-Packard La junta de Regentes de la Universidad de California Xerox Abbot Laboratorios Estados Unidos como representante de la Secretaría de la Armada Merk Dupont, Memours and Company Eli Lilly Comino Incorporated Lucent Technologies Micron Technology Sandia Corporation Minesota Mining and Manufacturing Company
Inglaterra/Estados Unidos	Smithkline Beechman

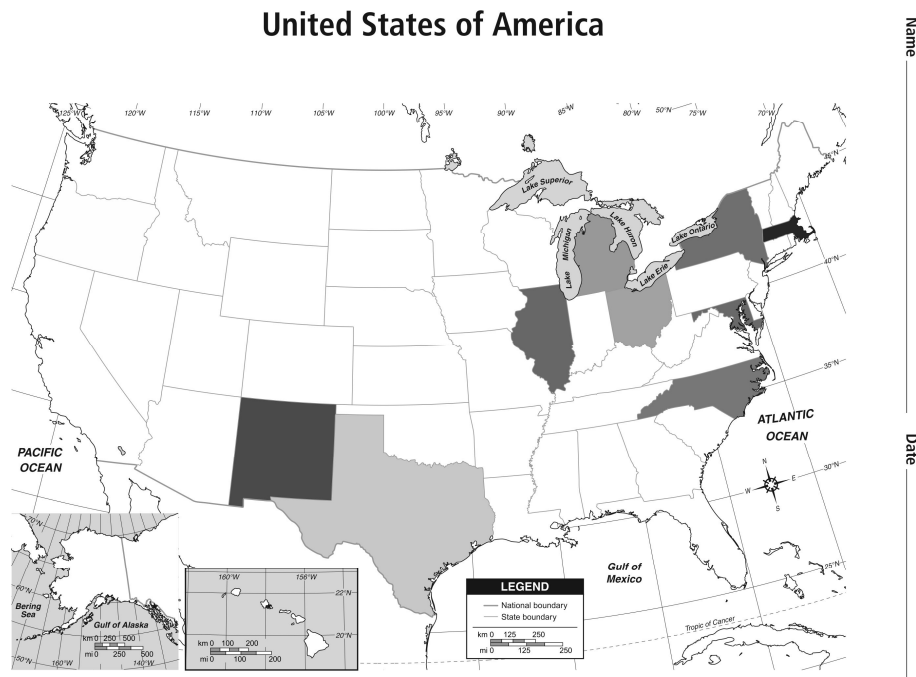
Fuente: Foladori (2006), p. 25.

Como afirma el Instituto Nacional de Estudios Estratégicos de ese país, "... Estados Unidos con las mejores universidades del mundo e importantes instalaciones científicas, sigue siendo la primera potencia generadora de tecnología" (Libicki 1989: 2). Por ejemplo, entre los más activos para 2003, figuraban el MIT, el CIT, la Junta de Regentes del Sistema de Universidades de Texas, la Junta de Regentes de la Universidad de California, la Universidad de Rice, la Universidad Northwestern, el Instituto Politécnico Rensselaer, la Universidad de Cornell, la Universidad de Columbia, la Universidad de Princeton y los laboratorios de los institutos nacionales de salud, entre otros. (Foladori et al, 2006: 26)

En términos generales, en 2004 Estados Unidos se colocaba claramente como el centro neurálgico del desarrollo nanotecnológico a nivel mundial con al menos unos 40,000 científicos, estudiantes, o trabajadores calificados en un aspecto puntual de esta tecnología y

con una infraestructura potente y especializada para investigación nanotecnológica emplazada en más de 60 universidades como la Red Computacional en Nanotecnología de la Fundación Nacional para la Ciencia (NFS, por sus siglas en inglés), la Red Nacional de Infraestructura Nanotecnológica; los corredores de innovación de nanotecnología de Massachusetts, Nuevo México, Nueva York, Michigan, Texas, Illinois, Maryland, Carolina del Norte y Ohio; los Centros de Investigación en Nanociencias del Departamento de Energía, o las instalaciones de la NASA y el Departamento de la Defensa (DOD, por sus siglas en inglés)

**Mapa 2: Corredores de innovación nanotecnológica.**



Name \_\_\_\_\_  
Date \_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia a partir de la idea sugerida por Foladori (2006)

Aunque la enorme capacidad de innovación dentro de la trayectoria abierta por la tecnología nanoescalar, se refleja en las aplicaciones que en la actualidad se encuentran disponibles en el mercado, y en el consenso de varios expertos, científicos y empresarios en el mundo, al

coincidir sobre el potencial de la nanotecnología, que promete incrementar la eficiencia en la industria tradicional y desarrollar nuevas aplicaciones radicales a través de las tecnologías emergentes; podemos hablar del inicio de una revolución tecnológica en tanto ya han hecho su aparición una parte significativa de los nuevos productos y mercados, El proceso de reestructuración y regeneración ya está en marcha pero puede tomar dos o más décadas. Por lo tanto hablar de una tercera fase de ciclo de vida tecnológico que corresponde al despliegue total del paradigma a lo largo y ancho de toda la estructura productiva de Estados Unidos, como de una cuarta fase que corresponde a la llegada de la madurez sería metodológicamente y empíricamente inconsistente. .

Habría que subrayar que cada estadio de desarrollo del capitalismo o fase de desarrollo, queda definido por su capacidad para elevar la productividad, o sea, los rendimientos en producto por unidad de insumo; a su vez, la productividad definirá la magnitud del producto neto (o plusvalía). En consecuencia, el aumento de la productividad determinado por la tecnología y la organización es, como lo establecieron la economía política clásica, Marx y Schumpeter, el fundamento del crecimiento económico. Así, para definir la especificidad del modo de desarrollo actual había que concentrarse en los indicadores de productividad y competitividad porque allí radican los motores históricos del crecimiento económico.

Entonces, para identificar la capacidad competitiva de la economía estadounidense desde 1970 en Estados Unidos, articulada con el desarrollo tecnológico electrónico-informático y nanoescalar, me base en una serie de indicadores de competitividad y productividad del Banco Mundial y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) que posibilitan mantener y aumentar una cuota de mercado global e incrementar la capacidad productiva en la actualidad.

Teniendo en cuenta la complejidad y limitaciones a la que puede estar sujeta la elaboración de una serie de indicadores de competitividad, seleccione cuatro variables que me parecen más relevantes para identificar el esfuerzo tecnológico realizado en Estados Unidos desde la década de 1970 articulado con el modelo flexible de producción.

- Productividad laboral.
- El porcentaje de las exportaciones totales anuales que se pueden caracterizar como de alta tecnología
- El gasto anual en investigación y desarrollo
- El número de patentes registradas



**Cuadro 11****La productividad en el sector empresarial: cambios porcentuales a tasas anuales.**

	Productividad total de los factores			Productividad del trabajo			Productividad del capital		
	1960-1973	1973-79	1979-93	1960-73	1973-79	1979-93	1960-73	1973-79	1979-93
Estados Unidos.....	1,6	-0,4	0,4	2,2	0	0,8	0,2	-1,3	-0,5
Japón.....	5,6	1,3	1,4	8,3	2,9	2,5	-2,6	-3,4	-1,9
Alemania.....	2,6	1,8	1,0	4,5	3,1	1,7	-1,4	-1,0	-0,6
Francia.....	3,7	1,6	1,2	5,3	2,9	2,2	0,6	-1,0	-0,7
Italia.....	4,4	2,0	1,0	6,3	2,9	1,8	0,4	0,3	-0,7
Inglaterra.....	2,6	0,6	1,4	3,9	1,5	2,0	-0,3	-1,5	0,2
Canadá.....	1,9	0,6	-0,3	2,9	1,5	1,0	0,1	-1,1	-2,8
España.....	3,2	0,9	1,6	6,0	3,2	2,9	-3,6	-5,0	-1,5
Suecia.....	2,0	0	0,8	3,7	1,4	1,7	-2,2	-3,2	-1,4
Suiza.....	2,0	-0,4	0,4	3,2	0,8	1,0	-1,4	-3,5	-1,3

Fuente: Castells (2000), p. 8

**Cuadro 12**  
**La productividad en el sector empresarial: cambios porcentuales a tasas anuales (continuación).**

	Productividad de factores múltiples		Productividad del trabajo		Productividad del capital Contribución de las tecnologías electro-informáticas en bienes de producción	
	1995-2000	2001-2005	2000	2001-2005	1995-2000	2001-2005
Estados Unidos.....	1.5	1,9	2.7	2,4	6.4	3.5
Japón.....	0.8	1,7	2.5	2.2	3.3	1.5
Alemania.....	1.3	0,6	2.6	1.3	2.6	1.3
Francia.....	1.4	1,0	3.6	1.4	3.6	2.8
Italia.....	0,3	-0,6	2,5	0.6	3.2	2.9
Inglaterra.....	1,5	1,4	3,4	1.9	5.7	3.9
Canadá.....	1,5	0,4	2.9	1.1	5.1	4.3
España.....	-0,2	0	0.1	0.7	5.7	5.6
Suecia.....	1.5	2.7	3.3	2.7	5.1	2.5
Suiza.....	0,8	0,3	2.8	0.9	3.6	2.3

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la OECD, Reseña Estadística por Países 2009.

En general la productividad aumentó a una tasa elevada durante el período de 1960-1973 (casi siempre por encima del 2%) en productividad total de los factores. Incluso si tenemos en cuenta la especificidad de algunos países, lo que resulta claro es que, observamos una tendencia regresiva en el aumento de la productividad que se inicio aproximadamente al mismo tiempo que tomaba forma la Revolución de la tecnología de la información a comienzos de la década de 1970. El aumento más pronunciado de las tasas de productividad se dio durante el período de 1950-1973 (período de madurez del industrialismo), cuando las innovaciones tecnológicas industriales que se constituyeron como un sistema durante la Segunda Guerra Mundial se entrelazaron en un modelo dinámico de crecimiento económico. Pero a comienzos de la década de los años setenta, el potencial de productividad de esas tecnologías ya parecía haberse agotado y las nuevas tecnologías de la información no dan la impresión de invertir la disminución del crecimiento de la productividad durante las dos décadas siguientes (Castells, 2000: 100).

En el período de 1973-1990 el ritmo de crecimiento de la productividad no parece covariar con el cambio tecnológico, esto podría indicar la ausencia de diferencias considerables entre los regímenes industrial e informacional de crecimiento económico, al menos en lo referente a su impacto diferencial sobre el aumento de la productividad, lo que nos obligaría a considerar la tecnología y la productividad no como una relación causal simple y directa, sino como un proceso histórico constituido por diversas conexiones complejas que atañen entre otros factores a: 1) la consolidación de las revoluciones tecnológicas, ya que el impacto de las innovaciones no siempre es inmediato y 2) al tipo de tecnología y su articulación con las distintas ramas productivas; en el caso de las tecnologías electrónico-informáticas, la difusión inicial en Estados Unidos, se orientó hacia el sector servicios, en donde los efectos e impactos en la productividad, las actividades de amplio alcance, los nuevos productos y las nuevas formas organizacionales, representan un cambio y una serie de dificultades e inadecuaciones estadísticas incapaces de captar los movimientos de la economía informacional. En efecto, el análisis detallado de los métodos contables para hallar la productividad revela considerables fuentes de error de medida. Una de las distorsiones más importantes en los procedimientos de cálculo estadounidense hace referencia a la dificultad de medir la inversión en software en I+D, una importante partida de los bienes de inversión en la nueva economía, aunque recogida bajo

la categoría de bienes y servicios intermedios y sin aparecer en la demanda final, con lo que se rebaja la tasa real de aumento tanto de la producción como de la productividad (Castells 2000: 101)

Luego puede que, después de todo, la productividad no esté desapareciendo, sino aumentando a través de vías parcialmente ocultas mediante círculos de expansión. La tecnología y la gestión de la tecnología, incluido el cambio organizativo, puede estarse difundiendo de la industria de la tecnología de la información, telecomunicaciones y servicios financieros (los emplazamientos originales de la revolución tecnológica) a la industria en general y después a los servicios empresariales, para alcanzar de forma gradual actividades de servicios heterogéneos; donde existen menores incentivos para la difusión de la tecnología y una mayor resistencia al cambio de organización. Esta interpretación parece ser plausible a la luz de la evolución de la productividad en los Estados Unidos a comienzos de la década de 1990 y hasta 2005 (Ver cuadro 12, p. 168) en donde el incremento de la productividad industrial, impulso la productividad del conjunto de la economía, hasta un incremento entre el 2 y 3% anual, aumentando con creces el resultado de las décadas anteriores. Así el dividendo de la productividad de la revolución tecnológica de la información puede estar manifestándose.

Siendo para principios del siglo XXI, el caso de la nanotecnología, parecido al de las tecnologías de la información de finales del siglo XX, y tomando en consideración la poca información bibliográfica y electrónica referente al impacto en la productividad de las nuevas tecnologías nanoescalares, me parece más relevante utilizar los siguientes indicadores de competitividad del Banco Mundial, que permiten esclarecer la importancia de las nuevas tecnologías conectadas con el régimen de crecimiento flexible-global.

**Cuadro 13:**

**Porcentaje de las exportaciones totales anuales que se pueden caracterizar como de alta tecnología (% de las exportaciones de productos manufacturados)**

País	2004	2005	2006	2007	2008
Estados Unidos	30,3%	29,9%	30,1%	28,5%	27,1%
Japón	23,7%	22,5%	21,6%	19,0%	17,9%
Alemania	17,3%	17,0%	16,7%	14,2%	13,5%
Francia	19,5%	20,0%	21,2%	18,9%	20,2%
Italia	7,8%	7,8%	7,1%	6,6%	6,7%
Inglaterra	24,2%	28,0%	33,6%	19,5%	19,3%
Canadá	12,4%	13,2%	13,5%	14,3%	14,5%
España	7,0%	7,1%	6,2%	5,2%	
Suecia	17,2%	16,7%	15,9%	15,7%	15,8%
Suiza	22,0%	21,9%	21,9%	21,7%	23,0%

Fuente: elaboración propia a partir de los indicadores de desarrollo mundial del Banco Mundial 2010.  
Datos sobre ciencia y tecnología

La nanotecnología puede tener un impacto profundo en las ramas industriales demandantes de materiales como la aeroespacial, automovilística, de recubrimientos, construcción, cosméticos, cerámicos, detergentes, moldes, medicinas, fertilizantes, producción de combustibles, metales, polímeros, por nombrar unos pocos solamente.

En el mercado se encuentran ya disponibles, aplicaciones de esta naturaleza por ejemplo, los materiales nanoestructurados ya son utilizados en productos de lujo como bolas de tenis, golf, o boliche (a modo de reducir el número de giros que dan las mismas); en la fabricación de neumáticos de alto rendimiento (nanopartículas); la fabricación de telas con propiedades anti-manchas o antiarrugas (nanofibras); en cosméticos, fármacos y nuevos tratamientos

terapéuticos (nanoestructuras); en la mejora de procesos productivos mediante la introducción de materiales más resistentes o eficientes; o en el diseño de nuevos materiales para usos que van desde la electrónica, la aeronáutica y prácticamente toda la industria del transporte, hasta para su uso en armas sofisticadas y novedosas, etc<sup>62</sup>.

**Cuadro 14: Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB)**

País	2004	2005	2006	2007
Estados Unidos	2,6%	2,6%	2,6%	2,7%
Japón	3,2%	3,3%	3,4%	3,4%
Alemania	2,5%	2,5%	2,5%	2,6%
Francia	2,1%	2,1%	2,1%	2,1%
Italia	1,1%	1,1%	1,1%	
Inglaterra	1,7%	1,8%	1,8%	1,8%
Canadá	2,1%	2,1%	2,0%	2,0%
España	1,1%	1,1%	1,2%	1,3%
Suecia	3,7%	3,7%	3,8%	3,7%
Suiza	2,9%			

Fuente: elaboración propia a partir de los indicadores de desarrollo mundial del Banco Mundial 2010. Datos sobre ciencia y tecnología

Y es que desde la denominada Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI, por sus siglas en inglés), Estados Unidos pretende mantener su ventajosa posición al financiar, en 2005, poco más del millardo de dólares (1,081 millones) y programar para 2006 y 2007, 1.3 y 1.27 millardos de dólares respectivamente. A esos montos habría que sumar varios millones más en inversión en otras disciplinas generales, como la física, desde las cuales se realizan ciertas investigaciones nanocientíficas pero no propiamente nanotecnológicas, así como el dirigido a biotecnología y a ciertas áreas de especialización como la de los sistemas micro-electromecánicos (MEMS) que

<sup>62</sup> Gian Carlo Delgado, *Nanotecnología, paradigma tecnológico de vanguardia*. En contribuciones a la economía 2007, Texto completo en <http://www.eumed.net/ce/> (Consultado el 20 de diciembre de 2009).

no es considerada en este rubro (al menos en Estados Unidos) a pesar de que opere en la frontera del micro y nano mundo. Añádase unos miles de millones más en investigaciones militares a cargo del Departamento de la Defensa (DOD, por sus siglas en inglés).

La inversión en nanotecnología tanto de los gobiernos como de las empresas a nivel mundial se ha venido incrementando a pasos agigantados. De acuerdo al último reporte de Lux Research “Profiting from International Nanotechnology”, en 2006 la inversión mundial en investigación y desarrollo de la nanotecnología alcanzó los 12,400 millones de dólares y se vendieron nanoproducos por un monto de 50,000 millones de dólares

De la inversión total mencionada, los gobiernos (liderados por Estados Unidos y Japón) gastaron 6,400 millones de dólares, 10% más que en 2005, mientras que las empresas (con los mismos líderes) invirtieron 5,300 millones, 19% más que el año anterior. De ese total, los Estados Unidos ocupan el primer sitio con 1,930 millones de dólares seguidos por las empresas japonesas con 1,700 millones<sup>63</sup>

**Cuadro 15:**

**El número de patentes registradas. Solicitudes de patentes residentes**

País	2004	2005	2006	2007	2008
Estados Unidos	189.536	207.867	221.784	241.347	231.588
Japón	368.416	367.960	347.060	333.498	330.110
Alemania	48.448	48.367	48.012	47.853	49.240
Francia	14.230	14.327	14.529	14.722	14.743
Italia				9.225	
Inglaterra	19.178	17.833	17.484	17.375	16.523
Canadá	5.231	5.183	5.522	4.998	5.061
España	2.871	3.040	3.111	3.267	3.632

<sup>63</sup> Lux Research, *Nations Ranking 2007*. Disponible en <http://www.luxresearchinc.com/> (Consultado el 10 de diciembre de 2009).

Suecia	2.768	2.522	2.446	2.527	
Suiza	1.742	1.643	1.740	1.692	1.594

Fuente: elaboración propia a partir de los indicadores de desarrollo mundial del Banco Mundial 2010.

Datos sobre ciencia y tecnología

Una revisión de las patentes (sin considerar las pendientes por aprobar) inscritas en la oficina de Patentes y Marcas Registradas de Estados Unidos, indica que el número de patentes relacionadas directamente con técnicas o innovaciones en “ciencia e ingeniería de nanoescala” entre 1976 y 2002 fue de 61,409 y solo en 2003 se sumaron 8,630 más (Choi, 2005). Así, de 2000 a 2003 el incremento de dichas patentes fue el 50 % comparado con el 4% en el resto de campos científicos durante ese mismo período (Huang et al, 2004: 327). De éstas, Estados Unidos se adjudicó el grueso de patentes en esos años (el 60%), seguido por debajo por Japón (10.9%), Alemania (8.1), Canadá (2.9) y Francia (2.2) (Huang et al, 2004: 280,330). Lo anterior no es casual pues cálculos de Roco estiman que el gasto de los gobiernos a nivel mundial pasó de 430 millones de dólares en 1997 a 3 millardos en 2003. Un contexto en el que Estados Unidos aporta el 25% del financiamiento total.

Ahora bien, si revisamos este mismo polo de los estados nación desde el ritmo de crecimiento de las patentes en nanotecnología nos encontramos con que éstas han registrado índices exponenciales en todos los estudios realizados: Según Huang et al (2004: 352) el incremento entre 1996 y 2003, sólo en patentes registradas en Estados Unidos, fue de 217 por ciento mientras el resto de sectores registró un 57%.- De cualquier modo, indica Heines (2003), en términos generales los beneficiarios han sido un 90% las multinacionales u otros actores privados, 7% las universidades e institutos de investigación y 3% las agencias gubernamentales. Ello sugiere que el financiamiento público está siendo invertido del tal modo que el potencial negocio está siendo transferido dramáticamente hacia el sector privado pues se calcula que el financiamiento público totaliza alrededor de la mitad del financiamiento total mundial (público-privado). Tal divergencia se explica fundamentalmente no sólo porque en efecto mucha de la inversión pública se ha destinado al emplazamiento de instalaciones y equipo de investigación, sino sobre todo por el hecho de que los actores públicos involucrados directamente en la inversión y desarrollo, se enfocan más en la nanociencia o nanotecnología fundamental, mientras que los actores privados lo hacen en aplicaciones nanotecnológicas que pueden



mejorar los productos que ya se comercializan o en otras que pueden llegar al mercado en el corto plazo. Añádase aquellos aspectos socioeconómicos que implica la concentración de las patentes en unos cuantos actores tanto para el propio rumbo del desarrollo nanotecnológico, así como respecto a los impactos en la definición y delimitación del alcance de los supuestos beneficios de dicha tecnología en terminos sociales, es decir, el tipo y el modo de su socialización. (Foladori et al, 2006: 31)

**Cuadro 16:**

**Adjudicación de patentes nanotecnológicas para 2003**

País	Institución académica y/o empresa	Número de patentes
Estados Unidos	IBM	198
	Micron Technology	129
	Advanced Micro Devices	128
	Intel	90
	La Junta de Regentes de la	
	Universidad de California	89
	Minnesota Mining and	
	Manufacturing Company	
	Motorola	79
	Xerox	72
	Cannon	68
	Kodak	64
	Comino Incorporated	64
	Applied Materials	50
	Texas Instrument	47
	Genetech	37
MIT	36	
		36

Japón	Hitachi	68
	NEC	57
	Matsushita Electric	41
	Industrial	
	Lucent Toshiba	36

Fuente: Foladori (2006), p. 25

El análisis ha de insertarse en la dinámica de tales actores en los frentes industriales de relevancia y que son, por el número de patentes registradas desde 1976 hasta 2003, los siguientes: 1.- industria de químicos/catalíticos/farmacéuticos con 20,666 patentes; 2.- electrónicos con 9,984 patentes; 3.- materiales con 5,444 patentes y; 4.- otras áreas diversas que acumulan 38,043 patentes. Es decir, los tres primeros rubros totalizan alrededor del 65% de total de patentes en nanotecnología (Huang *et al*, 2004: 342-343).

Después de analizar los datos antes mencionados, no es sorprendente que exista un número creciente de empresas que se incorporan continuamente al mercado de productos nanoestructurados, Teniendo en cuenta que las compañías involucradas en nanotecnología, las cuales, como ya se ha mencionado, obtuvieron ingresos del orden de 50,000 millones de dólares en 2006, cantidad. Para Foladori (2006) y el grupo ETC (2005), crecerá a 250 mil millones de dólares en los próximos diez años.

La nanotecnología ha resultado un poderoso instrumento, producto entre otros factores de la corriente actual en que el lapso en el que confluyen la investigación científica y el desarrollo tecnológico, se han venido acortando. También, la inserción de campos tan diversos como la física, la química, la biología, las ciencias de la computación y la ingeniería han posibilitado el crecimiento rápido de la nanotecnología.

## El caso mexicano

De acuerdo con el diagnóstico de la nanotecnología en México, realizado por la Secretaría de Economía en febrero de 2008, centrado en una encuesta aplicada a las empresas manufactureras que participan en el área de nanotecnología y la recabación de la información del sector académico referente a los recursos, proyectos y esfuerzos científicos en materia de investigación y desarrollo de la tecnología nanoescalar, es posible reconocer el panorama nacional actual y el aprovechamiento del potencial del nuevo paradigma.

Desde el año 2002 la investigación en nanotecnología pasa a ser reconocida como un área de investigación estratégica., El Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001- 2006, considera la nanotecnología como un área estratégica de los materiales avanzados, señalando la necesidad de contar con un Programa Nacional de Nanotecnología. Sin embargo, el Programa Especial no incluyó una mecánica de operación ni un presupuesto para lograrlo, quitándole efectividad.

El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 considera a la nanotecnología, mecatrónica y biotecnología como sectores estratégicos que permitan potenciar la productividad y la competitividad de la economía mexicana.

El CONACYT apoyó entre 1998 y 2004 a 152 proyectos de investigación relacionados con la nanotecnología, que involucran a 56 instituciones de investigación, habiéndose erogado en ese periodo alrededor de 14.4 millones de dólares distribuidos en un 53% para el área de materiales, 14 % a Química, 14% a Electrónica, 12% a Física y 7% a otros.

Las instituciones son:

1. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) México
2. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) Mérida
3. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) Querétaro

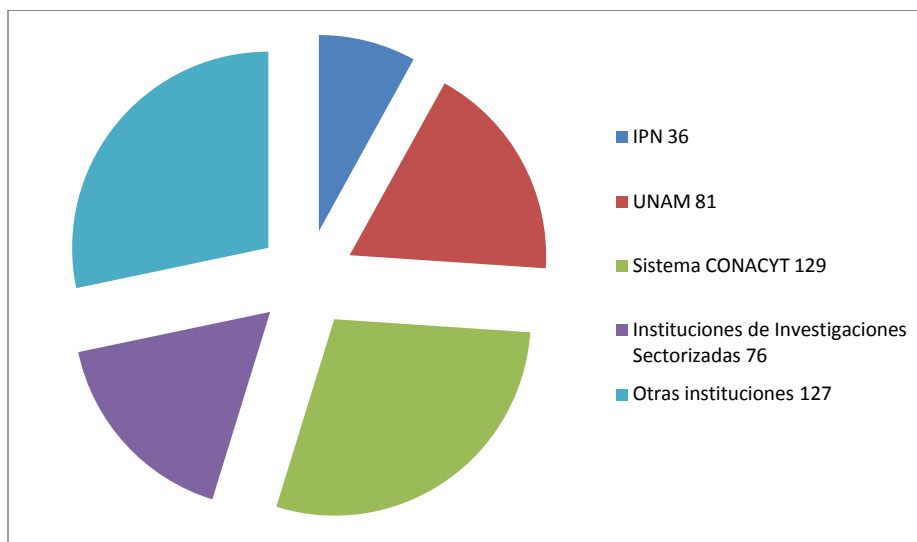
4. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) Saltillo
5. Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIITEC) del Instituto Politécnico Nacional (IPN)
6. Escuela Superior de Física y Matemáticas (IPN)
7. Instituto de Física (UNAM)
8. Instituto de Química (IQ) UNAM
9. Centro de Investigación en Energía (CIE) UNAM
10. Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) UNAM
11. Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) UNAM
12. Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) UNAM
13. Facultad de Ciencias (FC) UNAM
14. Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC) UNAM
15. Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)
16. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)
17. Centro Nacional de Metrología (CENAM)
18. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMA)V)
19. Centro Investigación en Química Aplicada (CIQA)
20. Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI)
21. Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC)
22. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. (CICY)
23. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)
24. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD)
25. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Edo. de Jalisco, A.C. (CIATEJ)
26. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)
27. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETE)Q)
28. Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. (CIO)
29. Centro de Tecnología Avanzada, Querétaro (CIATEQ, A.C.)
30. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.(COMIMSA)
31. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICYT)

32. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)
33. Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH)
34. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)
35. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)
36. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP)
37. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
38. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH)
39. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)-Azcapotzalco
40. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)-Iztapalapa
41. Universidad de Guadalajara (UDG)
42. Universidad de Guanajuato (UG)
43. Universidad de Sonora (UNISON)
44. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)
45. Universidad Veracruzana. Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología (UV/MICRONA)
46. Instituto Tecnológico de Celaya (ITC)
47. Instituto Tecnológico de Saltillo (ITS)
48. Instituto Tecnológico de Hermosillo (ITH)
49. Instituto Tecnológico de Querétaro (ITQ)
50. Universidad de Monterrey (UDEM)
51. Universidad de las Américas Puebla (UDLA)
52. Universidad Anáhuac México Sur (UAMS)
53. Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM)
54. Universidad Politécnica de Chiapas (IPCH)
55. Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ)
56. Instituto Tecnológico de Zacatepec (ITZ)

Se identificaron 449 investigadores relacionados con la temática, de los cuales el 18% forma parte de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el 8% al Instituto Politécnico Nacional (IPN), un 29% se encuentra adscrito a Centros Públicos CONACYT y entre las instituciones de investigación sectorizadas, se encuentra el Instituto Mexicano del Petróleo

(IMP) con un 15% del total. El 30% restante, se distribuye en otras 20 instituciones ubicadas en distintos estados del país

**Figura 5: Investigadores por Institución Numero de investigadores**



Fuente: Secretaría de Economía (2008). <http://www.nanored.org.mx>

#### **Laboratorios y Plantas Piloto**

Hacia finales del 2006, el CONACYT emitió dos convocatorias, la primera enfocada a apoyar la creación de laboratorios nacionales y la segunda para la elaboración de megaproyectos en áreas estratégicas, considerando a la nanotecnología en ambas. En el primer caso se apoyó a dos centros CONACYT (CIMAV e IPICYT) para la instalación de dos laboratorios nacionales de nanotecnología, con \$20 millones de pesos a cada uno y en el segundo, a 5 instituciones (INAOE, CIMAV, IPICYT, UNAM e ININ) con \$100 mil pesos en cada caso para la elaboración de la propuesta.

En cuanto a los laboratorios y plantas piloto equipadas para el desarrollo y estudio de la nanotecnología, se ubicaron los que a continuación se presentan:

**Cuadro 17: Laboratorios por Institución (157)**

Institución	Laboratorios
CIMAV	18
IMP	16
IIM-UNAM	11
CIATEC	11
CIDETEQ	8
CIE-UNAM	7
CIAD	7
CIBNOR	7
IPICYT	6
UASLP	6
UNISON	6
CIQA	5
UDG	5
CINVESTAV- Querétaro	4
CENAM	4
CICY	4
UACJ	4
IQ- UNAM	3
CICESE	3
UACH	3
UANL	3
UAM-Iztapalapa	3
ESFM -IPN	2
CCMC-UNAM	2

Fuente: Secretaría de Economía (2008). <http://www.nanored.org.mx>

**Cuadro 18: Plantas Piloto por Institución (17)**

Institución	Plantas Piloto
IMP	5
CIE-UNAM	2
CIQA	2
CIAD	2
CIDETEQ	2
CINVESTAV- Querétaro	1
CIMAV	1
CIBNOR	1
UDG	1

Fuente: Secretaría de Economía (2008). <http://www.nanored.org.mx>

Son sólo algunas las instituciones (IIM-UNAM, IMP, IPICY, CIQA, CIMAV y CENAM) que cuentan con equipo especializado de vanguardia, necesario para abordar los temas de frontera del conocimiento en materia de nanociencia y nanotecnología

**Cuadro 19: Número de Líneas de Investigación Relacionadas con la Nanotecnología por Institución**

Institución	Líneas de investigación
CIMAV	45
IIM-UNAM	40
CFATA-UNAM	21
CIQA	21
BUAP	20
CINVESTAV- Mérida	14
CINVESTAV- Querétaro	14



CIE-UNAM	11
UASLP	11
IF- UNAM	10
ININ	10
IPICYT	9
IMP	7
UAM-Iztapalapa	7
CICESE	6
CIITEC- IPN	5
CIATEQ, A.C.	5
UACJ	5
UAEH	5
UAM-Azacapatzalco	5
UG	5
CINVESTAV- México	4
CCADET-UNAM	4
UANL	4
UDG	4
IQ- UNAM	3
FC-UNAM	3
CENAM	3
CIAD	3
CIDETEQ	3
CIO	3
UNISON	3
UV/MICRONA	3
CINVESTAV- Saltillo	2
ESFM –IPN	2
CCMC-UNAM	2
CIDESI	2
COMIMSA	2

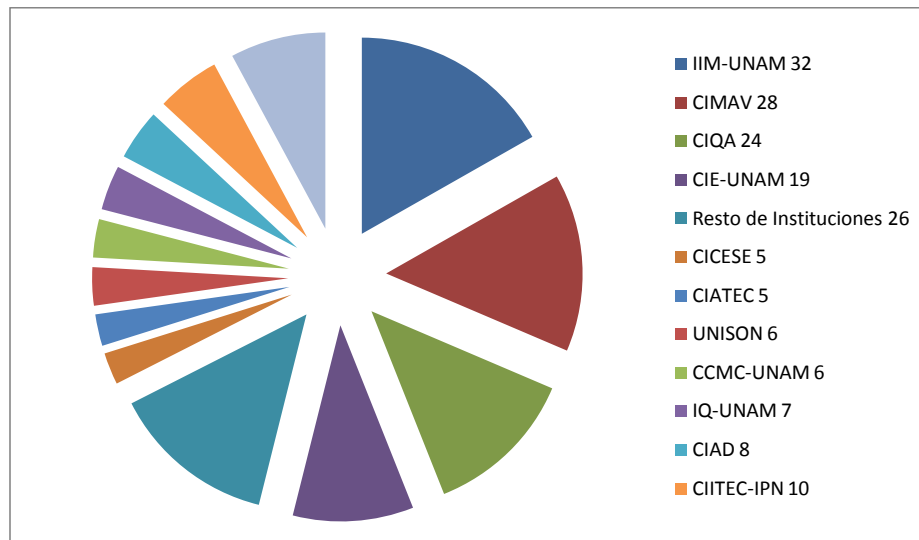
UACH	2
IPCH	2
CIATEC	1
CICY	1
CIATEJ	1
CIBNOR	1
UADY	1
UMSNH	1
ITC	1
ITS	1
UAZ	1
ITZ	1

Fuente: Secretaría de Economía (2008). <http://www.nanored.org.mx>

### **Proyectos en Desarrollo**

El 46% (26) de las instituciones reportan al menos un proyecto en desarrollo relacionado con nanotecnología. El total de éstos asciende a 191

**Figura 6: Distribución de los proyectos vigentes**



Fuente: Secretaría de Economía (2008). <http://www.nanored.org.mx>

Como se puede observar, la institución con mayor número de proyectos es el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM, algunas de las líneas de investigación que realiza dicho instituto son:

- 1.- Análisis del procesamiento de películas producidas a partir de nanocompuestos polimérico
- 2.- Catalizadores dendriméricos
- 3.- Desarrollo de nanocompuestos de poliofelinas
- 4.-Desarrollo y análisis de microperfiles poliméricos por el método de pultrusión
- 5.-Estudio de hidrotalcitas en forma nanométrica
- 6.-Estudio de la magnetoimpedancia en aleaciones ferromagnéticas amorfas y nanocristalizadas
- 7.-Estudio de las propiedades electrónicas del silicio poroso
- 8.-Estudio de nanocompuestos poliméricos producidos a partir de poliestirenode alto impacto y nanoarcillas
- 9.-Estudio de propiedades electrónicas y estructurales en nanocúmulos metálicos.

- 10.-Estudios de biocompatibilidad y biomineralización de las partículas de carbono
- 11.-Materiales cerámicos para catálisis
- 12.-Materiales electrocerámicos nanoestructurados aplicables a celdas de combustible de óxidos sólidos
- 13.-Materiales nanoestructurados
- 14.-Materiales que contienen fuleneros
- 15.-Nanotubos de carbono con azufre
- 16.-Síntesis de nanotubos de carbono
- 17.-Propiedades físico-químicas de nuevos materiales cerámicos nanoestructurados.

La ausencia de una iniciativa nacional en México indujo a los diferentes centros de investigación a la búsqueda particular de convenios de cooperación internacional, así como a su participación en redes de investigación de carácter nacional y mundial.

Entre las redes que han sido formadas o participan investigadores en México se encuentran:

**1.- Red Internacional de Nanociencia y Nanotecnología (Red INN)**, en la que participan investigadores de las siguientes instituciones:), Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Universidad Iberoamericana (IBERO), Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía (INNN) y la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (IPN), los cuales se centran en el estudio, investigación y aplicación de nanoestructuras.

También participan instituciones internacionales como la Universidad de Texas (E.U.A), Universidad de Chile (Chile), Universidad de Concepción (Chile), Universidad de Parma (Italia), Universidad de California (E.U.A), Universidad técnica de Estambul (Turquía)

**2. Red de Grupos de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología (Red Regina)**, en la que participan diferentes grupos de investigadores de la UNAM en el tema de Nanociencia, con el fin de generar proyectos interdisciplinarios y optimizar el uso de equipo experimental y sistemas de cómputo.

**3. Red Nacional de Nanociencia y Nanotecnología**, en la que participan investigadores y grupos de diversas instituciones del país y del extranjero, como el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (IICO), Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN), Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CIMAV), Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATAIPN), Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC-UNAM), Universidad Autónoma de S.L.P., Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Instituto de Microelectrónica de Madrid (IMM) y Universidad Autónoma de Madrid (UAM), interesados en investigar, aportar y dar a conocer el quehacer científico en el área de nuevos materiales.

De acuerdo a la encuesta aplicada por la Secretaría de Economía a las empresas manufactureras que participan en el área de nanotecnología, a continuación se presentan los resultados obtenidos de 94 empresas de 140 seleccionadas.

De las 94 empresas que contestaron el cuestionario 64% son empresas grandes, 20% medianas, 12% pequeñas y 4% micro. Se encuentran distribuidas en 15 entidades federativas, concentrándose la mayor parte en Nuevo León (22.3%), Jalisco (14.9%), el D.F. y Edo. de México (14.8%) y Guanajuato (11.7%).

Mapa 3:

### Distribución Geográfica de las Empresas Encuestadas



Fuente: Secretaría de Economía (2008). <http://www.nanored.org.mx>

Cuadro 20: Número de Empresa Encuestadas por Giro

Giro	Número de Empresas Encuestadas
Acero	5
Alimentos	4
Aluminio y Metales y equipo	11
Aplicaciones médicas	5
Biotecnología	3
Catalizadores	1
Cementos	2

Electrónica	17
Materiales Eléctricos	7
Materiales y Soluciones de empaque	2
Pinturas y recubrimientos	5
Plásticos-Calzado	13
Productos Cerámicos	4
Productos de cuidado personal	1
Química	9
Textiles y Fibras	2
Tratamiento de agua	1
Vidrio	2

Fuente: Secretaría de Economía (2008). <http://www.nanored.org.mx>

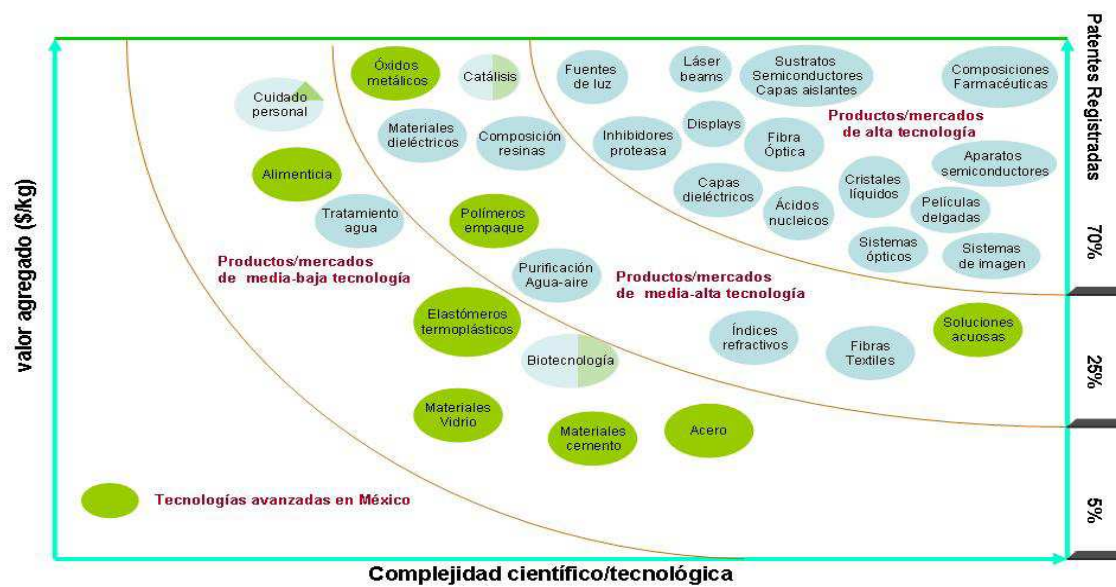
Figura 7:

**Lugar de origen de Proveedores**



Fuente: Secretaría de Economía (2008). <http://www.nanored.org.mx>

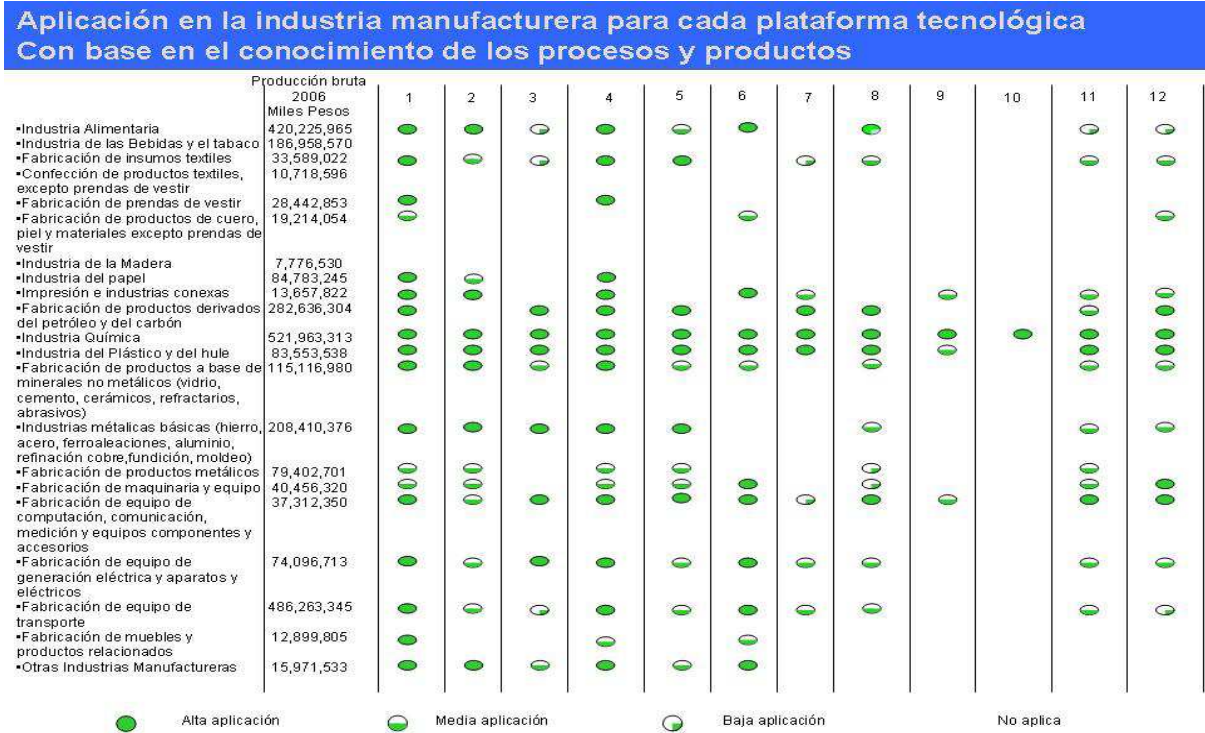
Figura 8: Nichos por plataforma tecnológica y aplicación a la industria manufacturera



Fuente: Secretaría de Economía (2008). <http://www.nanored.org.mx>



Figura 9:



### Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Plásticos y Hules

**Nombre de la empresa: Plásticos Rex**  
**Contacto: Ing. Francisco J. Espinoza**  
**Competencia clave: Materiales poliméricos nanoestructurados**  
**Producción PVC y PE alta temperatura/año: 3,000**  
**Tipo de nanopartículas: nanoarcillas, óxidos inorgánicos**  
**Total Nanopartículas (kg/año): 90,000**



### Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Plásticos y Hules

**Nombre de la empresa: 3M de México**  
**Contacto: Ing. Mauricio Rui**  
**Competencia clave: Materiales poliméricos nanoestructurados**  
**Producción Cintas m2/año: 11,000,000**  
**Tipo de nanopartículas: nanoarcillas, óxidos inorgánicos**  
**Total Nanopartículas (kg/año): 19,800**



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Plásticos y Hules

**Nombre de la empresa:** Polímeros Nacionales S.A. de C.V.  
**Contacto:** Ing. Gabriel Reyes Osorio  
**Competencia clave:** Materiales poliméricos nanoestructurados  
**Producción POLIFORTE PP/año:** 2,500  
**Tipo de nanopartículas:** nanoarcillas, óxidos inorgánicos  
**Total Nanopartículas (kg/año):** 100,000



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Plásticos y Hules

**Nombre de la empresa:** Indelpro S.A. de C.V.  
**Contacto:** Ing. Luis Longoria Lugo  
**Competencia clave:** Materiales poliméricos nanoestructurados  
**Producción PP piezas inyectadas/año:** 6,000  
**Tipo de nanopartículas:** nanoarcillas, óxidos inorgánicos  
**Total Nanopartículas (kg/año):** 240,000



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Electrónica

**Nombre de la empresa:** Sony de Tijuana Este  
**Contacto:** Horman Millan/ Judith Amaral  
**Competencia clave:** Materiales poliméricos nanoestructurados  
 Producción pantallas planas, : confidencial  
 Producción de modulares de audio: confidencial  
 Tipo de nanopartículas: nanoarcillas, óxidos inorgánicos  
 Total Nanopartículas (kg/año): confidencial



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Electrónica

**Nombre de la empresa:** Vitromex de Norteamérica  
**Contacto:** Ing. Simón Mata  
**Competencia clave:** Nanopartículas  
 Producción recubrimiento cerámico para piso (m2/año): 32,000,000  
 Tipo de Nanopartículas: óxidos inorgánicos y metales  
 Total Nanopartículas (kg/año): 28,000



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Electrónica

**Nombre de la empresa:** Kemet de México S.A. de C.V.

**Contacto:** Ing. Simón Mata

**Competencia clave:** Materiales inorgánicos nanoestructurados

Producción capacitores de tantalio (piezas/año): 3,600,000,000

Tipo de Nanopartículas: metales

Total Nanopartículas (kg/año): 5,400



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Industria Eléctrica

**Nombre de la empresa:** Antiestática de México S.A. de C.V.

**Contacto:** Matías Aliseda

**Competencia clave:** Materiales poliméricos nanoestructurados

Producción taloneras, pulseras, batas y charolas disipativas piezas/año: 554,000

Tipo de nanopartículas: nanoarcillas, óxidos inorgánicos

Total Nanopartículas (kg/año): 3,324





## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Industria Eléctrica

**Nombre de la empresa:** Servicios Condumex S.A. de C.V.

**Contacto:** Ing. Juan Manuel Hernández Hernández

**Competencia clave:** Materiales poliméricos nanoestructurados

**Producción Cable de energía ton/año:** 900

**Tipo de nanopartículas:** nanoarcillas, óxidos inorgánicos

**Total Nanopartículas (kg/año):** 6,750



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Industria Eléctrica

**Nombre de la empresa:** Viakable

**Contacto:** Ing. Sergio A. MontesValdez

**Competencia clave:** Materiales inorgánicos nanoestructurados

**Producción cable eléctrico (ton/año):** 100,000

**Tipo de Nanopartículas:** Nanotubos de carbono

**Total Nanopartículas (kg/año):** 900



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Cementos

**Nombre de la empresa:** Dynasol Elastomeros S.A. de C.V.

**Contacto:** Walter Ramírez

**Competencia clave:** Materiales poliméricos nanoestructurados

**Producción hule solprene 1205 (ton/año):** 70,000

**Tipo de nanomaterial:** metalocenos

**Total Nanopartículas (kg/año):** confidencial



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Cementos

**Nombre de la empresa:** Cemex Central S.A. de C.V.

**Contacto:** Ing. María Claudia Ramírez

**Competencia clave:** Nanopartículas

**Producción cemento, agregados (ton/año):** confidencial

**Tipo de nanomaterial:** óxidos inorgánicos

**Total Nanopartículas (kg/año):** confidencial



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Cementos

**Nombre de la empresa:** Palau Bioquim S.A. de C.V.

**Contacto:** Benito Canales López

**Competencia clave:** Nanobiotecnología

**Producción Algaenzims(l/año):** 50,000, **Algaroot (l/año):** 5,000

**Tipo de nanomaterial:** Complejos enzimáticos y no enzimáticos y catalizadores

**Total Nanopartículas (kg/año):** Se desconoce



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Biotecnología

**Nombre de la empresa:** Coyotefoods Biopolymer and Biotechnology SLRMI

**Contacto:** Juan Carlos Contreras Esquivel

**Competencia clave:** Nanopartículas, Materiales inorgánicos nanoestructurados, Nanobiotecnología

**Producción oligosacáridos de quitosán(kg/año):** 10, **Genipina(kg/año):** 5, **Pectina (kg/año)** 2, **polisacaridas (unidades/año):** 10,000

**Tipo de nanomaterial:** Carbohidratos, Complejos enzimáticos y no enzimáticos y nanofibras de biopolímeros

**Total Nanopartículas (kg/año):** 2.5





## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Metales-Equipos

**Nombre de la empresa:** Mabe S.A. de C.V.  
**Contacto:** Ing. Francisco Anton Gabelich  
**Competencia clave:** Materiales poliméricos nanoestructurados  
 Producción Refrigeradores y Lavadoras piezas/año: 7,000,000  
 Tipo de nanopartículas: nanoarcillas, óxidos inorgánicos  
 Total Nanopartículas (kg/año): 70,000



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Pinturas y Recubrimientos

**Nombre de la empresa:** Adler de México S.A. de C.V.  
**Contacto:** Ing. José Luis Stone Aguilar  
**Competencia clave:** Nanopartículas  
 Producción pinturas (litros/año): 300,000  
 Tipo de Nanopartículas: óxidos inorgánicos  
 Total Nanopartículas (kg/año): 1,440



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Pinturas y Recubrimientos

**Nombre de la empresa:** Grupo Comex  
**Contacto:** Luselene Rincón Arguelles  
**Competencia clave:** Materiales poliméricos nanoestructurados  
**Producción pinturas y recubrimientos (l/año):** 200,000,000  
**Tipo de nanomaterial:** Polímeros con nanoarcillas  
**Total Nanopartículas (kg/año):** confidencial



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Pinturas y Recubrimientos

**Nombre de la empresa:** Pinturas del Bajío S.A. de C.V.  
**Contacto:** Rodolfo Zanella Almaza  
**Competencia clave:** Nanopartículas  
**Producción recubrimientos epóxicos (litros/año):** 45,000  
**Producción recubrimientos de poliuretano (litros/año):** 40,000  
**Tipo de Nanopartículas:** óxidos inorgánicos  
**Total Nanopartículas (kg/año):** 2,832



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Industria Química

**Nombre de la empresa:** Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V.

**Contacto:** Ing. Ricardo Benavides Pérez

**Competencia clave:** Nanopartículas

Producción plata (onzas/año): 100,000,000, oro (onzas/año): 1,600,000

Producción zinc (ton/año): 240,000, hidróxido de magnesio (ton/año): 50,000

Tipo de Nanopartículas: Plata, oro, zinc, hidróxido de magnesio

Total Nanopartículas (kg/año): 1415



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Industria Química

**Nombre de la empresa:** Nanosoluciones S.A. de C.V.

**Contacto:** Ing. Raúl Tafolla Rodríguez

**Competencia clave:** Nanopartículas

Producción: Confidencial

Tipo de Nanopartículas: Confidencial

Total Nanopartículas (kg/año): Confidencial



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Petróleo y sus Derivados

**Nombre de la empresa:** PEMEX Refinación

**Contacto:** René Zarate Ramos

**Competencia clave:** Nanopartículas, Materiales inorgánicos nanoestructurados

**Producción gasolina premium (barriles/año):** 95,000,000, **Gasolina Magna (barriles/año):** 45,000,000, **Diesel (barriles/año)** 208,000,000, **Combustóleo (barriles/año):** 140,000,000

**Tipo de nanomaterial:** catalizadores, óxidos inorgánicos nanoestructurados

**Total Nanopartículas (kg/año):** confidencial



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Vidrio

**Nombre de la empresa:** Vitro corporativo S.A. de C.V.

**Contacto:** Ing. Alfredo Martínez Soto

**Competencia clave:** Nanopartículas

**Producción vidrio plano y automotriz (ton/año):** 1.080,000

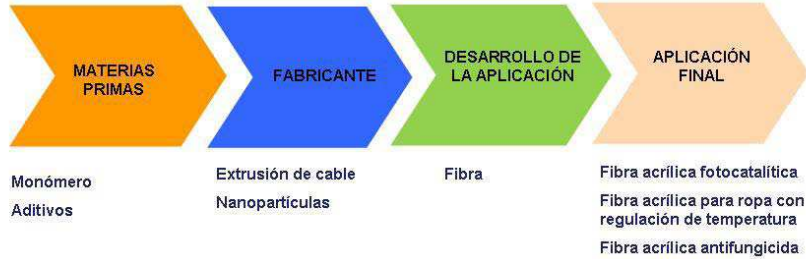
**Tipo de Nanopartículas:** óxidos inorgánicos

**Total Nanopartículas (kg/año):** 172,800



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Textiles

**Nombre de la empresa:** Kaltex Fibers S.A. de C.V.  
**Contacto:** Ing. José de Jesús de la Torre Martín del Campo  
**Competencia clave:** Nanopartículas  
 Producción fibra acrílica (ton/año): 75,000  
 Producción de fibra corta a partir de cable (ton/año): 45,000  
 Tipo de Nanopartículas: óxidos inorgánicos  
 Total Nanopartículas (kg/año): 120,000



## Mapas de la Cadena Productiva. Segmento Industria Alimentaria

**Nombre de la empresa:** Sigma Alimentos  
**Contacto:** Ing. Rodolfo Brajcich  
**Competencia clave:** Materiales poliméricos nanoestructurados  
 Producción yogurt/año: 45,000  
 Tipo de nanopartículas: nanoarcillas, óxidos inorgánicos  
 Total Nanopartículas (kg/año): 91280





La difusión inicial del nuevo patrón tecnológico BANG, posiblemente sea el rasgo dominante en la última década en Estados Unidos, consecuencia de las sucesivas transformaciones que tienen lugar en la estructura industrial de dicha economía central, a partir del aprovechamiento de las tecnologías nanoescalares. Un patrón tecnológico emergente que coexiste con el dominante tecno-económico informacional. El nuevo patrón se desarrolla y permite resolver los problemas tecnológicos estructurales en la lógica global-flexible del actual modelo productivo.

No hay que olvidar que el impulso y evolución de la nanotecnología se articula dentro de la lógica de la sociedad informática, es decir, se conecta con la base tecnológica desarrollada desde mediados del siglo XX, y que en la actualidad incluye a las industrias tanto de la electrónica que no producen bienes informáticos (como la electrónica de consumo o el equipo industrial o bélico) o las de los servicios de la información; además con una infraestructura particular (cable, fibra óptica, radio, satélite), internet, el transporte físico de alta velocidad (por tierra, mar, aire); y con el modo de organización flexible.

Por lo tanto en el siguiente apartado me propongo analizar las características principales de la organización flexible de la producción, transformación espacial del capitalismo mundial, posibilitado entre otros factores por la interconexión de la producción a lo largo de continentes, países y localidades donde tiene injerencia el capitalismo. Las innovaciones en el campo de la informática y las telecomunicaciones han posibilitado un cambio espacio-temporal que se expresa en una nueva forma de organización de las actividades productivas, caracterizado por su capacidad para provocar repercusiones a distancia, dentro de una modalidad de interconexión cada vez más intensa, sistemática y acelerada. Tal proceso implica la generación de flujos, el encadenamiento de actividades en redes y una continua interacción entre un número creciente de agentes.

#### **4.2.- El modelo toyotista de producción y la transformación en redes de las empresas.**

Siguiendo a Castells (2000: 179), en las últimas dos décadas del siglo XX, ha surgido una nueva economía a escala mundial, la denomina informacional y global, para identificar sus rasgos fundamentales y distintivos, y para destacar que están entrelazados. Es informacional por que la productividad y competitividad de las unidades o agentes de esta economía (ya sean

empresas, regiones o naciones) depende fundamentalmente de su capacidad para generar, procesar y aplicar con eficiencia la información basada en el conocimiento. Es global por que la producción, el consumo y la circulación, así como sus componentes (capital, mano de obra, materias primas, gestión, información, tecnología, mercados), están organizados a escala global, bien en forma directa, bien mediante una red de vínculos entre los agentes económicos.

Es informacional y global porque, en las nuevas condiciones históricas, la productividad se genera y la competitividad se ejerce por medio de una red global de interacción. Y ha surgido en el último de cuarto de siglo XX, porque la revolución de la tecnología de la información proporciona la base material indispensable para esa nueva economía,

El vínculo histórico entre la base de conocimiento-información de la economía, el alcance global de la producción y la revolución de la tecnología de la información es el que da nacimiento a un sistema económico nuevo y distinto, cuya dinámica y organización —probablemente caracterizara a las décadas venideras— me propongo identificar en el presente apartado.

En ese contexto la competencia global se lleva a cabo en el marco de la economía global — Catells y Tyson (1988), Kincaid y Portes (1994), Katz (1987), Fajnzylber (1990), etc.,— e informacional. Una economía global es una realidad nueva para la historia, distinta de una economía mundial. Una economía mundial, es decir, una economía en la que la acumulación de capital ocurre en todo el mundo, ha existido en Occidente al menos desde el siglo XVI, como nos enseñaron Fernand Brandel (1967) e Immanuel Wallerstein (1974). Siguiendo a Castells (2000) una economía global es algo diferente. Es una economía con la capacidad de funcionar como una unidad en tiempo real a escala planetaria. Aunque el modo capitalista de producción se caracteriza por su expansión incesante, tratando siempre de superar los límites de tiempo y espacio, sólo a finales del siglo XX la economía mundial fue capaz de hacerse verdaderamente global en virtud de la nueva infraestructura proporcionada por las tecnologías de la información y la comunicación. Esta globalidad incumbe a todos los procesos y elementos del sistema económico, por ejemplo:

- 1) El capital se gestiona las veinticuatro horas del día en mercados financieros globalmente integrados que funcionan en tiempo real por primera vez en la historia (Chesnais, 1994); transacciones de miles de millones de dólares tienen lugar en segundos en los circuitos

electrónicos de todo el globo. Las nuevas tecnologías permiten que los capitales vayan y vengan entre economías en un tiempo muy corto, de modo que éstos y, por tanto, los ahorros y la inversión, están interconectados en todo el mundo, de los bancos a los fondos de pensiones, mercados bursátiles y cambios de divisas. Puesto que las divisas son interdependientes, lo son también las economías de todos los países. Los flujos de capital se vuelven globales y cada vez más autónomos frente a la actuación real de las economías.

- 2) Los mercados laborales no son verdaderamente globales, excepto un pequeño pero creciente segmento de profesionales y científicos, pero el trabajo es un recurso global al menos de tres modos: las empresas pueden escoger ubicarse en una variedad de emplazamientos de todo el mundo para encontrar la fuerza de trabajo que necesitan, ya sea en cuanto a la cualificación, costes o control social; las empresas de todas partes también pueden solicitar mano de obra muy cualificada de cualquier lugar y la obtendrán si ofrecen la compensación y las condiciones laborales adecuadas; y el trabajo entrará en cualquier mercado por iniciativa propia, llegando de cualquier lugar, cuando los sujetos sociales, son empujados de sus hogares por la pobreza y la guerra o impulsados hacia una nueva vida por encontrar esperanza para sus hijos. Aunque la movilidad resulte cada vez más restringida por los movimientos xenófobos que conducen a que los controles de la inmigración sean mucho más estrictos.
- 3) La ciencia, la tecnología y la información también están organizadas en flujos globales, si bien en una estructura asimétrica. La propiedad de la información tecnológica desempeña un importante papel en la creación de una ventaja comparativa y los centros de I+D, se concentran fuertemente en ciertas zonas y en algunas empresas. Sin embargo, las características del nuevo conocimiento productivo favorecen su difusión; ya que la comunicación del conocimiento en una red global de interacción es al mismo tiempo la condición para mantenerse al corriente de su rápido avance y el obstáculo para el control de su propiedad. Además, la capacidad de innovar se alberga sobre todo en los cerebros humanos, lo que hace posible la difusión de la innovación por el movimiento de científicos, ingenieros y gestores entre organizadores y sistemas de producción.
- 4) Pese a la persistencia del proteccionismo y las restricciones al libre comercio, los mercados de bienes y servicios cada vez se globalizan más. Esto no significa que todas las firmas vendan por todo el mundo, pero sí que la estrategia que siguen tanto las grandes como las pequeñas en la economía informacional sea vender donde puedan a lo largo de todo el mundo, ya sea directamente o por medio de su vinculación con redes que operan en el mercado mundial

Sin embargo, la mayor transformación que subyace en el surgimiento de la economía global atañe a la gestión de la producción y distribución, y al proceso de producción en sí mismo a



escala global —una “fábrica mundo”—, (Gereffi, 1993). Los segmentos dominantes de la mayoría de los sectores económicos (ya sea de bienes o de servicios) se organizan a escala mundial en sus procedimientos operativos reales, formando lo que Robert Reich (1992) ha etiquetado de “trama global”. El proceso de producción incorpora componentes producidos en muchos emplazamientos diferentes por empresas distintas y ensamblados para propósitos y mercados específicos en una nueva forma de producción: una producción de elevado volumen, flexible y personalizada. Esta trama no corresponde sólo a la visión de una empresa global que obtiene sus suministros de diferentes unidades de todo el mundo. El nuevo sistema de producción se basa en una combinación de alianzas estratégicas y proyectos de cooperación específicos entre grandes empresas, unidades descentralizadas de cada una de ellas y redes de pequeñas y medianas empresas que conectan entre sí o con empresas mayores o redes de empresas. Estas redes de producción transnacionales operan bajo dos configuraciones principales: en la terminología de Gereffi, cadenas de mercancías centradas en el productor (en industrias como las de automóviles, computadoras, aviones y maquinaria eléctrica, etc.) y cadenas de mercancías dirigidas al comprador (en industrias como las de confección, zapatos, juguetes, artículos para el hogar, etc.) (Castells, 2000: 123)

Lo que resulta fundamental en cuanto al análisis de la fase de desarrollo actual del capitalismo, referente al papel de la competencia global de las empresas capitalistas, es la capacidad de reestructuración económica y la reorganización de la producción a partir de la década de 1970, como respuesta a la crisis de rentabilidad que sufría el proceso de acumulación de capital, en otras palabras, una serie de cambios científico-tecnológicos, políticas económicas y recursos orientados hacia el aumento de la productividad y la competitividad.

En este contexto, la primera y más amplia tendencia de la evolución organizativa que se ha identificado, en particular en la obra pionera de Piore y Sabel (1984), es la transición de la producción en serie a la producción flexible, o del fordismo al posfordismo, según la formulación de Coriat (1990). El modelo de producción en serie se sustentaba en los incrementos de productividad obtenidos por las economías a escala en un proceso de producción mecanizado basado en una cadena de montaje de un producto tipificado, en las condiciones de control de un gran mercado por una forma organizativa específica: la gran

empresa estructurada según los principios de integración vertical y la división del trabajo social y técnica institucionalizada.

Estos principios se plasmaron en los métodos de gestión conocidos como taylorismo y organización científica del trabajo, adoptados como líneas maestras tanto por Henry Ford como por Lennin.

Cuando la demanda se volvió impredecible en cantidad y calidad, cuando los mercados se diversificaron en todo el mundo y, en consecuencia, se dificultó su control, cuando el ritmo del cambio tecnológico hizo obsoleto el equipo de producción cometido único, el sistema de producción en serie se volvió demasiado rígido y costoso para las características de la nueva economía. Una respuesta tentativa para superar esa rigidez fue el sistema de producción flexible, usualmente vinculado a una situación de demanda creciente de un producto determinado, combina la producción de alto volumen, que permite economías de escala y sistemas de producción personalizada reprogramable, que captan las economías de diversificación. Las nuevas tecnologías permiten la transformación de las cadenas de montaje características de las grandes empresas en unidades de producción fáciles de programar que pueden ser sensibles a las variaciones del mercado (flexibilidad de producto) y a los cambios de los insumos tecnológicos (flexibilidad del proceso).

Los nuevos métodos de gestión, se originaron en su mayoría en empresas japonesas. (Coriat, 1992), el éxito considerable obtenido por las firmas automovilísticas japonesas en productividad y competitividad se ha atribuido en buena medida a su revolución de la gestión, de tal modo que en la literatura empresarial toyotismo —colaboración entre la dirección y el trabajador, la mano de obra multifuncional, el control de calidad total y la reducción de la incertidumbre—, se opone a fordismo, como la nueva fórmula ganadora, adaptada a la economía global y al sistema de producción flexible. El modelo original japonés ha sido ampliamente imitado por otras empresas y también se ha transplantado por las firmas japonesas a sus emplazamientos en el extranjero, lo que ha podido conducir a un aumento apreciable de los resultados de esas firmas frente al sistema industrial tradicional.

Algunos elementos de este modelo son identificados por Coriat (1992):

- El sistema de suministros kan-ban (o justo a tiempo), por el cual los inventarios se eliminan o reducen considerablemente, puesto que los proveedores entregan aquéllos en el lugar de producción, en el momento exacto requerido y con las características especificadas por la cadena de producción.
- El “control de la calidad total” de los productos en el proceso de producción, que aspira a lograr que los defectos se acerquen a cero y el mejor empleo de los recursos.
- La participación de los trabajadores en el proceso de producción, mediante la utilización del trabajo en equipo, la iniciativa descentralizada, mayor autonomía de decisión del taller, recompensas por logros del equipo y una jerarquía administrativa plana con escasos símbolos de posición en la vida cotidiana de la empresa.

Para Castells, la estabilidad y complementariedad de las relaciones entre el núcleo de la empresa y la red de proveedores es de extrema importancia para la aplicación de este modelo; la red permite una mayor diferenciación de los componentes de mano de obra y capital de la unidad de producción, y probablemente incorpora mayores incentivos y una responsabilidad escalonada, sin alterar necesariamente el modelo de concentración del poder industrial y la innovación tecnológica.

Los resultados del modelo también se basan en la ausencia de trastornos importantes en el proceso general de producción y distribución. O para expresarlo con otras palabras, se basa en la asunción de los “cinco ceros”; cero defectos en las partes; cero daños en las máquinas; inventario cero; retraso cero; papeleo cero (Castells, 2000: 186) Estos resultados sólo pueden predicarse si no existen paros laborales y hay un control total sobre la mano de obra, se cuenta con proveedores de total confianza y con mercados cuya predicción es adecuada. El toyotismo es un sistema de gestión ideado para reducir la incertidumbre y no para fomentar la adaptabilidad. La flexibilidad está en el proceso, no en el producto. Para Coriat (1994), representa un modo nuevo —no es pre ni posfordista— y original de gestionar el proceso laboral; el rasgo central y distintivo de la vía japonesa fue desespecializar a los trabajadores profesionales y en lugar de dispersarlos, convertirlos en especialistas multifuncionales.

En esa dirección, la gran empresa ha cambiado su modelo de organización a lo largo del siglo XX, en las principales economías centrales, para adaptarse a las condiciones impredecibles que marcan el rápido cambio económico y tecnológico. Para Castells, el cambio principal se asocia con el paso de las burocracias verticales a la gran empresa horizontal, que parece caracterizarse por siete tendencias fundamentales: organización en torno al proceso, no a la tarea; jerarquía plana; gestión en equipo; medida de los resultados por la satisfacción del cliente; recompensas basadas en los resultados del equipo; maximización de los contactos con los proveedores y clientes; información retención de los empleados en todos los niveles.

Esta transformación del modelo empresarial de organización, visible sobretodo en la década de 1990 en algunas destacadas compañías estadounidenses (como ATT), persigue la realización de los límites del modelo de “producción escueta“ intentado en los años ochenta. Este modelo (llamado por algunos, de forma justificable, escueta y mezquina) se basaba sobre todo en los ahorros de mano de obra mediante el empleo de una combinación de automatización, control informatizado del trabajador, trabajo subcontratado y reducción de la producción. Expresión directa de la reestructuración capitalista para superar la crisis de rentabilidad de los años setenta, el modelo de producción escueta, redujo los costes, pero también perpetuó estructuras organizativas obsoletas que tenían su origen en la lógica del modelo de producción en serie en las condiciones de un control oligopólico del mercado.

Para maniobrar en la nueva economía global, caracterizada por el aluvión constante de nuevos competidores que emplean nuevas tecnologías y capacidades de recorte de costes, las grandes empresas tuvieron sobre todo que hacerse más efectivas en lugar de más económicas. Las estrategias de interconexión empresarial añadieron flexibilidad al sistema, pero no resolvieron su problema de adaptabilidad. Para poder asimilar los beneficios de la flexibilidad de la red, la empresa tuvo que convertirse ella misma en una red y dinamizar cada elemento de su estructura interna: éste es en esencia el significado y el propósito del modelo de empresa horizontal, que suele ampliarse con la descentralización de sus unidades y con la creciente autonomía otorgada a cada una, permitiendo incluso que compitan entre sí, si bien dentro de una estrategia general común.

Ken'ichi Imai (1990), es probablemente el analista de organización de la producción, que ha ido más lejos al proponer y documentar la tesis de la transformación en redes de las empresas. Basándose en sus estudios sobre compañías multinacionales japonesas y estadounidenses, sostiene que el proceso de internacionalización de la actividad empresarial para posibilitar la globalización de la producción, ha seguido tres estrategias diferentes. La primera y más tradicional alude a una estrategia de mercado multinacional para que las empresas inviertan fuera de su plataforma nacional. La segunda apunta al mercado global y organiza diferentes funciones empresariales en distintos emplazamientos, que se integran dentro de una estrategia global articulada. La tercera característica del estudio económico y tecnológico más avanzado, se basa en redes transnacionales. Al utilizarla, las empresas se relacionan con diversos mercados nacionales, por una parte, mientras que, por la otra, existe un intercambio de información entre estos diversos mercados. En lugar de controlarlos desde el exterior, las compañías tratan de integrar sus cuotas de mercados y su información sobre éstos cruzando las fronteras, Por lo tanto, en la antigua estrategia, la inversión directa extranjera pretendía hacerse con el control. Según la estrategia más reciente, la inversión se orienta hacia la construcción de un conjunto de relaciones entre las compañías situadas en diferentes entornos institucionales. La competencia internacional recibe una buena ayuda de la "información sobre el terreno" de cada mercado, por lo cual el diseño de la estrategia con un planteamiento verticalista invitaría al fracaso en un entorno de cambios constantes y con dinámicas de mercado muy diversas. La información proveniente de un tiempo y espacio específicos es el factor crucial. La tecnología de la información permite a la vez la recuperación descentralizada de esa información y su integración en un sistema flexible de creación de una estrategia.

Esta estructura transnacional hace posible que las empresas pequeñas y medianas se vinculen con empresas mayores, formando redes que son capaces de innovar y adaptarse sin cesar. De este modo, la unidad operativa actual es el proyecto empresarial, representado por una red, y no las empresas concretas o grupos de empresas. Los proyectos empresariales se aplican en campos de actividad que pueden ser cadenas de productos, tareas de organización o ámbitos territoriales (Castells, 2000: 193).

La complejidad de la trama de las alianzas estratégicas, de los acuerdos de subcontratación y de la toma de decisiones descentralizada de las grandes firmas habría sido sencillamente

imposible de manejar sin el desarrollo de las redes informáticas, de forma más específica, sin los poderosos microprocesadores instalados en las computadoras portátiles, conectados mediante las redes de telecomunicación de conmutación digital. La información circula por las redes: redes entre empresas, redes dentro de las empresas, redes personales y redes informáticas. Las nuevas tecnologías de la información son decisivas para permitir que funcione realmente un modelo tan flexible y adaptable. Ello implica la capacidad de la empresa para reestructurarse, no solo eliminando la redundancia, sino asignando las capacidades de reprogramación a todos sus sensores, mientras reintegra la lógica general del sistema empresarial en un centro de toma de decisiones que funcione en línea con las unidades interconectadas en tiempo real.

La empresa horizontal es una red dinámica y estratégicamente planeada de unidades autoprogramadas y autodirigidas basada en la descentralización, participación y coordinación. A su vez, el toyotismo, es un modelo de organización de la producción, de transición entre la producción en serie estandarizada asociado con la empresa vertical y con el control oligopólico de los mercados y una organización del trabajo más eficiente, caracterizada por las prácticas de adiestramiento, así como la participación de los trabajadores y proveedores en un modelo industrial basado en redes y en el poder de la información para conectar las partes constitutivas de la producción en las distintas partes del mundo donde el capital se encuentre asentado.

A partir de la segunda mitad de los ochenta, conforme se desplegaba el nuevo patrón tecnológico los encadenamientos globales de producción comenzaron a extenderse por todo el mundo y abarcar a mayor número de industrias. Para comprender el fenómeno histórico de conformación de la producción mundial integrada y la automatización del trabajo, en el siguiente apartado se delimitan a muy grandes rasgos las principales fases en las que se conforman las interconexiones productivas globales y los factores que aceleraron la transformación del proceso de trabajo, en donde el conocimiento electrónico-informático se vuelve fundamental para el diseño de nuevos medios de producción o máquinas programables que permiten articular las distintas partes constitutivas del proceso productivo establecidas emplazamientos a lo largo y ancho del mundo donde una o varias empresas interactúan y se relacionan para la creación de productos

#### **4.3.- La producción mundial integrada y la automatización del proceso de trabajo.**

La transformación estructural y organizativa que está experimentando el capitalismo mundial tiene dos expresiones espaciales antitéticas pero complementarias, Por un lado, el cambio revolucionario de la tecnología está abriendo enormes posibilidades de interconexión de las actividades productivas a lo largo de continentes, países y localidades donde el capital se encuentra asentado. Las innovaciones en el campo de la informática y las telecomunicaciones han producido cambio espacio-temporal que se expresa en una nueva forma de organización de las actividades sociales, económicas y políticas, caracterizado por su capacidad para provocar repercusiones a distancia, dentro de una modalidad de interconexión cada vez más intensa, sistemática y acelerada (Held, *et al* , 1999). Tal proceso de interconexión, al que por razones más bien circunstanciales se le llama globalización, implica la generación transcontinental e interregional de flujos, el encadenamiento de actividades en redes y una continua interacción entre un número creciente de agentes y entidades involucradas, que tiende a rebasar los marcos normativos del Estado nacional y a requerir la complementación cada vez mayor de este último con nuevos agentes de carácter regional y mundial (Dabat, 2007).

Ahora bien, para Rivera (2005), el concepto de producción mundial integrada (PMI) apunta a caracterizar la estructura económica mundial tomando como base el planteamiento efectuado por Gereffi (1994, 1995) de encadenamientos dirigidos por el productor o el comprador; el concepto más general de PMI se apoya en la noción mas operacional y concreta de cadenas productivas globales. La integración de ambos niveles conceptuales constituye la teoría de la globalización productiva, ya que es más que una propuesta sobre la nueva organización industrial y atañe a la nueva organización espacial de las actividades productivas capitalistas, con énfasis en la coordinación y la apropiación. Como auxiliar en el estudio de la organización industrial, la teoría de las cadenas productivas globales no puede ser interpretada como noción universal ya que excluye a las industrias de proceso continuo y a la mayoría de los servicios que no se organizan en redes y cadenas. Sin embargo, la articulación en redes y cadenas envuelve al nuevo patrón industrial y éste a su vez domina la reproducción social como una lógica de complementariedad, interacción y relaciones de poder que están prefigurados en la nueva tecnología y en su organización productiva por medio de encadenamientos y redes.

El sistema global de producción o producción mundialmente integrada comenzó a conformarse hacia fines de los sesenta. Su acelerada conformación significó un salto en la interdependencia entre las naciones tecnológicamente líderes, con Estados Unidos y Japón a la cabeza y los países de desarrollo medio, preponderadamente las economías dinámicas de Asia Oriental. Este grupo de países ingresaron a una etapa de desarrollo sostenido gracias a las tendencias centripetas desencadenadas por el despegue de las cadenas globales. Un número creciente de países de reciente industrialización y en desarrollo empezaron a integrarse a las cadenas productivas; las inversiones extranjeras directas fueron el instrumento fundamental para promover la integración ya que se orientaban crecientemente a crear, modernizar o ampliar plataformas de exportación, que constituyen una de las vías de inserción a las cadenas globales. La condición para que las plataformas evolucionaran para constituir eslabones de la cadena global ha sido la existencia de una base industrial relativamente avanzada y una acción estatal capaz de superar las condiciones de incertidumbre asociadas a un salto industrial.

Para Rivera (2005: 151) la expansión internacional de la industria electrónica fue el primer vehículo para conformar cadenas globales de producción, De acuerdo con Henderson (1988), hacia mediados de los sesenta el ejército de reserva laboral para operaciones de ensamble de semiconductores se había agotado en Estados Unidos, lo que determinó la apertura de la etapa de internacionalización de esa industria, La búsqueda de reservas de mano de obra se orientó hacia México y hacia países de Asia nororiental que tenían antecedentes en operaciones más simples de ensamble, como confecciones y aparatos de radio. Hong Kong, en ese tiempo colonia británica, fue el territorio más activamente favorecido tanto por su estratégica posición geográfica como la amplia disponibilidad de mano de obra disciplinada (Henderson y Appelbaum, 1992).

A partir de la segunda mitad de los ochenta, conforme se desplegaba el nuevo patrón industrial, los encadenamientos globales de producción comenzaron a extenderse por todo el mundo y abarcar a mayor número de industrias. A parte de Asia Pacífico, la macrorregión hacia la cual confluyeron los encadenamientos más fuertes originados en Estados Unidos y Japón, otros encadenamientos ligaron a empresas de Europa Occidental con el oriente de ese continente, el norte de África y con Asia Pacífico. Un tercer tipo de encadenamientos liga a



Estados Unidos con el norte de México, el Caribe y Centroamérica. En Asia Pacífico hay un desarrollo ulterior de los encadenamientos, bajo la modalidad conocida como triángulos manufactureros, que liga las empresas de los países más desarrollados en el norte, con los menos desarrollados del sur. La irrupción de China crea otro polo que aumenta la gravitación espacial de Asia Pacífico, proyectando los encadenamientos hacia casi todos los confines de la economía global capitalista.

Hacia los noventa, tanto las nuevas industrias (microelectrónica y computación, telecomunicaciones y software) como las industrias rejuvenecidas (automotriz, confección, calzado, juguetes, electrónica de consumo, etc.) quedaron organizadas como cadenas productivas mundiales (Gereffi, 2004).

En ese contexto, menciona Rivera, que si en el capitalismo industrial las actividades manufactureras eran el foco del poder y la influencia, en un sistema de producción globalmente integrado éstas han sido subordinadas a las actividades centrales desde el punto de vista de la generación de valor. En contraposición otras actividades que tenían relevancia secundaria en el capitalismo industrial, como el diseño, se convierten en dominantes, debido a las limitaciones en la reproducibilidad del conocimiento contenido en ellas o a la capacidad de acumulación de los activos de conocimiento. La interrelación entre la acumulación acelerada de los activos del conocimiento en poder de las empresas líderes que caracteriza la etapa histórica actual, por un lado, y el incremento explosivo de las rentas tecnológicas que lo acompaña, por otro lado, le han impuesto un rasgo distintivo a las barreras a la entrada, que se elevan en ciertas actividades y disminuyen en función de la reproducibilidad del conocimiento de acuerdo al ciclo de vida.

Ahora bien la interrelación entre las cadenas globales y la revolución tecnológica conduce a una periodización, en la que se delimitan a muy grandes rasgos las principales fases en las que se conforman las interconexiones productivas globales, Ríos (2005) centra su análisis en las cadenas dirigidas por el productor en la industria electrónica, con referencias tangenciales a la industria automotriz.

Primera fase: mediados de los sesenta y los setenta. Se conforma la primera estructura intercontinental de encadenamientos empresariales, uniendo la dinámica costa oeste de Estados Unidos, epicentro de la revolución electrónico-informática, con las economías dinámicas de Asia oriental (Corea del Sur, Taiwán, Hong Kong y Singapur). Estos encadenamientos y redes para el ensamble simple y luego de manufactura básica se centran en la electrónica de consumo, componentes, equipos de cómputo y de telecomunicaciones (Hodbay, 1995). Las barreras a la entrada son relativamente bajas y existen importantes flujos de conocimiento hacia los proveedores locales que realizan *upgrading* de diversa amplitud, Hacia el final del período se generalizaban en Taiwán y Corea del Sur los convenios tipo Original Equipment Manufacture.

Segunda fase: años ochenta y principios de los noventa. La reestructuración de las cadenas globales sigue dominada por los proveedores de Asia nororiental que se integran a las mismas bajo una forma contractual más sofisticada que es el *Own-Design and Manufacture* y por ende avanzan en la cadena de valor gracias a los progresos en aprendizaje tecnológico. Las cadenas experimentan una fuerte extensión bajo la modalidad de los triángulos manufactureros, en los cuales las empresas de primera generación, sobre todo las de Taiwán y Corea, realizan importantes inversiones en países vecinos para formar redes de subproveedores, para un doble objetivo: 1) eludir restricciones comerciales y 2) tener acceso a mayores reservas de mano de obra. Por ende, Asia oriental sigue siendo el epicentro de la ampliación geográfica de las cadenas globales, ya que además de la extensión hacia el sureste, comienza la integración de la costa sur de China promovida por las comunidades chinas de ultramar.

Tercera fase: desde principios de los noventa. En esta fase se consolidan las tendencias excluyentes que habían aparecido hacia fines de los ochenta: 1) la competencia se intensifica entre las empresas líderes que comandan las cadenas, lo que obliga a una reestructuración radical de las redes de proveedores. La aparición de los proveedores de manufactura integral, además de abatir costos, contribuye a un acortamiento de los ciclos de desarrollo de nuevos productos. Las actividades de estos agentes elevan las barreras a la entrada a las empresas locales del conjunto de los países en desarrollo en sectores como el automotriz y el electrónico. Paradójicamente, se produce una importante expansión de las cadenas fuera del epicentro asiático y refuerza la competencia entre lo nacional y macrorregional. En el caso de la industria

textil-confección la expansión de las cadenas hacia occidente está determinado por la creciente autonomía de las empresas asiáticas que han ascendido en la cadena de valor y varias de ellas se han desarticulado de las cadenas originales para convertirse en productores de marca propia. La apertura de este espacio brindó oportunidad a empresas mexicanas (en confección y también en electrónica) y del Caribe y Centroamérica (confección)

En la década de 1990, varios factores aceleraron la transformación del proceso de trabajo: la tecnología informática y sus aplicaciones, que progresa a saltos cuánticos, se hizo cada vez más barata y mejor, con lo que fue asequible y utilizable a gran escala; la competencia global desencadenó una carrera tecnológica/ejecutiva entre compañías de todo el mundo; las organizaciones evolucionaron y adoptaron nuevas formas que por lo general se basaron en la flexibilidad y la interconexión. La amplia difusión de las tecnologías de la información ha ocasionado efectos bastante similares en fábricas, oficinas y organizaciones de servicios. Estos efectos no son, como se había previsto, el cambio hacia el trabajo indirecto a expensas del directo, que se automatizaría, Por el contrario, el papel del trabajo directo ha aumentado por que la tecnología de la información ha otorgado poder al trabajador directo de los talleres (ya sea en el proceso de comprobación de chips o de suscripción de pólizas de seguros). Lo que tiende a desaparecer mediante la automatización integral son las tareas repetitivas de rutina que pueden precodificarse y programarse para su ejecución por máquinas inteligentes.

En esa dirección, la automatización, recibe su significación plena sólo con el desarrollo de la tecnología de la información, ya que posibilita aumentar de forma espectacular la importancia del cerebro humano en el proceso de trabajo. De tal manera, la revolución informática da lugar a una transformación productiva que se expresa en el surgimiento de un patrón tecn-económico articulado con el sector electrónico-informático (Dabat, 2004: 42)

Tenemos todo un segmento de la producción basado en las computadoras; el sector electrónico-informático modifica la naturaleza de los medios de producción y de consumo existentes. A los medios de producción le agrega el control numérico; a la máquina-herramienta la convierte en máquina programable. Esto cambia una serie de leyes de la economía. En términos de bienes de consumo se da lo mismo, con la flexibilización y sobre todo con la gran revolución que implica la conexión con las telecomunicaciones. Esto integra a

la nueva constelación de tecnologías radicales la incorporación de tecnologías vinculadas a las telecomunicaciones como el módem, por ejemplo, pasará a ser fundamental para Internet, para la red. Se trata de un tipo de organización de la producción ligado a las nuevas tecnologías, pero también esto implica profundas transformaciones en las categorías económicas. El software es un bien intangible. La revolución tecnológica da lugar a un nuevo tipo de productos. El software es conocimiento codificado para ordenar a la computadora cómo resolver los distintos problemas que se presentan.

La diferencia con las revoluciones tecnológicas anteriores es que mientras éstas revolucionaban las manos o los pies con el transporte o de la voz de las comunicaciones —o sea, la tecnología lo que hace es potenciar ciertas características del cerebro humano—, la computadora potencia el cerebro. Si bien la computadora no sustituye al cerebro, lo que puede hacer la computadora es descomponer todos los procesos productivos, sociales, del tipo que sean, en dos momentos, en la abstracción y codificación de los principios básicos de cualquier actividad, de la actividad misma. Se puede separar las instrucciones de funcionamiento de la computadora de lo que es la computadora real, tanto los componentes como la computadora misma. O sea que, al descomponer eso, desarrolla en forma impresionante un aspecto de la actividad productiva: el diseño de todas las cosas. Todas las cosas pueden diseñarse, pueden separarse del proceso de su uso. Y, en la medida que pueden separarse, ya no sólo como proceso de la actividad productiva, como conocimiento codificado, sino como estructura del bien mismo. El bien mismo puede ser diseñado y las actividades productivas pueden ser abstraídas, no solamente el proceso de trabajo sino la propia gestión. Esto hace posible el desarrollo de departamentos específicos en todas las grandes empresas, en las actividades independientes, en las universidades, de diseño: cómo se produce un bien, en qué condiciones de laboratorio, etc. Esto pasa a ser central para la producción y para la propiedad, porque para a ser el núcleo del nuevo capital: el diseño de todos los procesos, incluso de las actividades comerciales a través por ejemplo de la franquicia. ¿Qué es una franquicia? ¿Qué es Mc Donald's? ¿Qué es Coca Cola? Quién pone un negocio de Mc Donald's lo que está comprando es el conocimiento de cómo producir una hamburguesa igual a la de Mc Donald's, que combinación específica debe tener los ingredientes. Junto con eso está comprando otra cosa diferente que es el uso del nombre Mc Donald's (Dabat, 2004: 43, 44)

La Coca-Cola trabaja con empresas nacionales a las que permite usar el nombre y las abastece de jarabe. Las empresas innovan, producen nuevos productos, los patentan, monopolizan ese conocimiento y lo venden o lo rentan. Esta es la base de la nueva empresa flexible. Esta es la nueva división de trabajo interempresarial entre quién produce el diseño y lo administra, y quién produce los componentes materiales.

La relación que se da es que la Coca-Cola le arrienda el conocimiento, le permite su uso, con venta de algunas mercancías claves como el jarabe. Es una venta a precios de monopolio, un precio que no guarda relación con su precio de producción. Lo que interesa resaltar es la abstracción del proceso. Un pequeño productor, en lugar de ver qué va a producir, lo que hace es ver qué franquicias hay, para quién puede producir. Por ejemplo, un productor de componentes para la Volkswagen o la General Motors tiene que ver cuáles son las especificaciones exactas con las cuales tiene que producir, con qué diseño, etc.

Lo arriba indicado corresponde con un intento por distinguir los rasgos fundamentales de la economía del conocimiento, es decir, la fase actual de desarrollo del capitalismo, a partir de un proceso de reestructuración y reorganización de la producción, en otras palabras, un proceso de cambio en el modo de hacer las cosas, en donde el conocimiento electrónico-informático se vuelve fundamental para el diseño de nuevos medios de producción o máquinas programables que permiten articular las distintas partes constitutivas del proceso productivo establecidas emplazamientos a lo largo y ancho del mundo donde una o varias empresas interactúan y se relacionan para la creación de productos. Las tareas de rutina pueden precodificarse y programarse para su ejecución por máquinas. La mayor parte de la actividad de producción se realiza en organizaciones. Puesto que los dos rasgos principales de la forma de organización predominante (la empresa red) son la adaptabilidad interna y la flexibilidad externa. La ejecución de tareas es más eficiente cuando es capaz de adaptar instrucciones de mayor nivel a sus aplicaciones específicas y cuando puede generar efectos de retroalimentación en el sistema. Una combinación óptima de sujeto/máquina programable en la ejecución de tareas es la automatización de todos los procedimientos tipificados para los efectos de adaptabilidad y retroalimentación.

Teniendo en cuenta que la reorganización de la producción y la competencia se coordina y se lleva a cabo a escala global, podemos hablar de un proceso de automatización en dicha escala.

En lugar de racionalizar únicamente las tareas (como fue el caso de la automatización del procesamiento en series), racionaliza el proceso, porque la tecnología permite la integración de la información de muchas fuentes diferentes y descentralizadas. De este modo, en lugar de automatizar tareas discretas (como la mecanografía y el cálculo), el nuevo sistema racionaliza un procedimiento por completo y luego integra varios procedimientos en líneas de productos o mercados segmentados, Entonces se reintegra funcionalmente a los trabajadores, en lugar de distribuirlos organizativamente. El resultado neto de estas tendencias es la posibilidad de eliminar la mayor parte del trabajo auxiliar mecánico y de rutina. Por otra parte, las operaciones de un nivel superior se concentran en las manos de trabajadores de oficina y profesionales calificados, que toman decisiones en virtud de la información que han almacenado en los archivos de sus computadoras. Así que, mientras en la base del proceso aumenta el carácter rutinario (y por ello, la automatización), en el nivel medio hay una reintegración de diversas tareas en una operación informada de toma de decisiones, por lo general procesada, evaluada y realizada por un equipo por trabajadores de oficina con una autonomía creciente en la toma de decisiones. En un estadio más avanzado de este proceso de reintegración de tareas, también desaparece la supervisión de los ejecutivos de rango medio y los controles y procedimientos de seguridad se tipifican en una computadora. Entonces la vinculación fundamental para a ser la existente entre los profesionales que evalúan toman decisiones sobre temas importantes y los administrativos informados que toman decisiones en las operaciones diarias, basándose en sus archivos de sus computadoras y sus capacidades para trabajar en redes.

### **Conclusiones.**

Al realizar este estudio sobre las transformaciones del capitalismo en el siglo XX y principios del siglo XXI, en Estados Unidos de América, logré identificar algunos elementos centrales de la transición de una economía industrial que dependía de los factores tangibles —tierra, trabajo y capital— hacia una economía o sociedad del conocimiento, que se manifiesta con mayor claridad en la primera década del siglo XXI, durante la cual, la fuente de productividad, competitividad y de ganancias extraordinarias recae en mayor medida en los factores intangibles como son: el conocimiento científico de nueva generación y la información. En ese contexto, lo que pude formular fue un planteamiento teórico e histórico, con énfasis en dos vectores de análisis, que me parecieron fundamentales, es decir: 1) el proceso de producción y 2) el proceso tecnológico; seleccione enfoques explicativos diversos pero a la vez complementarios, lo cual me permitió pasar de la segmentación del conocimiento hacia la convergencia de aquellas aportaciones teóricas que me posibilitaron replantear la concepción objetiva y dinámica de la economía, herencia del pensamiento económico clásico y crítico. De tal manera que se puede reconocer cierto grado de determinación de la base productiva sobre la organización económica-social, teniendo en cuenta que existe una matriz mucho más compleja donde intervienen otros factores que posibilitan dicho proceso.

En esa dirección el primer paso que efectué para lograr algún grado de unidad o unificación de las aportaciones teóricas del pensamiento económico clásico, crítico y heterodoxo, desarrolladas en la primera parte de mi tesis, fue analizar desde una perspectiva sistémica, la evolución y transformaciones históricas de la producción capitalista —objeto general de estudio—, categoría que conciben los clásicos y Marx (1857, 1867) como base de las relaciones sociales y fundamento del progreso material; para poder efectuar una aproximación a la estructuración y organización productiva, tecnológica y espacial del capitalismo actual (siglo XXI), con el fin de clarificar, al menos parcialmente, las nuevas formas de reproducción social y del capital —objeto particular de estudio—.

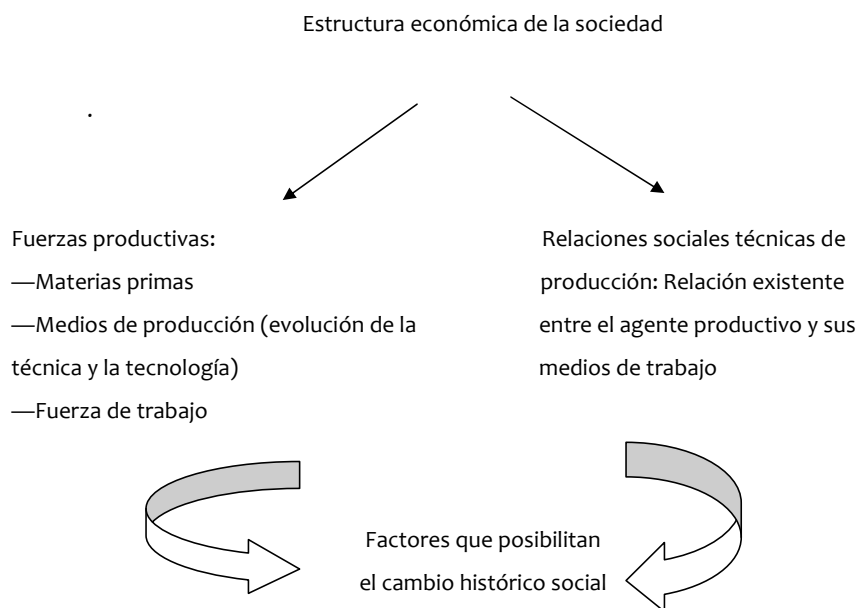
De tal manera que a partir de los fundamentos teóricos de Marx, contenidos en “la Contribución a la crítica de la economía política” (1857) y “el Capital” (1867), pude reconocer la importancia del estudio del proceso de producción, es decir, las distintas formas evolutivas que ha tenido históricamente la producción de mercancías capitalista, una realidad en constante

cambio, todo un proceso, el cual puede verse para fines de análisis en fases interconectadas entre sí, lo que me permitió identificar en cada momento histórico, las condiciones predominantes estructurales y organizativas requeridas para llevar a cabo la objetivación de la naturaleza —transformación creciente de la naturaleza para convertirla en objetos y espacios útiles para la satisfacción de necesidades de sobrevivencia del capital y para la obtención de ganancias— y del trabajo —proceso de transferencia de las actividades físicas y mentales, requeridas para la transformación de la naturaleza, que en la historia del capitalismo fueron pasando de la mano, al instrumento y posteriormente a las máquinas mecánicas y a las “máquinas inteligentes”, (materialismo-dialéctico histórico). A partir de dicho planteamiento, se analizó el cambio histórico-social del capitalismo, lo que me permitió distinguir, un conjunto de relaciones sociales productivas que caracterizan cada fase de desarrollo del capitalismo, o sea, la forma de organización existente entre los agentes productivos que participan en la creación de mercancías y el control que poseen sobre los medios de producción y el proceso de trabajo en general (proceso de trabajo); y un conjunto de relaciones técnicas-tecnológicas que posibilitan las modificaciones en los medios de trabajo o en sus métodos o en ambos a la vez, con el objetivo de aumentar el control sobre los trabajadores en el proceso productivo, reducir la masa de trabajadores, acortar el tiempo de trabajo necesario para la producción de mercancías, aumentar la capacidad productiva; creando las condiciones necesarias para la generación de ganancias extraordinarias (proceso de valorización).

Teniendo en cuenta, que cada una de las fases de desarrollo del capitalismo indican los signos prevalecientes de crecimiento o estancamiento de la producción en períodos prologados de este sistema, articulados con cambios técnicos y científico-tecnológicos.

En ese universo, los sujetos sociales que participan en el proceso productivo, entran en relaciones determinadas necesarias e independientes de su voluntad en relaciones de producción que corresponden a un determinado grado de sus fuerzas productivas materiales. El conjunto de estas relaciones constituye para Marx (1857), la estructura económica de la sociedad





A partir del planteamiento del esquema anterior, pude establecer a lo largo de mi tesis, la importancia de identificar una de las aportaciones fundamentales de Marx, al estudio del cambio histórico del capitalismo, que radica en la caracterización que hace de la dinámica endógena a partir del concepto de totalidad y de la contradicción interna de sus componentes como fuerza motora.

Para desarrollar su concepción Marx toma como punto de partida la objetivación de la naturaleza, transformación o control creciente que se articula con el proceso de trabajo, en el que se combinan las entidades fundamentales de su propuesta; la relación dialéctica entre los elementos internos de la organización social, que mantienen una entre sí una relación inestable propensa al movimiento: fuerzas productivas vs. relaciones de producción. La relación contradictoria entre esos dos factores posibilita los cambios en la estructura económica-social y la evolución de la organización productiva. Un proceso que me sirvió de marco para ubicar desde finales del siglo XVIII hasta principios del siglo XXI —primero en Inglaterra y posteriormente en Estados Unidos— el impulso y desarrollo técnico-tecnológico, es decir, aquellos factores propulsores que posibilitan revolucionar las condiciones productivas,

potenciando el trabajo físico y mental de los sujetos sociales, materializados u objetivados en instrumentos y maquinaria, así como los cambios en la organización del trabajo, conectados con las transformaciones de los medios de producción, cambios que en conjunto posibilitan constituir en cada fase del capitalismo una nueva base productiva y una nueva forma de producción, trayendo consigo el surgimiento de nuevos productos, servicios y ramas de actividad, las cuales se convierten en los sectores que tienden a articularse con el resto de la actividad económica, dinamizar su crecimiento y generar un determinado régimen de acumulación en cada período histórico, bajo el incentivo de las fuerzas endógenas del modo de producción, esto es, la búsqueda perpetua de ganancias crecientes.

El segundo paso que me permitió complementar el marco teórico en la primera parte de mi tesis, con el enfoque del cambio histórico del capitalismo de Marx, fue identificar el potencial teórico de las aportaciones del pensamiento económico heterodoxo de las ondas largas, del siglo XX, cuya visión histórica y evolutiva del fenómeno del capitalismo, abrió una alternativa de teorización sobre la dinámica del desarrollo del capitalismo, por lo tanto me posibilitó postular una aproximación al estudio integral del fenómeno de reestructuración y reorganización de dicho modo de producción, con énfasis en el proceso tecnológico.

En ese universo, Kondratiev (1935), fue pionero al establecer que es inherente al modo de producción capitalista la conformación de sucesivas ondas largas y que en ellas se representa su dinámica fundamental. Formuló la hipótesis de que los inventos y los cambios en la técnica de producción y comunicación tienen un papel fundamental en la dinámica de las ondas largas. Complementó dicho planteamiento, al postular que los movimientos ondulatorios y cíclicos de la producción capitalista en diferentes períodos históricos eran producidos por fuerzas endógenas articuladas con la acumulación del capital y la actividad innovadora. Sin embargo su análisis se situó en la dimensión cuantitativa de las ondas largas y por ende en la existencia de ciclos regulares de entre 50 a 60 años, lo cual presentó diversas limitaciones, la más notoria de ellas es que se apoyó en series de precios e incluyó series de producción de manera fragmentada y parcial, de manera que la base empírica para demostrar la existencia de patrones regulares de expansión y contracción a largo plazo de la actividad económica era muy limitada.

Por lo tanto la exposición realizada por Schumpeter y particularmente la escuela evolucionista de la innovación, sobre la dimensión cualitativa de las ondas largas me pareció más adecuada para distinguir la dinámica de desarrollo del capitalismo. La parte medular de la misma no se encuentra solamente en la regularidad de los ciclos, sino en los patrones que derivan de la relación entre cambio tecnológico y crecimiento económico. El gran avance del pensamiento neoschumpeteriano radica en haber identificado los paradigmas o modelos capaces de guiar el potencial tecnológico en cada fase del capitalismo y los procesos de difusión que se originan a partir del desarrollo de las revoluciones tecnológicas.

Schumpeter (1939) orientado por la teoría de Kondratiev, escribió sobre los ciclos pero modificó la relación causal para que los cambios tecnológicos fueran el determinante fundamental del movimiento cíclico del capitalismo. El rasgo central que atribuyo a las innovaciones fue su aparición discontinúa en el tiempo, Con la noción de discontinuidad, que más tarde elaboró como olas de destrucción creativa, Schumpeter (1946) sentó las bases de la teoría de las revoluciones tecnológicas.

Para la escuela de Sussex (Freeman, Pérez y Soete) lo decisivo no es que las innovaciones básicas (revoluciones tecnológicas) aparezcan simultáneamente, sino la existencia de un alto grado de complementariedad entre ellas a través de un paradigma tecno-económico o modelo capaz de provocar su gradual integración en constelaciones y guiar el potencial tecnológico (reorganización productiva). Una vez integradas como sistemas tecnológicos, las revoluciones tecnológicas —parte más dinámica de las fuerzas productivas— empiezan a difundirse provocando un comportamiento tipo ondas Kondratiev. Dicho planteamiento se encuentra en la noción de ciclo de vida tecnológico, que postula que cada revolución tecnológica o constelación de innovaciones atraviesa por cuatro fases de propagación en la economía y en su trayectoria empiezan a constituirse como paradigma tecno-económico dominante; Pérez (2000) identifica cuatro fases 1) difusión inicial; 2) rápido crecimiento temprano; 3) rápido crecimiento tardío y 4) madurez.

Al hacer explícita la noción de ciclo de vida en la teoría de las ondas largas, podemos lograr una aproximación adecuada al estudio histórico de la reproducción del capital, y de la fase actual del capitalismo con énfasis en los cambios estructurales y organizativos provocados por la

difusión y consolidación de la tecnología electrónico-informática hacia finales del siglo XX y la difusión inicial nanoescalar de principios del XXI en Estados Unidos de América.

Las ondas largas representan por tanto las fases de evolución del sistema en su conjunto (sus modos de desarrollo). La causa motora de la dinámica del sistema estaría en la rentabilidad como generadora de innovaciones, ya que de ella depende el incremento de la productividad.

Por lo tanto al realizar un estudio de la técnica, la tecnología y las formas de organización del trabajo en Beckmann (1739-1811), Poppe (1776-1854), Marx (1861-1863), Kondratiev (1935), Schumpeter (1946), Mokyr (1990), Coriat (1992), Pérez (2000), y la escuela evolucionista de la innovación en la historia del capitalismo desde el finales del siglo XVIII hasta principios del siglo XXI, pude captar el dinamismo, y los movimientos de largo plazo en la actividad económica de carácter cíclico —se repiten cada determinado plazo— y ondulatorio —por que la fluctuación no gira siempre en torno al mismo nivel—, producidos por fuerzas endógenas conectadas con la acumulación de capital y la actividad innovadora. Visto desde el enfoque estructural-objetivo, que articula el desarrollo de las fuerzas productivas con la transformación del proceso de trabajo, es posible, conectar la evolución de las relaciones sociales técnicas, el desarrollo de la técnica, la innovación y difusión de la tecnología con las modificaciones organizacionales en el proceso de trabajo. Además habría que subrayar que cada fase de desarrollo del capitalismo vista desde el enfoque propuesto, ha profundizado en la lógica capitalista de búsqueda de beneficios, en las relaciones de capital-trabajo, en la intensificación de la productividad del trabajo y capital, en la expansión del mercado.

Las conclusiones sobre el marco teórico-histórico presentadas en las páginas anteriores permiten establecer la dirección del análisis que desarrolle en la primera parte de mi tesis; finalmente logré establecer una ruta de trabajo de investigación que en síntesis se expresa conectando el desarrollo de la base técnica con las formas de organización de los procesos de trabajo:

## Desarrollo técnico y tecnológico

## Organización del proceso de trabajo

La técnica antes de la Primera Revolución Industrial (finales del siglo XVIII). Es el conjunto indisociable de una herramienta y de un obrero formado en su utilización por aprendizaje y hábito es por tanto cualquier Instrumento que sirve para transformar la realidad. La técnica es esencialmente individual incluso si la organización del trabajo es colectiva

— La cooperación: El obrero hace la mercancía Integra a partir de la destreza, habilidad y capacidad física para manipular y manejar sus instrumentos

— La manufactura basada en la división del trabajo, el obrero deja de realizar la mercancía íntegra, pero la actividad productiva sigue dependiendo de la habilidad para manejar sus instrumentos

La tecnología es la aplicación del conocimiento científico y de las habilidades técnicas adquiridas en el proceso de trabajo hacia la operación mejora y expansión de la producción

— La gran industria: se basa en la división del trabajo y en la utilización de máquinas, las cuales hacen posible el ahorro de tiempo que perdía al pasar de un tipo de trabajo a otro. La destreza y la capacidad del obrero son absorbidas por las máquinas, lo cual permite llevar a cabo la producción a gran escala

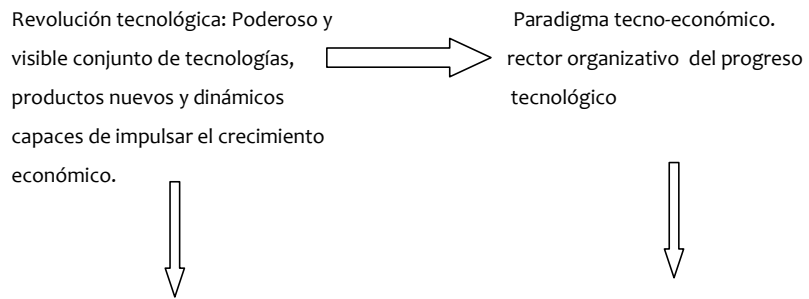
Durante el siglo XIX y principios del XX se materializa en forma de maquinaria, la cual potencia la destreza, y fuerza física del trabajo. Implica el empleo de las fuerzas naturales y de las ciencias (química y física). A mediados del siglo XX surgen las “máquinas inteligentes” las cuales potencial la mente. El desarrollo tecnológico que implica enlazar a los sujetos sociales con las máquinas y a las máquinas entre sí.

—El fordismo. A partir de la industrialización de la electricidad y la utilización de combustibles fósiles aumentaron las capacidades de las máquinas, lo que posibilitó organizar la producción a través del uso de la cadena de montaje, lo cual se encargó de unir todos los movimientos constitutivos que se necesitan para la creación de un producto. Los obreros son fijados en puestos de trabajo donde realizan movimientos simples.

—La manufactura flexible o toyotismo. Se programa y globaliza la producción posibilitado

por avances en microelectrónica. Cadenas globales de producción.

A fin de enlazar los planteamientos de Marx (1857) de estructura económica y organización productiva del proceso de trabajo con la propuesta endógeno-estructural de los “evolucionistas”, en el desarrollo histórico del capitalismo, propuesta esta última articulada con la noción de: “revolución tecnológica” la posibilidad de creación de nuevos medios de producción; incremento de la capacidad física y mental de la fuerza de trabajo; generación y utilización de distintas materias primas en el proceso de producción (reestructuración), así como con la noción de “paradigma tecno-económico” o modelo organizativo y tecnológico que determina el régimen de acumulación (reorganización); desarrollo a continuación un planteamiento de las fases históricas que me permitió sistematizar e identificar a lo largo de mi tesis un proceso central de evolución de dicho proceso histórico:



Proceso de reestructuración		Proceso de reorganización
1 Revolución tecnológica. 1771	{ Primera Rev, Industrial 1780-1850. Máquina de vapor, carbón máquinas textiles       }	Producción en fábricas
Revolucion industrial, hiladería de Arkwright		Mecanización
2 Revolución tecnológica. 1829		Redes locales
Era del vapor y los ferrocarriles		Economías de aglomeración, ciudades industriales, la gran escala como progreso
3 Revolución tecnológica. 1875	{ Segunda Rev. Industrial Finales del siglo XIX Física e industria Química       }	Economías a escala/integración vertical, Estandarización
Era del acero y la electricidad		Integración horizontal. Producción en masa, Pirámides jerárquicas
4 Revolución tecnológica. 1908		
Era del petróleo y del automóvil.		

5 Revolución tecnológica. 1971 Era de la informática y las tele- comunicaciones	} Tercera Rev. Industrial 1970	Integración descentralizada, segmentación de mercados
6 Revolución tecnológica. 2001 Era de la nanotecnología		

### ***Cambios científicos-tecnológicos y organización flexible de la producción***

El objetivo particular de mi tesis, giró en torno al estudio de la fase actual del desarrollo de capitalismo, durante la cual, se desarrolla una constelación de innovaciones científico-tecnológicas en Estados Unidos, reflejo de los procesos avanzados del capitalismo en las últimas tres décadas, que tienen que ver con la renovación del sistema productivo a través de un distinto paradigma tecno-económico en el siglo XXI articulado con la aplicabilidad de las tecnologías electro-informáticas, las telecomunicaciones y la difusión inicial de tecnologías BANG —emergentes incipientes, de reciente creación, o que potencialmente plantean sus aplicaciones desde la nanotecnología—, en el aparato productivo estadounidense

Habría que subrayar que el impulso tecnológico se ha venido desarrollando en el marco del cambio histórico del capitalismo, posibilitando la evolución del proceso de trabajo con el objetivo de enfrentar dificultades y limitaciones estructurales de crecimiento económico y acumulación de capital como argumentan Marx (1867), Schumpeter (1968) y los teóricos de la escuela evolucionista (finales del siglo XX). Así a través de la aplicación dentro del proceso productivo de nuevos métodos o formas susceptibles de incrementar la producción e intensidad de trabajo en diferentes modalidades, los grandes capitalistas, buscaran la metamorfosis de los medios de producción y los cambios organizativos generados en las relaciones de producción técnicas entre los sujetos sociales y las máquinas incorporadas en el proceso de producción

De lo anterior se desprende que cada fase de desarrollo del capitalismo queda definida por su capacidad para elevar el nivel de productividad, ampliar el mercado, reducir los costes de producción (comenzando por los costes de mano de obra) y acelerar la rotación de capital,

En ese universo, la influencia tanto de Kranzner (1967) como de Mokyr (1990) y Dabat (2007), fue decisiva en mi tesis para centrar la atención en el despliegue tecnológico del siglo XX y principios del XXI, como factor propulsor que posibilita superar las barreras de acumulación de capital, rentabilidad y de mercado antes mencionadas, además de las repercusiones productivas y organizativas generadas lo largo de dicho período. Ya que de acuerdo con estos autores la Primera Revolución Industrial, si bien no se basó en la ciencia, contó con un amplio uso de la información, aplicando y desarrollando el conocimiento ya existente. En cambio, la Segunda Revolución Industrial, a partir de 1850, y la Tercera Revolución Industrial a partir de 1970, se caracterizaron por el papel decisivo de la ciencia para fomentar la innovación. En efecto, los laboratorios de I+D aparecieron por primera vez en la industria química alemana en las últimas décadas del siglo XIX y se establecieron y consolidaron en Estados Unidos durante el siglo XX. Se produjo así, una revolución en la organización de la ciencia aplicada, centrada en el perfeccionamiento del laboratorio de investigación y desarrollo, la universalización de la educación y el apoyo público a la ciencia básica

En esa dirección al efectuar una revisión de la trayectoria tecnológica en el siglo XX y principios del siglo XXI en Estados Unidos y su articulación con la evolución del proceso productivo, en Coriat (1992) Corona (1999) Castells (2000) Mokyr (2000) Rivera (2005), Dabat (2007) y la escuela de Sussex, entre otros autores, pude distinguir y diferenciar los fundamentos del proceso de valorización que caracterizaron la mayor parte del siglo XX hasta aproximadamente 1970 y la aparición de nuevas y cada vez más complejas disciplinas laborales a través de una organización cada vez más sofisticada en cuanto al espacio, el control de tiempos movimientos y gerencia científica; dando lugar a un nuevo proceso de valorización que ha permitido reproducir el modelo de producción capitalista y cristalizar lo que dichos autores denominan como la fase actual de crecimiento económico articulada con la economía del conocimiento.

En otras palabras, la enorme capacidad innovadora —durante el periodo antes mencionado—, el gasto público en investigación y desarrollo, los programas militares, políticas y estrategias



llevadas a cabo por la red global de interdependencia e interconexión de una triada conformada por empresas, Estado e instituciones académicas que se han propuesto dinamizar la economía estadounidense, han posibilitado la transición del modo de desarrollo industrial-fordista hacia la economía informacional-toyotista, dicha evolución se puede distinguir por una serie de rasgos centrales tecnológicos y organizativos que permitieron elevar la productividad en el siglo XX (Ver cuadros 11 y 12 pp. 174 y 175), reducir costos, expandir el mercado, a través de integrar la producción en cadenas globales, además de impulsar la convergencia tecnológica BANG, capaz de conducir a los grandes capitalistas hacia un proceso de objetivación de la naturaleza sin precedentes en la primera década del siglo XXI

Así el fordismo en gran parte del siglo XX, representó el paradigma tecno-económico, dominante en Estados Unidos, capaz de desarrollar y potenciar las capacidades físicas de los sujetos sociales materializadas en máquinas mecánicas —cadenas de montaje—, a tal grado que las posibilidades de valorización quedaron subordinadas a la multiplicación del volumen de la producción, simplificación del producto para reducir su costo y la expansión cuantitativa del mercado, llegando a un punto histórico de saturación del mismo. La organización del sistema de maquinaria de la fábrica fordista refleja fielmente lo anterior ya que fue concebida para expandir el volumen en detrimento de la calidad. La utilización de la fuerza de trabajo también quedó subordinada a este principio ya que su uso se sometió a una fuerte simplificación (descalificación laboral) que reflejaba la estandarización o simplificación del producto. Además, de que se requería de una gran masa de trabajadores para controlar la producción, comunicar e integrar la misma. Desde el punto de vista del mercado, la monotonía por falta de variedad llevó al estancamiento de la demanda social. En el modo de producción industrial, la principal fuente de productividad fue la introducción de nuevas fuentes de energía (electricidad e hidrocarburos) y la capacidad de descentralizar su uso durante la producción y los procesos de circulación

Esa situación cambió con la aparición y difusión de la tecnología de la información y la comunicación a partir de 1970 en Estados Unidos. El eje del cambio en el proceso de valorización fue la transformación del conocimiento en el insumo fundamental de la producción capitalista, posibilitado por los poderes que derivan del cambio tecnológico —economía del conocimiento—. El circuito integrado aceleró el procesamiento de la

información, la computadora potenció la organización de la misma y las telecomunicaciones, basadas en la fibra óptica, permitieron progresos extraordinarios en su difusión, El desarrollo de las máquinas electrónicas e informáticas, proporcionaron a los grandes capitalistas, las herramientas suficientes para potenciar las capacidades mentales o cognoscitivas antes realizadas por los trabajadores, ya que posibilitaron codificar la información antes contenida en la mente de los sujetos sociales, sus experiencias y actividades —la codificación implica la exteriorización de la memoria—, para interpretarlas y encausarlas en el proceso productivo. La codificación de la información requerida para el diseño y comunicación de la producción pudo ser expresada en un lenguaje electrónico-binario lo cual propició enlazar y comunicar a las máquinas entre ellas y resolver el problema de la integración de la producción, reduciendo mano de obra, además de flexibilizar la producción aumentando la variedad de bienes y servicios.

En ese sentido la importancia de la aplicación del conocimiento en la transformación de los medios de producción implicó un cambio en los factores tangibles de la producción capitalista —tierra, trabajo, capital— hacia lo que denomina Rivera (2005) como activos del conocimiento para referirse al saber productivo que existe en las empresas, o sea, el desarrollo de los factores intangibles que conectan con el aprendizaje, la comunicación y la interacción y pueden generarse a partir de mayores niveles de educación y calificación de la fuerza laboral, la aparición de nuevas y más complejas disciplinas laborales, la creciente integración entre ejecución, conocimiento y gestión en el espacio —reduciendo espacio que ocupaban las tecnologías anteriores, se modifica y reduce el diseño de las plantas productivas—, y mayor complejidad de las rutinas que gobiernan las prácticas laborales y empresariales.

De tal manera, que el diseño de la maquinaria reprogramable, el diseño computarizado, y la realidad virtual propició modificar incesantemente la calidad del producto. Esta nueva dimensión del producto y de la productividad es lo que hace posible la transformación del proceso de valorización, el cual se definirá preponderantemente a partir de la calidad y no simplemente de la cantidad del producto.

Sin embargo, el abismo entre régimen actual de organización de las actividades productivas y el fordismo no debe buscarse primordialmente en la calidad de los bienes, sino en la interrelación

entre tecnología y organización a partir de los cuales se han configurado los activos del conocimiento. Tomando en cuenta la cristalización de las tecnologías electro-informáticas y su papel en la transformación de las cadenas de montaje características de las grandes empresas fordistas, hacia unidades de producción fáciles de programar que pueden ser sensibles a las variaciones del mercado (flexibilidad de producto) y a los cambios de los insumos tecnológicos (flexibilidad del proceso).

En ese universo la reestructuración y reorganización productiva en Estados Unidos desde 1970, permitió un notable cambio en su modelo productivo para adaptarse a las condiciones impredecibles que marcan el rápido cambio económico y tecnológico, transformación que subyace en el surgimiento de la economía global, y en la reorganización del modo de producción capitalista. Dicho cambio subyace en la posibilidad de que los segmentos dominantes de la mayoría de los sectores económicos (ya sea de bienes o de servicios) se organicen a escala mundial en sus procedimientos operativos reales, formando lo que Robert Reich (1992) ha etiquetado de “trama global”. El proceso de producción incorpora componentes producidos en muchos emplazamientos diferentes por empresas distintas y ensamblados para propósitos y mercados específicos en una nueva forma de producción: una producción de elevado volumen, flexible y personalizada. Esta trama no corresponde sólo a la visión de una empresa global que obtiene sus suministros de diferentes unidades de todo el mundo. El nuevo sistema de producción se basa en una combinación de alianzas estratégicas y proyectos de cooperación específicos entre grandes empresas, unidades descentralizadas de cada una de ellas y redes de pequeñas y medianas empresas que conectan entre sí o con empresas mayores o redes de empresas.

***Las capacidades empresariales para adquirir tecnología, articuladas con las sociedades de conocimiento.***

Las nuevas tecnologías de la información son decisivas para permitir que funcione realmente un modelo tan flexible y adaptable. Ello implica la capacidad de la empresa para reestructurarse, no solo eliminando la redundancia, sino asignando las capacidades de reprogramación a todos sus sensores, mientras reintegra la lógica general del sistema empresarial en un centro de toma de decisiones que funcione en línea con las unidades

interconectadas en tiempo real. La información circula por las redes: redes entre empresas, redes dentro de las empresas, redes personales y redes informáticas

Siguiendo a Pérez (2000), no es solamente el uso de las tecnologías electro-informáticas sino también un cierto tipo de organización global-flexible de la producción asociado a esas tecnologías, lo que le confiere la denominación de paradigma tecno-económico informacional

Las observaciones anteriores toman mayor trascendencia si se considera que el paradigma de la tecnología de la información no evoluciona hacia su cierre como sistema, sino hacia su apertura como una red multifacética. Es poderoso e imponente en su desarrollo histórico; sus cualidades decisivas son su carácter integrador, complejo e interdisciplinario que combina e interconecta los conocimientos científicos de nueva generación para fines sistémicos; en medio de un contexto de creciente estímulo al desarrollo de la miniaturización de los dispositivos electrónicos e informáticos que conforman la base técnica del modelo productivo actual, lo cual ha posibilitado encauzar esfuerzos en investigaciones de los fenómenos a escala molecular, propiciando nuevos desarrollos científico-tecnológicos identificados en la actualidad con la nanociencia y la nanotecnología.

Habría que subrayar que la nanotecnología es la manipulación directa de los átomos y moléculas para formar productos (ETC group, 2003). Esta manipulación crea sistemas funcionales con nuevas cualidades, debido a la combinación controlada de sus subunidades (Schmid *et al*, 2003). Las propiedades de la materia trabajada a nanoescala no son iguales a las propiedades de la misma materia en el mundo macro; esto explica que la nanotecnología no sea simple continuación de tendencias anteriores a la miniaturización o a la robotización, sino que implique el comienzo de una nueva trayectoria tecnológica, cuyo futuro es aún incierto pero promisorio.

En esa dirección, visualizada como una revolución científica-tecnológica, la nanotecnología representa un cambio en la producción de bienes capitalista, de tal forma que la totalidad de los conceptos de manufactura, diseño y conocimiento podrán ser modificados y transformados radicalmente. Representa la posibilidad de que la materia estructurada artificialmente reaccione de manera inteligente frente al entorno, con lo cual, se objetivan funciones que

antes desempeñaba la mente de los sujetos sociales o la propia naturaleza, en otras palabras, un proceso de objetivación de la naturaleza y del trabajo totalmente nuevo en la historia de la sociedad y del capitalismo.

El proceso de objetivación de la naturaleza y del trabajo mencionado en el párrafo anterior, se identifica en la primera década del siglo XXI en Estados Unidos, con el desarrollo interdisciplinario y convergente de las disciplinas científicas y tecnológicas como: la física, química, biología molecular, ingeniería eléctrica y proteica, investigaciones microscópicas y proximales, diseño de imágenes atómicas, química computacional, biotecnología, tecnologías de la información, ciencias cognitivas, entre otras como la metrología. El desarrollo científico-tecnológico descansa en nuevos métodos de síntesis, nueva instrumentación, nueva caracterización, nuevas teorías y nuevos modelos para la comprensión de la naturaleza en la escala de los átomos y las moléculas, es decir, la nanociencia y la nanotecnología.

Principalmente son cuatro rubros claves en la actualidad en materia de convergencia científica-tecnológica, los que han posibilitado la conformación de una constelación de nuevas tecnologías disruptivas, o sea, tecnologías que pretenden impulsar los grandes capitalistas, para renovar radicalmente todo el sistema de producción, abarcando la mayoría de las ramas de la producción y convirtiendo rápidamente en obsoletas a las tecnologías actualmente vigentes, una vez que la producción industrial de nanoproducidos y nanocomponentes alcance volumen masivo: 1) la nanotecnología (la manipulación de átomos y moléculas), 2) la biotecnología (o manipulación de los genes), 3) las tecnologías de la información (el manejo electrónico de la información), y 4) las ciencias cognitivas (exploración y manejo de la mente).

En diciembre de 2001, Roco y Bainbridge participan en la propuesta de dos agencias del gobierno estadounidense, las cuales copatrocinaron un taller titulado Tecnologías Convergentes para Mejorar el Desempeño Humano. La colaboración entre la principal instancia científica y “la voz de los negocios en el gobierno” —la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Comercio (DOC) — concentrando esfuerzos, se propone unir un conjunto de ciencias y la posibilidad de obtener nuevas tecnologías; de lo que se está hablando es plausiblemente de una nueva *revolución tecnológica capitalista* centrada en la convergencia de cuatro ejes tecnológicos, para transformar la materia viva e inerte, teniendo

en cuenta el impulso, desarrollo e investigación de la manipulación de la materia, en la escala atómica y molecular como herramienta fundamental que permite la manipulación, además del control de todos los elementos de la naturaleza y la convergencia con otros campos tecnológicos, tenemos: la nanotecnología (la manipulación de los elementos), la biotecnología (o manipulación de los genes), las tecnologías de la información (el manejo electrónico de la información) y las ciencias cognitivas (exploración y manipulación de la mente).

En ese contexto el nuevo paradigma tecnológico BANG, debe considerarse como una aproximación teórica, que facilite identificar la constelación de avances tecnológicos y disciplinas científicas de principios del siglo XXI en Estados Unidos antes mencionados, cuyo denominador común sea la capacidad para transformar el aparato productivo de dicho país. Desde esta perspectiva la noción de paradigma tecnológico de Dosi (1984), me permitió comprender el modelo actual nanoescalar y de convergencia interdisciplinaria, es decir, un esbozo propuesto por los grandes capitalistas para solucionar problemas tecnológicos de miniaturización sobre una base de principios derivados del patrón tecno-económico eletro-informático dominante. La miniaturización encuentra sus límites cuando se emplea una determinada tecnología. La impresión de cada vez más circuitos en los chips se enfrentan, por ejemplo, al cambio de propiedades de la materia que deviene de la miniaturización, con lo cual la corriente puede debilitarse. Es necesario contar con materiales con nuevas propiedades, y la nanotecnología puede ofrecerlo, superando la antigua traba físico-técnica. A diferencia del procedimiento hasta ahora convencional de comenzar por la materia física tal como viene dada en la naturaleza, según sus estructuras propias de unión y reducirla al tamaño de los objetos de uso —proceso *top down*, la nanotecnología propone construir de lo más pequeño (átomos y moléculas) a lo más grande (producto final)— proceso *botton up*. A esos cambios inesperados se les llama “efectos cuánticos”, al reducir el tamaño sin cambiar la sustancia, los materiales presentan nuevas propiedades como conductividad eléctrica, elasticidad, mayor resistencia, cambio de color y mayor reactividad, características que las mismas sustancias no presentan en escalas mayores (micro o macro), Por lo tanto, desempeña un papel crucial, ya que la sucesión de patrones tecnológicos en cada fase de desarrollo del capitalismo abre oportunidades de expansión y crecimiento económico.

De lo anterior se desprende la concepción de patrón tecnológico BANG paradigma emergente, que coexiste con el dominante tecno-económico informacional. El nuevo patrón se desarrolla y permite resolver los problemas tecnológicos estructurales en la lógica global-flexible del actual modelo productivo.

La difusión inicial del nuevo patrón tecnológico BANG, posiblemente sea el rasgo dominante en la última década en Estados Unidos, consecuencia de las sucesivas transformaciones que tienen lugar en la estructura industrial de dicha economía central, a partir del aprovechamiento de las tecnologías nanoescalares.

Para lograr un mayor grado de comprensión de la dinámica y la conexión de la nanotecnología con el cambio en la estructura económica-social, me resultó metodológicamente apropiado, abordar la noción de ciclo tecnológico de Pérez (2000) para identificar el impacto de la revolución nanotecnológica en la primera década del siglo XXI en Estados Unidos y la posibilidad de identificar su trayectoria y maduración en un futuro próximo (ver figura 4 p. 145). Al realizar un estudio de dicho potencial tecnológico en Roco y Bainbridge (2002) el grupo ETC (2005) y Foladori (2006), pude identificar primordialmente la fase 1 del ciclo tecnológico de Pérez, vinculada a la difusión inicial, o sea, el desarrollo inicial de nuevas industrias con crecimiento explosivo e innovación rápida (Ver cuadro 7 pp. 159-162)

Por lo tanto solo queda reconocer que estamos en la entrada de un nuevo avance en la ciencia y en la tecnología basado en un entendimiento comprensivo de la estructura y el comportamiento de la materia en la escala nano. Unificar la ciencia basada en la unidad más pequeña de estudio y la naturaleza en su investigación holística, se presenta como la posibilidad de la convergencia tecnológica y la conformación de una estructura económica social más eficiente para alcanzar metas capitalistas en las primeras décadas siglo XXI. Sin embargo, no hay que olvidar que el impulso y evolución de la nanotecnología se articula dentro de la lógica de la sociedad informática, es decir, se conecta con la base tecnológica desarrollada desde mediados del siglo XX, y que en la actualidad incluye a las industrias tanto de la electrónica que no producen bienes informáticos (como la electrónica de consumo o el equipo industrial o bélico) o las de los servicios de la información; además con una infraestructura particular (cable, fibra óptica, radio, satélite), internet, el transporte físico de alta velocidad

(por tierra, mar, aire); y con el modo de organización flexible de la producción surgido a partir de la transición del modo de desarrollo industrial hacia el modo de desarrollo informacional. Para Castells (2000), Pérez (2000), Ríos (2005) y Dabat (2007), entre otros autores, el ciclo de vida de cada revolución tecnológica dura alrededor de 50 años, dichos autores, identifican el arranque de la quinta revolución tecnológica a principios de los años setenta del siglo XX, en Estados Unidos. En este contexto, se puede inferir que el actual modo de desarrollo informacional se encuentra en el despliegue total del paradigma a lo largo y ancho de toda la estructura productiva, es decir, en plena expansión del potencial innovativo y del mercado; basado en el sector electrónico-informático.

Por tanto el desarrollo de la nueva revolución industrial nanotecnológica se encuentra en una etapa inicial en curso, pero en dicho trayecto puede configurarse como el nuevo patrón tecno-económico capaz de seguir perpetuando el modo de producción capitalista en las futuras décadas en Estados Unidos y en los países centrales. Ya que tanto los países desarrollados como muchos de los que se encuentran en vías de desarrollo, han implementado políticas y estrategias dirigidas a fomentar la investigación, desarrollo e innovación de la nanotecnología como una alternativa de crecimiento económico que permita incrementar su competitividad global

Así, los Estados Unidos cuentan desde 2001 con la Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NNI) como organismo coordinador tanto de los presupuestos federales dedicados a este ramo de la ciencia como de las acciones y programas establecidos para su desarrollo. En 2007 se le asignó un presupuesto federal de 1,397 millones de dólares, cantidad 60% superior a la otorgada cuatro años antes. De estos recursos, el 65% correspondió a instituciones académicas de investigación y desarrollo, el 25% a laboratorios gubernamentales y el 10% a la industria relacionada con la nanotecnología.

Un indicador importante conectado con los esfuerzos en investigación y desarrollo por parte de Estados Unidos, es el creciente número de empresas que incorporan continuamente productos nanoestructurados. Se calcula que actualmente existen a nivel mundial, alrededor de 2,500 compañías involucradas en la nanotecnología. Se estima que el mercado global de productos que involucran nanotecnología asciende actualmente (2008) a 50,000 millones de



dólares, previéndose su crecimiento a una tasa promedio anual del 23% para los próximos 10 años. Estados Unidos y la Unión Europea conjuntan el 70% de ese mercado, mientras que los países del bloque Asia-Pacífico cuentan con el 15%.

El mercado mundial por tipo de producto se centra actualmente en los nanomateriales (86%), en tanto la factibilidad de su aplicación a la gran mayoría de los productos de los diferentes sectores industriales sin modificar significativamente procesos y equipos. Las nanoherramientas y nanodispositivos representan el 14% de ese mercado. El 67% de las empresas de base nanotecnológica son originarias de Estados Unidos, mientras que el 18% son de la Unión Europea y un 8% se ubica en los países de Asia y Medio Oriente. Por su parte, la operación de las empresas internacionales del sector de nanotecnología en el mercado global se encuentra principalmente en Estados Unidos con el 57% de las mismas, mientras que Alemania, Inglaterra y Suiza conjuntan el 21% y Japón el 4%.

En México no hay todavía un plan, programa o iniciativa nacional en nanotecnología, a pesar de que desde el 2002, la investigación en nanotecnología pasa a ser reconocida como un área de investigación estratégica. El Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006, considera la nanotecnología como un área estratégica de los materiales avanzados, señalando la necesidad de contar con un Programa Nacional de Nanotecnología, y de sostener una red de intercambio científico en el área.

No obstante lo anterior, se tiene conocimiento del apoyo realizado por el CONACYT entre 1998 y 2004 a 152 proyectos de investigación relacionados con la nanotecnología y que involucran a 58 instituciones de investigación, habiéndose erogado en ese periodo alrededor de 14.4 millones de dólares distribuidos en un 53% para el área de materiales, 14% a Química, 14% a Electrónica, 12% a Física y 7% a otros. Hacia finales del 2006, el CONACYT emitió dos convocatorias, la primera enfocada a apoyar la creación de laboratorios nacionales y la segunda para la elaboración de megaproyectos en áreas estratégicas, considerando en ambos casos a la nanotecnología. En el primer caso se apoyó a dos centros CONACYT para la instalación de dos laboratorios nacionales de nanotecnología, con \$20 millones de pesos a cada uno y en el segundo, a 5 instituciones con \$100 mil pesos en cada caso para la elaboración de la propuesta

La ausencia de una iniciativa nacional en México indujo a los diferentes centros de investigación a la búsqueda particular de convenios de cooperación internacional, así como a su participación en redes de investigación de carácter nacional y mundial. Las redes que han sido formadas por investigadores que trabajan en Centros de Investigación en México, son: Red Internacional de Nanociencia y Nanotecnología (Red INN), Red de Grupos de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología (Red Regina), Red Nacional de Nanociencia y Nanotecnología, NANOFORUMULA y Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS).

En el panorama nacional se observa que los recursos y esfuerzos dedicados a la nanotecnología son aislados y dispersos, por lo que no obstante la presencia de varios grupos de investigación y desarrollo de alto nivel e incluso con reconocimiento internacional, los resultados son marginales con impacto prácticamente nulo. En este sentido, es importante hacer notar la escasa vinculación academia-empresa, que permita a esta última la apropiación del conocimiento generado en la academia y la mejora en procesos y productos para su inserción en el mercado mundial.

En lo referente a patentes en el área de nanotecnología, también se ha registrado un incremento sustancial en los últimos años, ya que en el período comprendido entre 1996 y 2006 crecieron de 300 a alrededor de 10,105 patentes, de las cuales la mayor parte son de Estados Unidos con el 67% y Alemania con el 8%.

En cuanto a las patentes, baste señalar que mientras los Estados Unidos tienen más de 6,700 patentes otorgadas, en México hasta octubre de 2007 se encontraban registrados 1,142 títulos que incluyen patentes otorgadas y solicitudes de registro, de los cuales, ninguno corresponde a instituciones o empresas de origen mexicano. Se espera que a partir de 2008 esta situación mejore, en tanto se tienen noticias del otorgamiento de varios títulos al IMP y algunos Centros Públicos de Investigación. Con base en las capacidades e infraestructura científico-tecnológica del sector académico, así como en los resultados de la encuesta aplicada a las empresas del sector industrial, los nichos de oportunidad con ventajas competitivas se identificaron en el desarrollo de las plataformas tecnológicas referidas a Sol Gel, Molienda, Vía Húmeda/Sol Gel, Compósitos, Modelación y Diseño de Equipo. En cuanto a los giros industriales con altas posibilidades de proyectos y uso de la nanotecnologías se encuentran: a) Industria Química; b)

Industria del Plástico y del Hule; c) Industria del Petróleo; d) Fabricación de equipo de generación eléctrica y aparatos eléctricos; e) Fabricación de Equipo de Computación, Comunicación, Medición y Equipos, Componentes y Accesorios; f) Fabricación de Productos a base de Minerales no Metálicos (vidrio, cemento, cerámicos, refractarios, abrasivos); g) Industrias Metálicas Básicas (hierro, acero, ferroaleaciones, aluminio, refinación, cobre, fundición, moldeo) e h) Industria Alimentaria.

Respecto al sector empresarial mexicano, a partir de una encuesta aplicada por la Secretaría de Economía en 2008, a 94 empresas de diferentes sectores potencialmente usuarias de la nanotecnología y distribuidas en 15 estados de la república, para conocer su posición y disposición hacia esta nueva tecnología. De estas empresas, el 64% son grandes, el 20% medianas, el 12% pequeñas y el 4% micro.

Dentro de los aspectos relevantes de los resultados de la encuesta destacan:

- El 59% tienen un conocimiento incipiente o desconocen la nanotecnología, mientras que sólo el 11% tienen un amplio conocimiento de la misma.
- El 76% no cuentan con laboratorios adecuados y el 83% no cuentan con plantas piloto para el desarrollo de proyectos de nanotecnología.
- El 69% no cuentan con proyectos de nanotecnología, sin embargo el 63% considera importante su desarrollo.
- Existen 60 proyectos de investigación relacionados en diferentes centros e instituciones, entre las que destacan: CIQA, CIMAV, UNAM y CINVESTAV.
- El 57% de las empresas considera que el uso de la nanotecnología será importante en los próximos años.

En general, de acuerdo al diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México realizado por la Secretaría de Economía en 2008, existen puntos coincidentes en las políticas públicas adoptadas por los países líderes, para el desarrollo de la nanotecnología:

- Instituir un programa o iniciativa nacional con un ente responsable de su ejecución
- Incrementar la inversión pública y privada para la I+D+I

- Desarrollar una infraestructura competitiva a nivel mundial
- Trabajar en redes promoviendo espacios colaborativos
- Promover la educación interdisciplinaria y el entrenamiento
- Desarrollar esquemas de apoyo a la innovación industrial
- Respetar principios éticos e integrar consideraciones sociales
- Analizar aspectos de salud pública y en el trabajo
- Consulta pública sobre las repercusiones de la nanotecnología

El impulso a la nanociencia y la nanotecnología en México, pudiera significar para el país la oportunidad para mejorar su posición competitiva y la disminución de la brecha tecnológica con respecto a otros países, así como la mejora en las condiciones de vida de la población, sin embargo existe un desconocimiento generalizado del tema, tanto a nivel de sociedad civil, como en el sector productivo y gubernamental.

México cuenta con las condiciones necesarias para impulsar el desarrollo de la nanotecnología, siempre y cuando se elaboren e implementen las estrategias necesarias para aprovechar nuestras fortalezas y oportunidades y se contrarresten las debilidades internas que pudiesen poner en riesgo el éxito de este desarrollo.

Es necesario establecer en México un programa o iniciativa nacional en nanotecnología, que incorpore políticas públicas específicas que normen su desarrollo, ya que existe interés por parte del sector productivo para incursionar en el ámbito de la nanotecnología. La barrera principal se encuentra en el conocimiento

## Bibliografía.

- Arriola, J. (2004). *Conocimiento, tecnología y crecimiento. Nuevas orientaciones y recomendaciones estratégicas en una economía globalizada*. Servicio Editorial. Universidad del país Vasco. España.
- Barcelo, L. (2001). *Hacia una economía del conocimiento*. Ed. Prince Waterhouse coopers. España.
- Braverman, H. (1974). *Trabajo y capital monopolista*. Ediciones Nuestro tiempo México.
- Castells, M. (2000). *La era de la información*, vol. I. Siglo XXI Editores. México.
- Cazadero, M. (1995). *Las revoluciones industriales*. Ed. FCE, México.
- Chang Kenneth, (2001). *IBM Creates a Tiny Circuit Out of Carbon*, *New York Times*. Disponible en: [www.research.ibm.com/nanoscience](http://www.research.ibm.com/nanoscience) (consultado el 6 de enero de 2009)
- Coriat, B. (1992) *El taller y el Robot.. Ensayo sobre el taylorismo, el fordismo y la producción en masa* Ed. Siglo XXI, México.
- (1992) *Pensar al revés. Trabajo y organización de la empresa japonesa*. Ed. Siglo XXI. México.
- Corona, L. (1999). *Teorías económicas de la Economía*. Ed. Jus, México.
- Dabat, A. (2007). *Cambio histórico mundial, conocimiento y desarrollo*. Juan Pablos Editor, México.
- (2004). *Revolución informática, globalización y nueva inserción internacional de México*. Facultad de Economía. México.
- David, P.A. y D. Foray (2002). *Fundamentos económicos de la teoría del conocimiento*. Comercio Exterior, vol. 52, núm. 6
- Dosi, G. (1984) *Technological paradigms and technological trajectories The determinats and directions of technical change and the transformations of the economy, in Long waves in the world economy*. Frances Printer, London.
- ETC Group (2005). *Manual de Bolsillo en Tecnologías Nanoescalares*. Disponible en: [http://www.etcgroup.org/upload/publication/56/01/nr\\_etc\\_spa20\\_01\\_2006.pdf](http://www.etcgroup.org/upload/publication/56/01/nr_etc_spa20_01_2006.pdf) (consultado el 23 de marzo de 2008)
- (2003). *De los genomas a los átomos, la inmensidad de lo mínimo. Tecnología atómica: tecnologías que convergen en la nanoescala..* Disponible en:

<http://www.etcgroup.org/upload/publication/170/01/atomtec1.pdf>. (consultado el 1 de abril de 2008)

- Fajnzylber. F. (1983). *La industrialización trunca de América Latina*. Ed. Nueva Imagen. México.
- Foladori. G. (2006). *Nanotecnologías Disruptivas*. Ed. Porrúa, México.
- Gereffi. G. (1995). *Global Production System and Third World Development*. En B. Stallings (ed.) *Global Change, Regional Response: The New International Context of Development*. New York Cambridge University Press.
- Hobsbawn E. (2000). *Historia del siglo XX 1914-1991*. Ed. Crítica. México
- (1998). *La era del imperio*. Ed. Crítica. México
- Kondratiev. N. (1992) *Los ciclos largos de la coyuntura económica*. IIE. UNAM. México.
- Khun. T. S. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. Ed. FCE. México.
- Mandel. E. (1986). *Las ondas largas del desarrollo del desarrollo capitalista. La interpretación marxista*. Ed. Siglo XXI. México.
- Marx, K. (2001). *Introducción general a la crítica de la economía política/1857*. Ed. Siglo XXI. México.
- (1996) *El capital. Tomo I. Vol. I*. Ed. Siglo XXI. México.
- (1987). *El capital Tomo I. Vol. II*. Ed. Siglo XXI. México.
- (1982) *Progreso técnico y desarrollo capitalista. Manuscritos (1861-1863)*. Siglo XXI Editores, México.
- Mokyr. J. (1990). *The Lever of Richies: Technological Creativity and Economic Progress*. Oxford University Press. New York.
- Palazuelos. E. (2000). *Estructura económica de Estados Unidos. Crecimiento económico y cambio estructural*. Editorial Síntesis. España
- Pérez. C. (2000). *Revoluciones tecnológicas y capital financiero. La dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*. Ed. Siglo XXI. México.
- Rivera Ríos Miguel A. (2005). *Capitalismo informático, cambio tecnológico y desarrollo nacional*. Juan Pablos Editor. México.
- Roco. M. y W. Bainbridge (2002) *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science*, NSF/DOC-sponsored report,. Disponible en: <http://issuu.com/nanobioinfocognoman/docs/nbicreport> (Consultado el 3 abril de 2008)
- Roll. E. (1954) *Historia de las Doctrinas Económicas*. Ed. FCE. México.

Rosenberg, N. (1976). *Perspectives on Technology*. Cambridge University Press. U.S.A.

Schumpeter, J. (1978). *Teoría del desenvolvimiento económico*. Ed. FCE. México.

Steil, V. (2002). *Technological innovation and economic performance*. Princeton University Press. U.S.A.