



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Facultad de Economía**

**LAS TECNOLOGÍAS CONVERGENTES  
Y EL PROCESO DE TRABAJO:  
EL CASO DE LA INVERSIÓN EN NANOTECNOLOGÍA,  
BIOTECNOLOGÍA, INFORMÁTICA  
Y CIENCIAS COGNITIVAS EN EUA 2001-2010**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADO EN ECONOMÍA**

**PRESENTA:  
FRUCTUOSO MATÍAS GARCÍA**

**ASESOR:  
LEV ORLANDO JARDÓN BARBOLLA**



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.

*Con todo el amor para mis padres:  
Caritina y Fructuoso*

*A los trabajadores de la ciudad y el campo,  
“para los que hacen mover las máquinas, parir a la tierra,  
y al final se quedan sin nada”*

*A Luis Lozano Arredondo*

*A Magdalena Galindo Ledesma*

## Agradecimientos.

Hace ya casi un siglo que Apolinar Matías, mi bisabuelo paterno, salió de su pueblo cuando el gobierno carrancista lo tomó preso en Tlacolula, aún no sé a causa de qué, lo importante es que en medio de la desesperación, mi bisabuelito hizo un hoyo en el techo de su celda y escapó. De inmediato se dirigió a su casa para recoger a sus hijos, Juan y Licha. Tomaron juntos camino por en medio del río hasta llegar a Candiani, a unos 60 kilómetros de Oaxaca. Ahí fue donde estuvieron trabajando mucho tiempo y donde aprendieron a hablar español. En mi familia, los esfuerzos de los padres por los hijos son una larga cadena de anécdotas honorables, la más antigua que recuerdo es esa, y la platico porque bien que me acuerdo también que, ya asentados en a la ciudad de México, mis padres se propusieron darle a sus hijos una educación universitaria, palabra que cumplieron al costo de mil y un sacrificios y renunciamientos, pero también de valerosos trabajos cotidianos y un sinnúmero de capacidades de esas de las que es bien difícil enunciar con palabras y que sin duda serán un ejemplo de Amor y Respeto que recordaré toda mi vida. Por eso primeramente quiero darle las gracias a Cari y a Tocho, mis amados padres. Jamás he recibido una lección más valerosa en ese sentido que el echar la mirada atrás y recordar cuán grandes fueron su trabajo y esmero en que mis herman@s y yo tuviéramos las condiciones para desarrollarnos en medio de una vida de tantos contrastes en todos los sentidos. Gracias Ma, gracias Pa.

Gracias a mis herman@s David, Bety, Chela y Rubén, con quienes crecí aprendiendo ese sentido irónico y ácido de la vida, a veces un tanto profundo y a veces un tanto bromista, pero siempre mágicamente lúdico y rebelde (la mayoría de las veces). Ahora, como hace tantos años, tomo palabras prestadas para decir que *La vida es un viaje momentáneo, en el que siempre llevamos las cosas más preciadas, las que nos marcan para dejarnos ver lo que en verdad somos*. Tengo algo así como un planeta de recuerdos de cada un@ de ustedes, al ser el más pequeño siempre los vi como aquellos de quien aprender y en ocasiones compartir muy cercanamente a la vez su entusiasmo y desventuras. El tiempo da vueltas y esta *cercana lejanía* que le da vuelta a la cuadra (aunque a veces un poco más y se aventura hasta *macuiltepetl*) me llena de alegría al sentirlos cerca aunque ya no nos encontremos tan seguido como antes :-). *Todas las experiencias que pasamos juntos me arropan bajo la lluvia y también me ayudan a disfrutar cuando hay oportunidad de tomar el sol*.

Gracias también a la gente que más influyó en mí en algún momento en que la adolescencia hizo que mi vida tomara un rumbo tan chido. Entre ellos también está mi carnalito Rubén, el amigo que más recuerdo desde que era bien morrito. Al TeMoK, al Saluko y al Wakamo, por ser tan la banda y aguantarme durante tanto tiempo y darme tantas lecciones de lo que significa la amistad.

Gracias a tod@s mis compañer@s del CAM con quienes encontré un lugar dónde hacer economía desde y para los trabajadores; a Bety, a Chelito, a Marianita, a Montse, al Prince, pero en especial gracias a Luis Lozano que dignamente coordina y hace del CAM un espacio combativo inigualable, donde igual se aprende Crítica de la economía política, que cualidades de entre las más importantes de lo que el ser humano es, la sencillez y humildad de escuchar y poder comunicarse con el otro siempre en base al respeto. Durante los años que he compartido en este espacio, primero como alumno y después como compañero de trabajo, las más grandes lecciones que no se pueden encontrar en ningún manual y que constituyen siempre lo inseparable entre teoría y

práctica, me fueron dadas por mis compañeros de quien espero siempre seguir aprendiendo, pero especialmente de Luis, quien siempre tiene una palabra concisa, un consejo fraterno y ejemplo inmejorable de la ética y el trabajo con conciencia de clase. Realmente no tengo cómo agradecerle todos estos años en que pude encontrar bajo su fraterna compañía y dirección, el entendimiento de entre otras tantas cosas, del por qué y para qué luchar contra el capitalismo y del papel con que se puede conducir siempre el trabajo y los esfuerzos de una manera práctica en lo cotidiano, además de siempre concentrarse en construir desde abajo y a la izquierda otra forma de hacer política sin más recompensa que la satisfacción del deber cumplido. Gracias Luis.

Gracias también a Javier y a David Lozano (no sólo por siempre hacer esquina en los momentos más difíciles, sino también) por ser siempre un ejemplo de lo que significa ser compañero. No me di cuenta en qué momento pasé de *salonear* algún grupo en el que daban clase, a estar en el mismo camino de lucha. Como quiera que hubiera sido, les agradeceré siempre el que hayamos podido construir esos espacios y esos proyectos, de las más inusitadas y poco comunes formas en las que las imaginaba David, o en las formas tan derechas y éticas como las lleva a cabo Javier. Son la onda compas.

Gracias también a Magdalena Galindo, sus inmejorables lecciones de Desarrollo económico son el pilar con los que me asomo a la Historia y encuentro esa mirada de largo plazo que desentraña de forma sencilla lo que sólo después de un concienzudo análisis se comparte como resultado evidente. Estos años como su profesor adjunto me han valido una inmensa cantidad de reflexiones, sin las cuales, seguiría perdido y sin entender la teoría marxista. Gracias Magdalena.

Otro tanto cabe respecto a los profesores y profesoras de quienes aprendí tanto, desde aquellos que en la primaria me dieron el ejemplo de lo que no se debe ser, hasta aquellos que en la Facultad provocaron todo un temblor en el piso del que yo creía estar firmemente en pie. Son muchos, pero puedo nombrar entre los más destacados a Luis y David Lozano (otra vez), a Alfonso Vadillo (cuya clase me convenció de querer ser economista, aunque años después él mismo respondiera a este comentario en el tono irónico que lo caracteriza con un "*cuánto lo siento, joven Matías*"), a Andrés Barrera y a Octavio Rosaslanda. Una segunda marea vino cuando ingresé a la Facultad de Ciencias y salía casi levitando de las excelentes clases de Cálculo de Javier Fernández, pero la que sí nunca-nunca voy a olvidar, es aquella tarde en que después de semanas de preparación previa, Héctor Méndez explicara (atribuyendo además al *matemático colectivo*) el teorema fundamental del Cálculo, porque recuerdo que en aquel momento se me erizó la piel y sentí uno de esos grandes momentos en la vida en que uno parece encontrarse con una verdad trascendental (como una epifanía bíblica), y por si fuera poco, terminara con esa teatralidad fantástica que le permite su experiencia docente y nos dijera algo así como *¡a poco no está bien padre! Imagínense, ella nace en Nueva York, él en Hong Kong, y pasan toda una vida sin saber que son el uno para el otro, sin imaginar que sus destinos están cruzados, y de pronto un día ¡zas! Se encuentran. Como cuando cierras los ojos y arrojas los dedos índices, y cuando los abres... sorprendentemente están juntos...*

Quiero también agradecer en este punto a toda la gente que hizo que llegara hasta este punto, en especial en estos últimos meses. A Conetl por la forma tan peculiar de insertarse en este camino, por las tardes y reflexiones juntos, por el ánimo para

continuar adelante y por todo lo indecible que encierra una tasa de té, un pétalo, un desvelo, una forma caprichosa de Kandinsky, una canción en volumen bajo de Sabina y mil secretos tan parecidos a la repetición continua de recuerdos de vidas pasadas, quién sabe si futuras...

Quiero agradecerle a mis amigos por estar ahí y ayudarme a sobrellevar esta navegación truculenta durante tanto tiempo, aunque algún@s ya no los vea tan seguido: al Prince (otra vez), a Javier, a Chelito a Bety, a Marianita, a Montse (creo que voy a repetir a varios), a Alain, a Noé, a la banda del bloque, a Ceci, a Liz, a Miriam, a Ale, a Isabel, a Maricela, a María y a Katia, en especial a ella porque me acuerdo que hicimos el compromiso de demostrar que trabajos así se deben y pueden hacerse a pesar de las circunstancias, motivo que tuve muy presente en estos meses de encierro.

A mis compañer@s a los cuales sí saben muy bien que el silencio que sigue a continuación lleva toda una carga de significado que podrán rellenar fácilmente cuando diga que ell@s son a los que menciono sin ser nombrados... a los indispensables...

En este trabajo mucho aprendí de Lev, las tardes en que platicábamos son sin duda alguna las más breves, pero enriquecedoras pláticas que sobre Crítica de la economía política haya tenido. No sólo te doy las gracias, sino además también una disculpa por la premura de los tiempos. Este trabajo tampoco pudiera haber sido posible sin todas mis sesiones de los martes en los que pude salir a flote y en cuyo trabajo profesional, por la parte pues que le toca, no puedo más que agradecer a Berenice su conducción crítica. *Esto también es parte de mi análisis.*

En el caso de Lev también, recuerdo que desde el inicio mostró una increíble disponibilidad a pesar de casi no conocerme. Cuando le expuse mi tema de tesis y me di cuenta que (con mucho trabajo debido a mi *enredadez* característica), me pudo entender y compartir algunas de mis ideas que yo pensé que eran simplemente un viaje mío, supe que había sido de lo más afortunado en haberlo topado para trabajar. Muchas gracias Lev. También gracias a tod@s los que hicieron anotaciones críticas a este trabajo y/o que a pesar las inconvenientes circunstancias de los tiempos en que los metí, me ayudaron a sacarlo adelante. Gracias Alain, gracias Luis, gracias Magdalena, gracias Octavio, gracias Alfredo, gracias Bethsaida y gracias Nashelly. Obviamente, los errores aquí puestos son atribución mía, a pesar de reconocer muchos de ellos, no todos los pude arreglar, pero su mirada enriqueció muchísimo este trabajo, sino fuera por eso, adolecería aún más en errores de lo que ya de por sí está. Valga esta humilde contribución pues, a la memoria colectiva del *trabajo*. Que ese es el fin último de hacer lo que aquí se hace.

Finalmente aunque no por eso menos importante, gracias a **ELLA**, la que se escribe en mayúsculas, en negrito y en subrayado. ELLA *se* sabe quién *ser*. Va este trabajo con todo el amor y contrastes...

*La belleza será convulsiva o no será.*

## Índice

<b>Introducción: por qué Tecnologías Convergentes y por qué Proceso de Trabajo. ....</b>	<b>1</b>
0.1. Las tecnologías convergentes como objeto de estudio.....	3
0.2. Objetivos e hipótesis en el estudio de las Tecnologías convergentes y el Proceso de trabajo.....	4
0.3 Contenido y metodología. ....	5
0.3. El Proceso de trabajo y la Crítica de la economía política. ....	11
0.3.1. El trabajo y el proceso de trabajo como esencialidad humana. ....	13
0.3.2. Proceso de trabajo y proceso de valorización.....	16
0.3.3. La ley general de acumulación capitalista. ....	17
0.3.4. La ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia. ....	20
<b>Capítulo 1. La convergencia NBIC: Nanotecnología, Biotecnología, Tecnologías de la Información y Ciencias Cognitivas. Un primer acercamiento. ....</b>	<b>35</b>
1.1. Explicación de la convergencia de la Nanotecnología, Biotecnología, Tecnologías de la Información y Ciencias Cognitivas (NBIC). ....	38
1.1.1. Cogno. La ciencia cognitiva, la neurociencia y la neurociencia cognitiva. ....	39
1.1.2. Info. Las Tecnologías de la Información (TI), la Ciencias de la computación y la Inteligencia Artificial. ....	47
1.1.3. Bio. Biotecnología, Biología Molecular e ingeniería genética. ....	61
1.1.4. Nano. Nanotecnología como llave para la convergencia NBIC. ....	73
1.2. Tecnologías convergentes y la Inversión capitalista. ....	96
1.2.1. Una ruta de la convergencia NBIC. ....	98
1.2.2. Características generales de la Inversión global en nanotecnología. ....	100
<b>Capítulo 2. El desarrollo nanotecnológico estadounidense enmarcado por el desarrollo económico capitalista. ....</b>	<b>121</b>
2.1. “Estados Unidos” a la vanguardia del negocio nanotecnológico. ....	122
2.1.1. Las estrategias nacionales en nanotecnología. ....	128
2.1.2. Algunas perspectivas teóricas de la relación Estado-Capital en el desarrollo tecnológico. ....	132
2.1.3. The National nanotechnology Initiative ( <i>NNI</i> ). ....	135
2.2. El papel del desarrollo tecnológico en el desarrollo económico capitalista. ....	147
2.2.1. La relación entre Revolución Industrial y Revolución burguesa. ....	151
2.2.2. Algunas incorporaciones tardías al capitalismo y el papel que en ellas tuvieron sus respectivos Estados. ....	156

2.2.2.1. El caso de Alemania. ....	156
2.2.2.2. El caso de Japón. ....	160
2.2.3. Desarrollo y subdesarrollo. ....	165
2.2.4. El contexto de la Flexibilización en la Globalización. ....	175
2.2.4.1. Flexibilización productiva en el marco de la producción estratégica. ....	177
2.2.4.2. Crisis del Estado Nación. ....	183
2.2.4.3. Flexibilidad laboral. ....	186
2.2.5. Acumulación originaria de capital, Ley general de acumulación capitalista y Ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia en la teoría del desarrollo. ....	190
2.3. El desarrollo nanotecnológico estadounidense como desarrollo económico capitalista. . .	194
2.3.1. Contexto global de la nanotecnología. . ....	195
2.3.2. Condiciones <i>de entrada</i> a la competencia nanotecnológica. . ....	197
2.3.3. Focalización de patentes y centralización nanotecnológica. . . . .	199
2.3.4. La focalización espacial es focalización de capitales. . . . .	203
2.3.5. La vanguardia del desarrollo nanotecnológico estadounidense es vanguardia de sus capitales. . . . .	207
<b>Capítulo 3. Las Tecnologías Convergentes y el Proceso de Trabajo ¿Será la convergencia NBIC una nueva revolución tecnológica?</b> .....	209
3.1. El desarrollo económico en relación a la idea de progreso técnico. ....	212
3.1.1. Una misma tecnología, intereses diferenciados. . ....	216
3.1.2. El desarrollo de la gran industria como materialización humana. . ....	222
3.2. El negocio nanotecnológico, la salud y el medio ambiente. ....	225
3.3. La ciencia moderna y el modo de producción capitalista. ....	233
3.3.1. Una introducción a la delimitación de la ciencia como proceso histórico. ....	234
3.3.2. La construcción de una agenda temática hacia la física clásica. ....	236
3.3.2.1. La revolución copernicana. ....	240
3.3.3. Teorías de la historia de las ciencias. ....	249
3.3.3.1. Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton. Boris Hessen y la interpretación marxista de la ciencia como proceso histórico. ....	253
3.3.4. La relación entre ciencia y productivismo. . ....	259
3.4. La tecnología capitalista, la ciencia y la Naturaleza. ....	262
3.4.1. Fuerzas productivas, relaciones sociales de producción y tecnología. ....	263
3.4.2. La biotecnología y las semillas en el ciclo D-M-D' ....	270
3.5. Tecnologías convergentes y el proceso de trabajo. ....	277
3.5.1. Cinco características del estado actual de las tecnologías convergentes. ....	277
3.5.2. Un marco simple de interpretación de las Tecnologías convergentes en el Proceso de Trabajo. ....	285
<b>Conclusiones.</b> . ....	289
<b>Fuentes biblio-hemerográficas y electrónicas.</b> .....	295

---

# Introducción: por qué Tecnologías Convergentes y por qué Proceso de Trabajo.

---

**“La Historia misma es una parte *real* de la *Historia Natural* [...] Algún día la Ciencia natural se incorporará a la Ciencia del hombre, del mismo modo que la Ciencia del hombre se incorporará a la Ciencia natural; habrá *una sola Ciencia*.”**  
***Karl Marx. Manuscritos Económico-Filosóficos de 1844***

El proletariado actual es más diverso que el mundo de mercancías que produce. Hay fuerza de trabajo asalariada en la General Motors y en Google, en Nestlé y en Microsoft, en el Pentágono y en Disney, o entre quienes preparan comida rápida en las calles.

La diversidad de los trabajadores y las trabajadoras, así como la heterogeneidad de sus procesos laborales, no impide la relación factual que los ubica como fuerza de trabajo asalariada en la valorización del capital como modo de producción, independientemente de la ausencia o grado de conciencia que se tenga de dicho proceso<sup>1</sup>. Dirigirse al conjunto de trabajadoras y trabajadores que cotidianamente labora con el desarrollo tecnológico en sus distintas modalidades, incluso las más sofisticadas, y con aquel conjunto que trabaja a su vez, estudiando cuáles son las implicaciones y repercusiones de su implementación, es uno de los propósitos de este trabajo

La aceleración en los ritmos de transformación de la vida material de la sociedad de los tres siglos precedentes, exige para su entendimiento partir de condiciones cambiantes, pero también de reconocer, no sólo cuáles son las rupturas que lo hacen diferente, sino

---

<sup>1</sup> Usaremos durante esta tesis el concepto de proletariado, clase trabajadora o clase obrera, como un conjunto delimitado por la relación subordinada de la ejecución de su trabajo en función de la valorización del capital, es decir, como poseedores de fuerza de trabajo que es vendida como mercancía bajo la lógica del modo de producción capitalista. El problema de esta delimitación es “el del pasaje de las formas con que se presenta la clase obrera en las situaciones concretas a la delimitación del concepto de clase obrera, o sea el pasaje del concreto representado a la abstracción, para poder recorrer el camino hacia el concreto determinado”. Iñigo Carrera, Nicolás (2003). “El concepto de clase obrera”. Manuscrito. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina, 2003. Disponible en Internet a través de la dirección: <http://www.iisg.nl/labouragain/documents/inigocarrera.pdf>  
Es decir, ante la diversidad de manifestaciones concretas no puede renunciarse a la conceptualización, e inventar tantas clases sociales como particularidades del trabajo existan. Es importante decir también que la delimitación marcada por el trabajo asalariado es independiente del ámbito en que se desenvuelve, por ejemplo, en el caso que estudiamos aquí, un *científico* también puede ser un asalariado valorizando capital.

cuáles son las continuidades que presenta. La acumulación de capital y la clase obrera corren al paralelo. En tanto se modifican las modalidades de producción social y apropiación privada, se modifican también los modos de existencia, por ejemplo, del trabajo asalariado.

Es así como podemos encontrar asalariados soldando las estructuras de construcciones portuarias, operando los montacargas de contenedores multimodales, conduciendo los transportes a las centrales de abasto, atendiendo la venta de mostrador en los locales de menudeo o publicitando el proceso entero. Así mismo hay trabajo asalariado en la construcción de infraestructura de telecomunicaciones y en el proceso de monitoreo cotidiano del comercio. Pero también hay trabajo asalariado *atrás* del software que gestiona los sistemas de cómputo y *atrás* del diseño de los *automotores*. Mientras se escribía este trabajo, por ejemplo, la empresa de subcontratación australiana *Freelancer Australia Pty. Limited* daba a conocer una aplicación en su portal a través de la cual, en forma automática, un algoritmo de software podía reclutar, contratar y pagar a trabajadores por la realización de una gran variedad de tareas. El presidente ejecutivo de esta empresa declaraba: “Por los últimos 60 años, los humanos han controlado software, ahora estamos llegando a un estado en el que el software puede controlar humanos”.<sup>2</sup> Quizá porque la labor *humana* más cercana a la de una *máquina*, es maximizar la extracción de trabajo ajeno. De cualquier modo, *las líneas de código fuente no flotan por los aires*, son también trabajo humano y buena parte de las veces, trabajo asalariado.

El marco del proceso de acumulación de capital, por tanto, se modifica, actualiza y realimenta constantemente. Sin embargo, así como podemos encontrar rupturas de contenido o de grado, también podemos encontrar *continuidad en el cambio*. Este trabajo surge de este contexto de modificación de las formas de acumulación de capital, y se inscribe en el análisis del desarrollo tecnológico de punta de nuestros tiempos; las *Tecnologías convergentes*, tanto en el proceso de *continuidad* de desarrollo científico y tecnológico que le dan origen, como los puntos que las caracterizan y que tendencialmente pueden representar una *ruptura*.

---

<sup>2</sup> “For the last 60 years, humans have controlled software - now we're getting to the stage where software can control humans”. Nota “Become a wage slave to software” en la revista *New Scientist*. Número 2759. Año 2010. Sección noticias de tecnología. Página 19.

## 0.1. Las tecnologías convergentes como objeto de estudio.

Con el término *Tecnologías convergentes* nos referimos aquí a una doble consideración; por un lado la sinergia de la biotecnología, tecnologías de la información, tecnologías basadas en la ciencia cognitiva, todas ellas aunadas con el potencial productivo de la nanotecnología; y por el otro lado tenemos el carácter estratégico de dichas tecnologías para la producción capitalista. Para lo primero es de una importancia fundamental señalar el énfasis que se ha puesto en este trabajo respecto a estudiar la nanotecnología como *convergencia* de las cuatro, y no desde una visión segmentada y aislante que ponga a la nanotecnología sólo como ingeniería de materiales. Para lo segundo se estudia particularmente el caso del desarrollo nanotecnológico en los Estados Unidos, tomando críticamente como referencia su visión oficial para la elaboración de planes de desarrollo nanotecnológico en condiciones en las que se ha alcanzado un grado muy alto de funcionalidad del aparato gubernamental, educativo y de investigación científica para generar conocimiento adecuadamente trasladado a su aplicación tecnológica con visión empresarial. En este contexto hemos delimitado nuestro estudio detallado en la última década, a partir del año 2001 cuando se lanzó la *National Nanotechnology Initiative* (NNI) en los Estados Unidos como un proyecto conjunto de la Casa Blanca con una decena de agencias gubernamentales y que hoy en día sigue en operación, misma que podría ser calificada de *exitosa* si se le contrasta con los objetivos para la que fue formulada; poner a los Estados Unidos en la vanguardia del negocio nanotecnológico.

Podemos encontrar el planteamiento conjunto de una visión tanto gubernamental como empresarial y militar en el documento “*Converging technologies for improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science (NBIC)*”.<sup>3</sup> Este documento es el resultado de un taller llevado a cabo en diciembre de 2001 tanto por las agencias gubernamentales participantes en la NNI, como de representantes de los sectores empresariales interesados en la nanotecnología. En él se abre el horizonte para hacer converger la Nanotecnología, la Biotecnología, la Informática y las Ciencias Cognitivas –por lo que también se les conoce como *Convergencia NBIC*, por Nano, Bio, Info y Cogno–, ramas que desde años atrás se desarrollaban ya paralelamente

---

<sup>3</sup> Roco, Mihail C. y Sims Bainbridge, William, et ál. (2002). *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. Reporte patrocinado por la National Science Foundation y el Department of Commerce de los Estados Unidos. Junio de 2002. Arlington, Virginia.

con resultados diferenciados y gran perspectiva de negocios al transformar radicalmente desde la ingeniería de materiales hasta la medicina genómica, pasando por la posibilidad de abrir nuevas fuentes energéticas. El gran empeño a nivel mundial de las potencias económicas en inversión pública y privada devela su carácter estratégico. Paralelamente a la realización de investigaciones de punta comienzan a salir al mercado productos con materiales nanoestructurados, lo cual comienza un concurrido debate sobre las implicaciones económicas, sociales, medioambientales, éticas y de salud pública que traen consigo las tecnologías nanoescalares. Estos son los temas del presente trabajo.

Esta tesis se inserta en el contexto de este debate desde dos propósitos, por un lado el abordar como objeto de estudio las Tecnologías convergentes y por el otro hacer un recuento del desarrollo tecnológico y su papel en el Desarrollo económico, ambos desde la perspectiva del materialismo histórico. Para ello también habrá que hacer un breve recuento del trabajo como actividad esencial de la humanidad y sus diversas configuraciones como las bases sobre las cuales aparecen también diversas configuraciones de sociedades humanas. En especial se pondrá atención en el aspecto tecnológico del Proceso de Trabajo como categoría transhistórica así como en la dimensión histórica del Proceso de valorización de capital como su concreción hegemónica en la actualidad.

## **0.2. Objetivos e hipótesis en el estudio de las Tecnologías convergentes y el Proceso de trabajo.**

Tenemos por **objetivo general** mostrar que la inversión en Tecnologías Convergentes se efectúa como proceso estratégico de control sobre el proceso de valorización de capital en su conjunto y por **hipótesis general** a demostrar, que su tendencia como apropiación privada se inserta igualmente en la dinámica de la Ley general de acumulación capitalista.

Es esta la base sobre la cual se erige esta investigación. Se confronta la teoría de la escuela marxista como herramienta capaz de explicar el nacimiento, desarrollo y posibles consecuencias de la vanguardia tecnológica de la actualidad: las Tecnologías convergentes. Además de hacer una reflexión amplia sobre el concepto de Revolución Industrial y enmarcar un análisis interpretativo de dichas tecnologías tanto en los elementos simples del proceso

de trabajo, como en la perspectiva de la maquinaria y la gran industria.

Como objetivos particulares tenemos; a) mostrar un panorama de las implicaciones que abre el proyecto de Tecnologías convergentes en lo económico, social, medioambiental y lo ético; b) enmarcar el desarrollo tecnológico de punta en un contexto continuo del papel del desarrollo tecnológico capitalista como fundamento material de la ley general de acumulación capitalista y la Ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia; c) mostrar el Desarrollo económico como una categoría histórica y no una categoría moral, y de este modo utilizarla como contexto que corrobora el inciso anterior; d) Controvertir los conceptos de *Revolución Industrial* y *Revolución Tecnológica* a través del análisis del Proceso de Trabajo, e) diferenciar históricamente la Ciencia de la Tecnología así como estudiar la relación entre ambas en el contexto del modo de producción capitalista, esto es, la cientifización de la tecnología y la tecnologización de la ciencia a partir de la perspectiva de la subsunción formal y subsunción real del trabajo al capital, y; f) explicar cómo las Tecnologías convergentes parten de una capacidad sustancial de modificar el Proceso de Trabajo en su conjunto, tanto en lo objetivo como en lo subjetivo y la relación entre ambos.

### **0.3. Contenido y metodología.**

Si bien, la metodología de la investigación no tiene por qué ser idéntica a la de la exposición; comenzaremos caracterizando en un primer momento, y en buena medida sintetizando, el debate actual sobre el desarrollo de las tecnologías convergentes y de la inversión que interviene en ellas (capítulo 1); de ahí se estudia el desarrollo nanotecnológico estadounidense en el contexto del desarrollo económico capitalista como marco histórico (capítulo 2); después se analiza el papel de la Tecnología en el Proceso de Trabajo como marco teórico para finalmente hacer una reinterpretación reconstructiva del objeto de estudio, planteando la pregunta de si serán las tecnologías convergentes una nueva revolución tecnológica desde su contexto histórico y teórico (capítulo 3). Las conclusiones serán una síntesis del planteamiento y resultados de esta investigación.

Existe un cierto grado de dificultad en escoger el objeto de estudio que aquí nos proponemos. Por un lado está el hecho de que el tema de la nanotecnología, aunque cada

vez más conocido, no es de dominio general, particularmente de quienes nos desarrollamos en el ámbito de las ciencias sociales, y por el otro que entre quienes estudian el desarrollo tecnológico en las ciencias sociales, la participación del análisis desde el materialismo histórico no es en definitiva la mayoría. Debido a las múltiples determinaciones que conlleva abordar este tema desde la Crítica de la economía política, se han puesto en un mismo trabajo, tanto elementos técnicos para entender qué son las tecnologías convergentes, como elementos para entender la dinámica general en que se insertan desde el punto de vista histórico y económico.

La crítica de un tema poco tratado, sin embargo, tiene entonces que partir de sostener un piso mínimo para su discusión, por lo que se ha procurado en la medida de nuestras propias limitaciones, generar un piso básico de modo que quienes deseen enterarse del tema y sea su primer acercamiento, puedan hacerlo sin la necesidad de elementos previos, y al mismo tiempo se ha procurado profundizar en algunos temas con el ánimo de no sólo dar un panorama, sino de estudiar las causas de fondo. Como se podrá ver principalmente en el capítulo primero, el enfoque crítico ha sido multidisciplinar y un tanto ambicioso en la medida de acercarse a campos que están medianamente alejados de las ciencias sociales, con ello se aventuran gran cantidad de afirmaciones y se dan por hecho varios antecedentes que seguramente contendrán imprecisiones e incluso errores. Al exponerlos bajo esta advertencia tomo por sentado que podrán ser mejorados, modificados o eliminados a medida en que la discusión de este trabajo permita transformarlo, cuando así se necesite.

En el *primer capítulo*, como acercamiento inicial, explicamos qué es la convergencia NBIC y la cuantificación general de la inversión capitalista en ella. Para hacerlo se ha tenido en consideración tanto las visiones *pop* que pueden encontrarse a granel respecto al tema, como elementos que permiten una futura discusión más a fondo y que consideran las ausencias temáticas que hemos detectado en el tratamiento de la misma en la inmensa mayoría de las investigaciones –claro que existen excepciones, pero la generalidad no las trata– principalmente porque se aborda a la nanotecnología sólo desde el punto de vista de la ingeniería de materiales y no como la llave maestra de las tecnologías convergentes. Para explicar la convergencia tenemos a su vez una diferencia entre una tecnología particular y el campo o campos científicos del que puede proceder el conocimiento utilizado en su generación, descrito para cada uno de los elementos de la convergencia NBIC, así como la

explicación de la convergencia como más que la simple suma de sus partes. Con este propósito se encontrará en todo el apartado 1.1. una gran cantidad de elementos que describen el *programa reduccionista* que sustenta a las tecnologías convergentes. Por ello se explican las aplicaciones de la ciencia cognitiva a partir de describir y puntuar algunos de los aspectos que en ella intervienen al igual que en las neurociencias (apartado 1.1.1.); se explican las tecnologías de la información a partir de un recuento sobre qué son las ciencias de la computación y la inteligencia artificial (apartado 1.1.2.); se explica la biotecnología a partir del enfoque de la biología molecular (apartado 1.1.3.), y; se explica la nanotecnología como aquella a través de la cual se pueden hacer converger todas las demás (1.1.4.). En ese transcurso, se exponen a su vez enfoques con los que no necesariamente se puede estar de acuerdo, pero se han insertado en la medida de su importancia al representar los puntos de vista dominantes, ya que una crítica acertada pasa necesariamente por el conocimiento de aquello que se critica. En ello se va la mayor parte del capítulo *y puede resultar un tanto difícil para aquellos que no estamos acostumbrados a explorar campos distintos de las ciencias sociales*. Cabe además decir, que si bien se hace la descripción de dicho programa reduccionista en el apartado 1.1. su crítica, no sólo desde sus mismas disciplinas sino conjuntamente con el materialismo histórico, se hará de manera consistente hasta el capítulo tercero (en los apartados 3.4. y 3.5.). Hacia el final del primer capítulo se presentarán algunos indicadores generales de actividad nanotecnológica respecto al mercado presente (apartado 1.2.); número de productos a la venta, artículos relacionados, etc.; así como la preparación de un terreno de juego futuro, como los montos de inversión global en investigación y desarrollo así como los principales países donde se concentra la misma y dentro de la misma dinámica, qué empresas tienen mayor actividad, tanto en lo que concierne a inversión, como lo que concierne al tema de patentes.

En el *segundo capítulo* se profundiza en el caso de los Estados Unidos por ser la nación con mayor desenvolvimiento en este tema desde el ámbito gubernamental y corporativo (apartado 2.1.). En el primer ámbito tenemos principalmente el caso de la *National Nanotechnology Initiative* que opera desde el año 2001 y contempla desde lo educativo hasta lo militar (apartado 2.1.3.), y en el segundo ámbito, tenemos la mayor concentración y centralización de empresas nanotecnológicas, que conjuntamente corporeizan el carácter hegemónico del capital estadounidense en nanotecnología (apartado

2.3.). A propósito de algunos indicadores que señalan la anterior afirmación, se ha incorporado en este capítulo elementos para estudiar la competencia inter-*capitalista* presentada como competencia inter-*nacional*, para ello nos avocamos a discutir la relación del desarrollo tecnológico con el desarrollo económico capitalista. Mostramos como contexto el surgimiento paralelo de transformaciones en la vida material, la capacidad productiva y algunas configuraciones sociales, como el apareamiento de las consecuencias de la revolución industrial y las revoluciones burguesas, la división internacional del trabajo y el surgimiento de los estados nación y, más recientemente, la flexibilización productiva y laboral con el neoliberalismo (apartado 2.2.). Transversalmente a ello, señalamos particularidades de la inserción tardía de algunas potencias capitalistas al mercado mundial en el transcurso de dos siglos en las que el papel del desarrollo tecnológico tuvo uno de los lugares centrales en su proceso histórico, especialmente en el caso de Alemania y Japón. Con todo ello expondremos: a) un marco básico de la relación del desarrollo tecnológico y el desarrollo económico capitalista, en la que desarrollo y subdesarrollo son dos manifestaciones de un mismo proceso, b) una caracterización de elementos propios a esa relación que permanecen continuamente a pesar de sus grandes transformaciones, particularmente respecto a la ley general de acumulación capitalista y a la Ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia, y c) mostrar que en la vanguardia tecnológica capitalista tanto hace 150 años como hoy, las libres fuerzas del mercado son un mito que no encuentra corroboración. Finalmente, en el segundo capítulo se enumeran varias características que permiten insertar el desarrollo nanotecnológico y su respectiva competencia intercapitalista en la dinámica anteriormente descrita, por lo que independientemente de las concreciones de contenido que presenta en lo ambiental, en lo ético y en sus repercusiones para la salud, por su *forma general* de desarrollo tecnológico capitalista, sus consecuencias son indisociables de las consecuencias de acumulación de capital (apartado 2.3.).

Esta es una de las tres ausencias temáticas más importantes de las que hemos hablado anteriormente. La primera fue el carácter de convergencia en la nanotecnología, el segundo es su estudio como proceso de acumulación capitalista, y la tercera la constituye la discusión de nuestro tercer capítulo, que además señalamos como el más importante de este trabajo en general.

El *capítulo tres* se dedica a realizar un estudio de algunas de las implicaciones

particulares de las tecnologías convergentes (ahora sí), tanto en lo medioambiental, lo ético y la salud, pero tomando como punto de referencia la categoría del *Proceso de Trabajo* de la Crítica de la economía política (apartado 3.2.). Aunque en su mayoría, aquel capítulo se dedique a mostrar, a partir de los cimientos construidos en los capítulos precedentes, que esta misma categoría nos permitirá entrar a la discusión de uno de los temas más repetitivos, y sin embargo poco profundizados, del desarrollo nanotecnológico: responder a la pregunta ¿Es la nanotecnología una nueva *revolución tecnológica*? De este modo se discutirá cómo el *horizonte teórico* abierto por Richard Feynman desde 1959 (“¿Qué pasaría si pudiéramos acomodar los átomos uno por uno en la forma en que los quisiéramos?”<sup>4</sup>) se actualiza y reconfigura con su complemento, el *horizonte práctico* de la nanotecnología, y es este segundo el que de acuerdo a las tendencias y características que ha presentado ya en los hechos, el que nos permite responder a esa gran pregunta (apartado 3.5.).

Además en la respuesta presentamos otro contexto, que actúa análogamente al del capítulo dos al remitimos a tendencias históricas de *largo plazo* y ver si presentan continuidad o ruptura. Aquí, para abordar la unión entre ciencia y tecnología, mostramos a partir de qué contexto histórico surge la primera y cómo bajo el capitalismo adquiere una relación tendencialmente más subordinada a la modalidad capitalista de la segunda. A partir de ello podemos también señalar algunos elementos críticos básicos sobre la historicidad del desarrollo científico, y si puede mostrarse, al igual que el resto de la *Historia*, como la aportación de grandes personajes o si al igual que otras tantas prácticas humanas, la ciencia y las teorías que la construyen, se corresponde, alimenta, actualiza y se modifica al lado de un determinado estadio de desarrollo de las fuerzas productivas (apartados 3.3. y 3.4.). Para todo lo anterior será necesaria la utilización de los conceptos de *subsunción formal* y *subsunción real* del trabajo al capital.

Hasta aquí hemos explicado el contenido y la forma general de proceder en esta tesis. Los apartados siguientes de esta introducción constituyen otro piso mínimo para los elementos teóricos que serán abordados durante el trabajo. Es muy importante señalar que la decisión de incluirlos aquí y no en otro lugar corresponde en que al ser los conceptos de *Proceso de trabajo*, *ley general de acumulación capitalista* y *ley de la baja tendencial de la*

---

<sup>4</sup> Feynman, Richard P. (1959) “There's Plenty of Room at the Bottom. An invitation to enter a new field of physics” en la Revista *Engineering and Science*. California Institute of Technology. Estados Unidos, 1960. Esta misma conferencia puede ser consultada libremente en internet, por ejemplo, a través de la dirección: [www.zyvex.com/nanotech/feynman.html](http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html)

*tasa general de ganancia* los fundamentos teóricos de los que se vale esta investigación desde la Crítica de la economía política, es necesario señalar qué se entiende por cada uno. Aquellos lectores que estén familiarizados con estos temas podrían omitir los siguientes apartados, al igual como aquellos que estén familiarizados con el tema del desarrollo nanotecnológico a profundidad podrían omitir el capítulo primero en su totalidad, así como el apartado 2.1. del segundo capítulo, pero estimamos también conveniente, aún a pesar de ser en su mayoría descriptivos, que aquellos que se acercan por primera vez al tema, a través de la lectura de todos esos apartados, puedan entonces tener un piso básico para la discusión en el resto de la tesis, ya sea desde el carácter técnico que tiene que ver con las tecnologías convergentes, ya sea con los antecedentes históricos de contexto de la relación del desarrollo tecnológico y el desarrollo económico capitalista que presentamos desde el apartado 2.2. y hasta concluir la tesis.

El concepto de *Proceso de trabajo* como herramienta teórica será utilizado hacia los apartados 3.4. y 3.5. del capítulo tercero así como en el marco de la conclusión general de esta tesis, por lo que su importancia es central. Diferenciar los procesos de configuración del mismo así como la particular forma del *proceso de valorización*, son importantes como antecedente de estudio del proceso histórico del modo de producción capitalista, mismo que deriva también en las categorías de subsunción formal y subsunción real del trabajo al capital que serán argumentadas durante todo el apartado 2.2 del segundo capítulo y 3.3 a 3.5 del tercer capítulo. La *Ley general de acumulación capitalista* así como la *Ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia*, son importantes también durante todo el apartado 2.2 y 2.3. del segundo capítulo y particularmente en el apartado 2.2.5., pero también para el estudio de la relación entre ciencia y desarrollo capitalista de todo el capítulo tercero. Sin embargo, en aquellos puntos se da por sentado que el lector ya conoce dichos conceptos y no nos detenemos a exponerlos, es por esa razón que se encuentran en esta introducción. Estimamos también, que aún entre quienes sí estén familiarizados con su manejo, podrán encontrar una manera particularmente didáctica de exponer qué es cada uno de ellos, principalmente en lo que respecta a la *ley de la baja tendencial*. Es por estas razones y por la extensión de cada capítulo, que se ha considerado incluir la exposición de todos estos conceptos en los apartados siguientes y no en otra parte de la tesis, aunque con ello se modifique *la estructura tradicional* de una tesis, pero evaluamos que al hacerlo, podemos

obtener una mejor explicación de la tesis en su conjunto.

#### 0.4. El Proceso de trabajo y la Crítica de la economía política.

Deseamos incluir brevemente en esta introducción, la descripción analítica de algunos conceptos utilizados a lo largo del presente trabajo en la medida en que esta investigación sirva para pensar en la relación tecnología-economía, relación que fue estudiada desde los albores de la ciencia económica y cuyos inicios podemos encontrar al menos desde Smith, Ricardo y Marx.

El *trabajo* es el Padre y la *tierra* la Madre consignó William Petty y años más tarde, Adam Smith afirmaría que el *precio real* de las mercancías es el trabajo contenido en ellas, “las penas y fatigas que su adquisición supone”, pero en tanto ocurre la propiedad privada de la tierra y la acumulación privada de capital, el trabajo deja de ser el único determinante del *precio* en tanto debe contemplar ahora las remuneraciones al factor tierra y al capital.<sup>5</sup> Además, Smith introducirá en su análisis la *división del trabajo* como la hipótesis dinámica causante del incremento de la productividad. Por otro lado, David Ricardo comienza el Preámbulo de sus *Principios de Economía Política y Tributación* diciendo que “el producto de la tierra –todo lo que se obtiene de su superficie mediante la aplicación aunada del Trabajo, de la Maquinaria y del Capital– se reparte entre tres clases de la sociedad, a saber; el propietario de la Tierra, el dueño del capital necesario para su cultivo, y los trabajadores por cuya actividad se cultiva” y más adelante sentencia que “la determinación de las leyes que rigen esta distribución es el problema primordial de la Economía Política”<sup>6</sup>. En el análisis de Ricardo encontramos lo que junto a Malthus denominó como la Ley de los rendimientos decrecientes, aunque dicho sea de paso, hay una abismal diferencia entre Malthus y Ricardo ya que este último la aplicó y delimitó para la agricultura y no para todo el sistema económico. Muestra de lo anterior es que en la última edición de los *Principios*, Ricardo agrega un capítulo (el XXXI) sobre los beneficios generales que trae consigo el empleo de la

---

<sup>5</sup> Smith, Adam (1776). Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones. Decimoquinta reimpresión de la segunda versión en español. Editorial Fondo de Cultura Económica. México 2006. Capítulo V “El precio real y nominal de las mercancías, o de su precio en trabajo y su precio en moneda”, página 31.

<sup>6</sup> Ricardo, David (1817). Principios de Economía Política y Tributación. Sexta reimpresión de la primera edición en español. Editorial Fondo de Cultura Económica, México, 2004

maquinaria en la producción y en el que los rendimientos decrecientes no son con mucho, una fuerza que no pueda ser vencida por los incrementos de la productividad generados por las máquinas. Aunque no es en definitiva la perspectiva a considerar en esta tesis, pero en mínima *justicia intelectual* con él, hemos de señalar también un pasaje de dicho capítulo que nos parece muy relevante: “Desde que por primera vez dediqué mi atención a los temas de la Economía Política, he creído que la aplicación de la maquinaria a cualquier rama de la producción era un bien general, ya que tendría como efecto el ahorrar mano de obra, salvo los inconvenientes correlativos que en la mayoría de los casos se presentan al trasladar el capital y el trabajo de una a otra actividad” y después de mencionar los beneficios que tendrían estas modificaciones para las tres diferentes clases de la sociedad, Ricardo afirma que: “Estas eran mis opiniones, que continúan incólumes en lo que se refiere al terrateniente y al capitalista; pero estoy convencido ahora que la sustitución del trabajo humano por la maquinaria es, a menudo, muy perjudicial para los intereses de la clase trabajadora. Mi error provino de la suposición de que siempre que el ingreso neto de una sociedad aumentara, su ingreso bruto aumentaría también. Sin embargo, tengo ahora razones para pensar que un fondo, del cual los terratenientes y capitalistas obtienen su ingreso, puede incrementarse, mientras el otro, del que depende principalmente la clase trabajadora, puede disminuir, de lo que se sigue, si estoy en lo cierto, que *la misma causa que puede incrementar el ingreso neto del país, puede al mismo tiempo convertir en superflua a la población y deteriorar la condición del trabajador*”<sup>7</sup>

Karl Marx, abre un panorama aún más extenso, profundo, y preciso para el estudio del Trabajo como esencialidad humana, más aún, trasciende la visión de la naciente Economía Política clarificando que aquello a lo que hacían referencia los trabajos de Smith y Ricardo, cimiento de las investigaciones de Marx en lo que a economía se refiere, era válido mientras se hablara del modo de producción específicamente capitalista, pero que este se encontraba inmerso en un análisis más amplio, poniendo así sobre la mesa el instrumental teórico más potente para comprender la *Historia* con categorías tales como *Proceso de Trabajo, Modo de Producción, Valor, Proceso de Valorización, Fuerza de Trabajo, Medios de Producción*, etc., naciendo así tanto el *Materialismo Histórico*, como la *Crítica de la Economía Política*, que es la base teórica principal que utilizaremos a lo largo de esta tesis. Por ello a continuación

---

<sup>7</sup> *Íbidem.* Capítulo XXXI “De la maquinaria” páginas 288-299. Cursivas nuestras.

presentamos un esbozo breve y puntualizado de algunas de las categorías más importantes que utilizaremos de Marx.<sup>8</sup>

#### 0.4.1. El trabajo y el proceso de trabajo como esencialidad humana.

Es muy difícil en este punto, sintetizar en pocas líneas el contenido, cuando ya ha sido redactado de una forma tan concienzuda con anterioridad, por lo que nos permitimos a continuación citar ampliamente a Marx en los apartados más importantes para nuestro caso:

“El uso de la fuerza de trabajo es *el trabajo mismo*”. El obrero es la fuerza de trabajo que se pone en movimiento a sí misma. “El trabajo es, en primer lugar, un proceso entre el hombre y la naturaleza, un proceso en que el hombre media, regula y controla su metabolismo con la naturaleza. El hombre se enfrenta a la materia natural misma como un poder natural. Pone en movimiento las fuerzas naturales que pertenecen a su corporeidad, brazos y piernas, cabeza y manos, a fin de apoderarse de los materiales de la naturaleza bajo una forma útil para su propia vida. Al operar por medio de ese movimiento sobre la naturaleza exterior a él y transformarla, transforma a la vez su propia naturaleza. Desarrolla las potencias que dormitaban en ella y sujeta a su señorío el juego de fuerzas de la misma.” [...] “El obrero no sólo *efectúa* un cambio de forma de lo natural; en lo natural, al mismo tiempo, *efectiviza su propio objetivo*, objetivo que él *sabe* que determina, como una ley, el modo y manera de su accionar y al que tiene que subordinar su voluntad. Y esta subordinación no es un acto aislado. Además de esforzar los órganos que trabajan, se requiere del obrero, durante todo el transcurso del trabajo, la voluntad *orientada a un fin*, la cual se manifiesta como atención” “Los elementos simples del proceso laboral son la *actividad orientada a un fin* o sea *el trabajo mismo*, su *objeto* y sus *medios*.”

“La *tierra* (la cual, económicamente hablando, incluye también *el agua*), en el estado originario en que proporciona al hombre víveres, medios de subsistencia ya listos para el consumo, existe sin intervención de aquél como el *objeto general* del trabajo humano. Todas

---

<sup>8</sup> En ello seguimos de forma general las categorías de Marx a través de algunos de sus puntos ya que no se trata de exponer de forma completa cada una de ellas, sino sólo de resaltar algunas de sus consideraciones. Principalmente aquí desde el punto de vista analítico; éste consiste primordialmente, más que en la conjugación completa de lo abstracto y lo concreto determinado y el proceso general que describe a ambos, en el simple señalamiento de los elementos que intervienen y las relaciones fundamentales que guardan entre sí.

las cosas que el trabajo se limita a desligar de su conexión directa con la tierra son objetos de trabajo preexistentes en la naturaleza” [...] “En cambio, si el objeto de trabajo, por así decirlo, ya ha pasado por el filtro de un *trabajo anterior*, lo denominamos *materia prima*.” [...] “Toda materia prima es objeto de trabajo, pero no todo objeto de trabajo es materia prima. El objeto de trabajo sólo es materia prima cuando ya ha experimentado una modificación mediada por el trabajo. El *medio de trabajo* es una cosa o conjunto de cosas que el trabajador interpone entre él y el objeto de trabajo y que le sirve como *vehículo* de su acción sobre dicho objeto. El trabajador se vale de las propiedades mecánicas, físicas y químicas de las cosas para hacerlas operar, *conforme al objetivo que se ha fijado*, como medios de acción sobre otras cosas.” [...] “De esta suerte lo natural mismo se convierte en *órgano* de su actividad, en *órgano* que el obrero añade a sus propios *órganos corporales*, prolongando así, a despecho de la Biblia, su estatura natural.”

“El uso y la creación de medios de trabajo, aunque en germen se presenten en ciertas especies animales, caracterizan el *proceso específicamente humano de trabajo*” [...] “La misma importancia que posee la estructura de los huesos fósiles para conocer la organización de especies animales extinguidas, la tienen los vestigios de *medios de trabajo* para formarse un juicio acerca de formaciones económico-sociales perimidas. Lo que diferencia unas épocas de otras no es *lo que se hace*, sino *cómo*, con qué medios de trabajo se hace. Los medios de trabajo no sólo son escalas graduadas que señalan el desarrollo alcanzado por la fuerza de trabajo humana, sino también indicadores de las relaciones sociales bajo las cuales se efectúa ese trabajo.” [...] “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. Lo que en el trabajador aparecía bajo la forma de movimiento, aparece ahora en el producto como atributo en reposo, bajo la forma del ser. El obrero hiló, y su producto es un hilado.” [...] “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” [...] “El *proceso de trabajo*, tal como lo hemos presentado en sus elementos simples y *abstractos*, es una actividad orientada a un fin, el de la producción de

valores de uso, apropiación de lo natural para las necesidades humanas, condición general del metabolismo entre el hombre y la naturaleza, eterna condición natural de la vida humana y por tanto independiente de toda forma de esa vida, y común, por el contrario, a todas sus formas de sociedad. No entendimos necesario, por ello, presentar al trabajador en la relación con los demás trabajadores. Bastaba con exponer al hombre y su trabajo de una parte; a la naturaleza y sus materiales, de la otra. Del mismo modo que por el sabor del trigo no sabemos quién lo ha cultivado, ese proceso no nos revela bajo qué condiciones transcurre, si bajo el látigo brutal del capataz de esclavos o bajo la mirada ansiosa del capitalista”<sup>9</sup>

En este extracto encontramos tanto las definiciones como las diferencias entre trabajo, fuerza de trabajo y proceso de trabajo, además de los elementos simples del mismo. El proceso de trabajo en tanto producción de valores de uso responde a necesidades a través de capacidades y es, no *una* interacción del ser humano<sup>10</sup> con la naturaleza externa, sino *la* interacción total del ser humano con su naturaleza externa y en esta medida, su existencia misma. También se desprenden de aquí puntos importantes del concepto de Naturaleza en Marx; a) ser humano y naturaleza no se contraponen como mutuamente excluyentes por sí mismos, de hecho, el ser humano interactúa con ella en tanto su *ser* es también un *poder natural*, b) sólo se contraponen en función del proceso de interacción, pero dicha contraposición es funcional a la *forma* y no al *contenido*, c) del mismo modo, la naturaleza en su totalidad constituye al mismo tiempo el objeto general del trabajo, la fuente de todos los medios de trabajo y, también, la fuente de todas las fuerzas de trabajo en el sentido humano, particularmente por ser éstas un subconjunto de las fuerzas naturales, e) la concepción *humana* de *naturaleza*, tanto como la misma concepción *humana* de lo *humano* contenida en la anterior, sólo puede existir en función de esa interacción d) en la concepción de Marx, por tanto, la naturaleza se identifica con el todo. Particularmente hemos visto aquí también las *huellas* que deja dicha interacción en los medios de producción tal como si fuese una *escala graduada* en su dimensión tecnológica y que deja ver más aún en tanto las configuraciones del proceso de trabajo direccionan a su vez a configuraciones en cómo en una sociedad se encuentran organizadas las cosas y las personas. “En la producción social

---

<sup>9</sup> Marx, Karl (1867). El Capital. Crítica de la Economía Política. Traducción de Pedro Scaron. Vigésimo séptima edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2007. Tomo I, Capítulo V “Proceso de Trabajo y Proceso de Valorización”. Páginas 215 a 223.

<sup>10</sup> No deja de llamar la atención la utilización de la palabra “hombre” para referirse incompletamente a lo que atañe al “ser humano”.

de su existencia, los hombres establecen determinadas relaciones necesarias e independientes de su voluntad, relaciones de producción que corresponden a un determinado estadio evolutivo de sus fuerzas productivas materiales. La totalidad de esas relaciones de producción constituye la estructura económica de la sociedad, la base real sobre la que se alza un edificio [*Überbau*] jurídico y político, y a la cual corresponden determinadas formas de conciencia social. El modo de producción de la vida material determina [*bedingen*] el proceso social, político e intelectual de la vida en general. No es la conciencia de los hombres la que determina su ser, sino, por el contrario, es su existencia social lo que determina su conciencia”<sup>11</sup>

Con todo lo anterior, ocurre además una transformación orientada a un fin, y si bien es cierto que el hecho de tener un propósito no resulta directamente en la realización del mismo, la interacción ocurre y arroja resultados. Nos interesa mostrar aquí, uno de los elementos constituyentes de la acción transformadora del trabajo, lo que algunos autores remiten como el tema de la segunda naturaleza: “La esencia *humana* de la naturaleza está presente solo para el hombre *social*, pues sólo aquí la naturaleza existe para él en cuanto *vínculo* con el *hombre*, como ser de él para el otro y existencia del otro para él. Del mismo modo, en cuanto elemento vital de la realidad humana, sólo aquí existe la naturaleza como *fundamento* de la propia existencia *humana* del hombre. Sólo aquí su ser *natural* es para él su ser *humano*, y la naturaleza se ha convertido para él, en hombre. Así pues, la *sociedad* es la unidad esencial plena del hombre con la naturaleza, la verdadera resurrección de la naturaleza, el naturalismo consumado del hombre y el humanismo consumado de la naturaleza.”<sup>12</sup>

#### 0.4.2. Proceso de trabajo y proceso de valorización

En tanto el curso a seguir para la *Crítica de la economía política* es la transformación de la configuración del proceso de trabajo como resultado del desarrollo de las fuerzas productivas, particularmente se concentra en el estudio del nacimiento, desarrollo y tendencia de un modo de producción particular, el modo de producción capitalista. Es decir,

---

<sup>11</sup> Marx, Karl (1859). Contribución a la Crítica de la economía política. Cuarta edición en español. Traducción de Jorge Tula. Editorial Siglo XXI. México, 1990. Páginas 3-4.

<sup>12</sup> Marx, Karl (1844). Manuscritos Económico-Filosóficos de 1844. Traducción de Miguel Vedita. Editorial Colihue. Argentina, 2004. Páginas 144.

el punto a destacar acá es la forma en que el proceso de trabajo como proceso general del metabolismo humano, como producción de *valores de uso*, entra en contradicción con una lógica de creación de *valor*, y más aún, con la producción de plusvalor, con lo que la producción de valores de uso en general tiende a subsumirse a la producción de plusvalor capitalista. La transición histórica de este proceso lo constituye la acumulación originaria de capital, que abordaremos en el capítulo 2 en lo que se refiere a su aspecto tecnológico en el transcurso del desarrollo económico capitalista.

Esta transformación no es instantánea, es un proceso que va incorporando al modo de producción específicamente capitalista esferas y territorios de la producción, tanto subordinándolos bajo su lógica, como adoptando los contenidos de aquellos (*subsunción formal*) como posteriormente modificando, no sólo su forma sino también su contenido (*subsunción real*). Como proceso, tiene particularidades y diferencias en las distintas determinaciones que incorpora. Sin embargo también, como se verá, comparte elementos inter-temporales e inter-espaciales, ya sea concretamente subsumiendo un territorio, ya sea subsumiendo una esfera productiva, ya sea subsumiendo un conjunto de *saberes*, al integrarlos a la dinámica capitalista, los integra a su vez como factores actuantes en el proceso general de acumulación de capital en su desarrollo y tendencias.

De hecho, es por esta razón por la cual la Crítica de la economía política comienza por el análisis de la mercancía como célula básica de la producción capitalista, porque en ella se concretan y encierran la unidad de la contradicción valor de uso – valor, proceso de trabajo – proceso de valorización, capacidades y necesidades, ser humano como fuerza natural y su naturaleza externa, además de lidiar también en ella, una materialización de la contradicción entre el capital y el trabajo.

### **0.4.3. La ley general de acumulación capitalista**

La ley general de acumulación capitalista se puede enunciar de manera sencilla de la siguiente forma: A mayor acumulación de capital por un lado, mayor pobreza y miseria por el

otro.<sup>13</sup> Sin embargo, esta *ley general*, como cualquier otra *ley general*, no es una sentencia determinista del destino, sino que se cumple sólo bajo ciertas condiciones, aunque son éstas, fácilmente corroborables en la configuración histórica del proceso de trabajo como proceso de valorización capitalista. Estas condiciones son:

- i. Incremento progresivo de la composición orgánica de capital ( $\mathcal{O}$ )<sup>14</sup>, es decir, que al crecer la escala de la inversión productiva de capital, la parte correspondiente al capital constante se incrementa más que proporcionalmente de lo que lo hace el capital variable.
- ii. El capital bancario solventando los hoyos de la circulación del capital industrial (de hecho esto se da en forma aún más acentuada a partir de la fusión del capital bancario con el industrial, es decir, el capital financiero).
- iii. Que en la competencia capitalista ocurra un doble proceso; a) Concentración de capital y b) Centralización de capital.

Cuando las anteriores se cumplen, entonces podemos decir que al ocurrir acumulación de capital, entonces se precarizan las condiciones de vida de la clase obrera. Lo anterior se da en la medida en que al incrementarse la composición orgánica provocada por un incremento en la productividad, la cantidad de fuerza de trabajo requerida para solventar el incremento en la producción mercantil decrece en términos relativos, lo cual va generando a su vez un incremento relativo de fuerza de trabajo que no es utilizada [desempleo, y subempleo principalmente], es decir, la *Sobrepoblación relativa* que constituye un *Ejército Industrial de Reserva* (EIR), en contraposición al *Ejército Obrero en Activo* (EOA).

<sup>13</sup> Este apartado está basado en: Marx, Karl (1867). *El Capital. Crítica de la Economía Política*. Traducción de Pedro Scaron. Vigésimo séptima edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2007. Tomo I, Capítulo XXIII “La ley general de acumulación capitalista”

<sup>14</sup> “La composición del capital debe considerarse en dos sentidos. Con respecto al valor, esa composición se determina por la proporción en que el capital se divide en capital constante, o valor de los medios de producción, y capital variable o valor de la fuerza de trabajo, suma global de los salarios. En lo que atañe a la materia, a cómo funciona la misma en el proceso de producción, todo capital se divide en medios de producción y fuerza viva de trabajo, composición que se determina por la proporción existente entre la masa de los medios de producción empleados, por una parte, y la cantidad de trabajo requerida para su empleo, por el otro. Denomino a la primera, *composición de valor*; a la segunda, *composición técnica* del capital. Entre ambas existe una estrecha correlación. Para expresarla, denomino a la composición de valor del capital, en tanto se determina por la composición técnica del mismo y refleja las variaciones de ésta, *composición orgánica* del capital. Cuando se habla sin más ni más de la composición del capital, nos referimos siempre a su composición orgánica”. *Ibidem*.

Enunciado por Marx tenemos lo siguiente: “*Cuanto mayores sean la riqueza social, el capital en funciones, el volumen y vigor de su crecimiento y por tanto, también, la magnitud absoluta de la población obrera y la fuerza productiva de su trabajo, tanto mayor será la pluspoblación relativa o ejército industrial de reserva. La fuerza de trabajo disponible se desarrolla por las mismas causas que la fuerza expansiva del capital. La magnitud proporcional del ejército industrial de reserva, pues, se acrecienta a la par de las potencias de la riqueza*” [...] “*Esta es la ley general, absoluta, de la acumulación capitalista*” [...] “La ley según la cual el desarrollo de la fuerza productiva social del trabajo reduce progresivamente, en proporción a la eficacia y la masa de sus medios de producción, la masa de fuerza de trabajo que es necesario gastar, se expresa en el terreno *capitalista* donde no es el trabajador el que emplea los medios de trabajo, sino éstos al trabajador de la siguiente manera: *cuanto mayor sea la fuerza productiva del trabajo, tanto mayor será la presión de los obreros sobre sus medios de ocupación, y tanto más precaria, por tanto, la condición de existencia del asalariado: venta de su fuerza de trabajo para aumentar la riqueza ajena o para la autovalorización del capital. El incremento de los medios de producción y de la productividad del trabajo a mayor velocidad que el de la población productiva se expresa, capitalistamente, en su contrario: en que la población obrera crece siempre más rápidamente que la necesidad de valorización del capital.*” [...] “Esta ley produce una *acumulación de miseria* proporcionada a la *acumulación de capital*. La acumulación de riqueza en un polo es al propio tiempo, pues, acumulación de miseria, tormentos de trabajo, esclavitud, ignorancia, embrutecimiento y degradación moral en el polo opuesto, esto es, donde se halla la clase que *produce su propio producto como capital.*”<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> *Íbidem.*



**Figura 1.** Esquema básico de la Ley general de acumulación capitalista.

Dicho de otro modo, la manera en que se llega al resultado de la precarización de la clase obrera ocurre como consecuencia de que al incrementarse la proporción del EIR, éste provoca una presión a la baja salarial del EOA y de esta forma el salario es siempre el menor posible [incluso, menor aún que el de subsistencia], generando así una clase obrera cada vez más empobrecida, tanto en términos relativos, respecto al total de riqueza generada socialmente, como en términos absolutos, por ejemplo, con una pérdida del poder adquisitivo del salario.

#### 0.4.4. La ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia

Antes se ha expuesto cómo ocurre el proceso de la acumulación de capital aunada al desarrollo de las fuerzas productivas y la consecuencia que ello trae hacia la clase trabajadora, en particular cuando dado el incremento en productividad y a pesar del

incremento absoluto, tanto en el consumo como en la producción, existe un ejército industrial de reserva que cada vez va engrosando sus filas entre la población, misma que al quedar despojada tanto de medios de producción como de las condiciones para vender su fuerza de trabajo, encuentra otras maneras para subsistir. Es decir, aun a pesar del crecimiento de la producción mercantil y con ello el incremento de las condiciones materiales para la generación de la misma, ésta segunda no crece proporcionalmente a lo que lo hace la población, con lo que ocurre un incremento más que proporcional del proletariado respecto a las necesidades de valorización de capital.

Sin embargo no es lo expuesto anteriormente lo único que debemos retomar para el análisis posterior. En la tendencia del desarrollo económico existe una contradicción material entre capital y trabajo, incubada constantemente tanto en los procesos productivos consolidados como los que surgen a partir de nuevos incrementos en el desarrollo de las fuerzas productivas. Esta contradicción reula nuevamente al incremento constante de la composición orgánica del capital, la proporcionalidad entre capital constante y capital variable, de medios de producción y fuerza de trabajo. Huelga decir que el caso de estudio de esta tesis está inserto precisamente en esta forma general.

En un mercado capitalista consolidado, existe una tasa media de ganancia y una productividad media, misma que es generada por los diversos productores, y es en cada uno de ellos que puede presentarse de forma diferenciada. El incremento de dicha productividad es uno de los objetivos preponderantes no sólo del desarrollo tecnológico, sino también de las tantas y tan diversas teorías sobre el *management* empresarial. Es el productor con menores costos y mayor productividad el que goza de una tasa de ganancia mayor que el promedio. Es este *premio*, así como la lógica de la ganancia en sí, lo que permite una búsqueda incesante del desarrollo de las fuerzas productivas, apropiándose de nuevas técnicas y conocimientos –de hecho de instituciones científicas completas, como veremos en el capítulo segundo y tercero de esta tesis–, de propiedades naturales y sistemas complejos, a la vez apoderándose del territorio antes desaprovechado, como de elementos totalmente sintéticos, creación humana previamente inexistente e impensable siglos atrás, presentando todo el potencial tanto del desgaste social en el proceso de trabajo, hasta el *general intellect*, como fuerzas productivas no de la humanidad, sino del capital. Vamos a ir con más calma en este punto y explicar con mayor detenimiento.

Sólo como un ejemplo ilustrativo y poco formal, pongamos un conjunto de 9 capitalistas en los que tenemos la misma suma de capital desembolsado igual a 100 unidades monetarias, y una *tasa de plusvalor* ( $Pv'$ ) igual a 100% en cada uno de los procesos laborales.<sup>16</sup> Vamos a partir de que:

- i) Se le llama *capital desembolsado* ( $CD$ ) a la suma de los montos de *capital variable* ( $V$ ) y *capital constante* ( $C$ ) adelantados para la compra *fuerza de trabajo* y *medios de producción* respectivamente. Es decir,  $Cd = C + V$
- ii) La *tasa de plusvalor* ( $Pv'$ ) es la proporción entre la *masa de plusvalor* ( $Pv$ ) que se genera en un proceso productivo y el capital variable que se adelanta, es decir,  $Pv' = \frac{Pv}{V}$  expresado en porcentaje.
- iii) Y si bien en cada caso el  $CD$  es de la misma magnitud, hemos puesto nueve capitales distintos en las filas ( $K1, K2, \dots, K9$ ) para mostrar tanto una dinámica simple de la tasa media de ganancia como la forma en que distintas composiciones orgánicas se presentan ante ella.
- iv) Recordemos además que aquí, cuando mencionamos *composición orgánica* ( $O$ ) nos vamos a referir directamente a su modalidad de composición de valor, esto es,  $O = \frac{C}{V}$
- v) Al final del proceso productivo  $C + V + Pv = Cd + Pv = Valor$
- vi) La *tasa de plusvalor* es distinta a la *tasa de ganancia* ( $g'$ ) ya que esta segunda se calcula respecto al total del capital desembolsado, al capitalista no le importa de dónde proviene el plusvalor, sólo le interesa saber el incremento respecto a una suma inicial, por lo que  $g' = \frac{Pv}{Cd} = \frac{Pv}{C+V}$

<sup>16</sup> “Hemos presupuesto semejante tasa general del plusvalor como simplificación teórica tendencialmente, como todas las leyes económicas, pero en realidad dicha tasa constituye el supuesto efectivo del modo capitalista de producción, aunque esté más o menos obstaculizada por fricciones prácticas, que provocan diferencias locales más o menos significativas, como por ejemplo la legislación de residencia (settlement laws) para los jornaleros agrícolas en Inglaterra. Pero en la teoría se presupone que las leyes del modo capitalista de producción se desarrollan de manera pura. En la realidad, siempre existe sólo una aproximación; pero tal aproximación es tanto mayor cuanto más desarrollado esté el modo capitalista de producción, y cuanto más se haya eliminado su contaminación y amalgama con restos de situaciones económicas anteriores”. Marx, *op. cit.* Tomo III, Capítulo X “Nivelación de la tasa general de ganancia por la competencia. Precios de mercado y valores de mercado. Plusganancia”. Página 222.

- vii) El Capital Social Global (KSG) está representado de forma simple como la suma de los capitales individuales (K1, K2,..., K9) en la última fila de la Tabla y el resto de las fórmulas se aplican por igual a ella partiendo de que las columnas C, V, y Pv son en cada caso la suma correspondiente a los capitales individuales. Lo anterior es especialmente importante para el caso de g' en el KSG.
- viii) El análisis puede hacerse recursivo si después se toma a cada uno de los capitales individuales (K1, K2,..., K9), como la suma de diversas ramas de la producción, de modo que la dinámica que se aplica a un subconjunto de la producción, puede aplicarse, al menos teóricamente, al conjunto total de la producción, mediante sucesivas sustituciones desde los capitales individuales pasando por las ramas de la producción y hasta llegar al KSG (Ver Tabla 1).

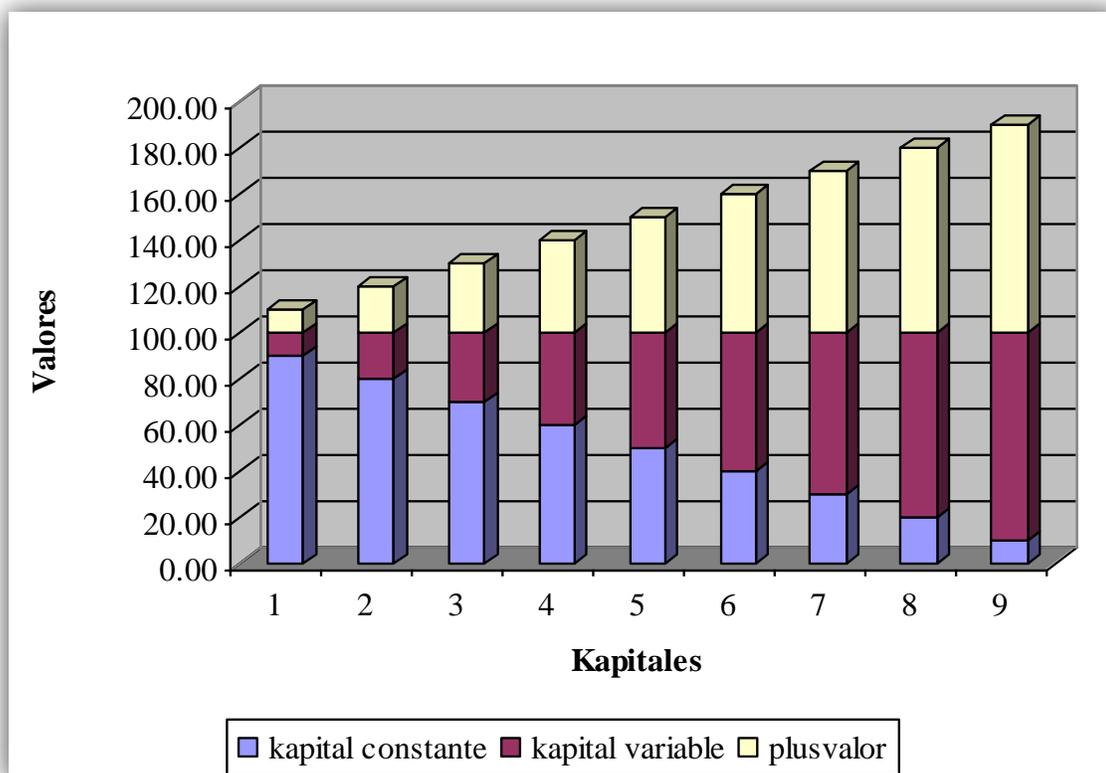
**Tabla 1.** Valores por composición orgánica de un caso hipotético.

	$\theta$	Pv'	Cd	C	V	Pv	Valor	g'
<b>K 1</b>	9	100%	100	90	10	10	110	10%
<b>K 2</b>	4	100%	100	80	20	20	120	20%
<b>K 3</b>	2 1/3	100%	100	70	30	30	130	30%
<b>K 4</b>	1 1/2	100%	100	60	40	40	140	40%
<b>K 5</b>	1	100%	100	50	50	50	150	50%
<b>K 6</b>	2/3	100%	100	40	60	60	160	60%
<b>K 7</b>	3/7	100%	100	30	70	70	170	70%
<b>K 8</b>	1/4	100%	100	20	80	80	180	80%
<b>K 9</b>	1/9	100%	100	10	90	90	190	90%
<b>KSG</b>	<b>1</b>	<b>100%</b>	<b>900</b>	<b>450</b>	<b>450</b>	<b>450</b>	<b>1350</b>	<b>50%</b>

Tanto en el caso K1 y K9, por ejemplo, Cd = 100, pero en K1, es producto de la suma 90 C + 10 V, y en el caso K9, 10 C + 90 V, por lo que sus composiciones orgánicas son, para K1,  $\theta_1 = \frac{90}{10} = 9$ , y para K9,  $\theta_9 = \frac{10}{90} = \frac{1}{9}$ . Esto es, aunque los capitales desembolsados son los mismos, la composición orgánica de K1 es 81 veces la de K9. Si observamos con detenimiento la tabla uno, podemos apreciar que los capitales K1, K2, etc., están acomodados en orden descendente de acuerdo a su composición orgánica. Antes de entrar a la formación de la tasa media de ganancia, hemos de señalar que al inicio de la sección séptima del tomo I, Marx introduce un supuesto muy importante con el fin de estudiar la

acumulación de capital, a saber, que los precios son iguales a los valores: “El capitalista que *produce* el plusvalor, es decir, el que directamente succiona de los obreros trabajo impago y lo fija en mercancías, es por cierto el primer apropiador, pero en modo alguno, el propietario último de ese plusvalor. Posteriormente tiene que *compartirlo* con capitalistas que desempeñan otras funciones en el conjunto de la producción social, con los terratenientes, etc. El plusvalor, pues, se *escinde* en varias partes. Sus fracciones corresponden a diversas categorías de personas y revisten *formas* diferentes e independientes entre sí, como ganancia, interés, ganancia comercial, renta de la tierra, etc. No hemos de examinar estas *formas transmutadas del plusvalor* antes del libro tercero. Suponemos aquí, por una parte, que el capitalista que produce la mercancía la *vende* a su valor, y no nos detenemos más en el retorno del capitalista al mercado o en las nuevas formas que se adhieren al capital en la esfera de la circulación, ni tampoco en las condiciones concretas de reproducción ocultas bajo esas formas”<sup>17</sup> Para el caso hipotético que hemos tomado, el supuesto de que el precio es igual al valor tiene una peculiaridad mayúscula (Ver Gráfica 1).

**Gráfica 1.** Valores por composición orgánica de nuestro caso hipotético



<sup>17</sup> Marx, *op. cit.* Tomo I, página 691-692.

Ya en el contexto del *libro tercero* al que hace alusión la cita que hemos incluido arriba, cuando Marx está exponiendo la transformación de ganancia en ganancia media y particularmente en el capítulo VIII donde analiza los resultados que sobre ello tienen las distintas composiciones orgánicas, una de las conclusiones del capítulo es: “Lo expuesto vale sobre la base que, en general, ha sido hasta ahora el fundamento de nuestro desarrollo: la de que las mercancías se vendan a sus valores. Por otra parte, no cabe duda alguna de que, en la realidad, y haciendo abstracción de diferencias irrelevantes, fortuitas y que se compensan, la diferencia entre las tasas medias de ganancia para los diversos ramos de la industria no existe ni podría existir sin abolir todo el sistema de la producción capitalista. Por tanto, pareciera que la teoría del valor resulta incompatible, en este caso, con el movimiento real, incompatible con los fenómenos efectivos de la producción, y que por ello debe renunciarse en general a comprender estos últimos”<sup>18</sup> (!) ¿Por qué hace Marx esta afirmación? ¿Por qué de ser cierto que las mercancías se vendieran a sus valores tendría que abolirse todo el sistema capitalista?

Una clave ha sido elaborada en nuestro ejemplo: ¿qué se puede observar de extraño tanto en la tabla 1 como en la gráfica 1 respecto a la relación  $\vartheta \rightarrow \text{Valor}$ ? ¿Qué más puede decirse, particularmente ahora de la relación  $\vartheta \rightarrow g'$  si las mercancías se vendieran a sus valores?

La consecuencia necesaria de ello es que la ganancia estaría en proporción inversa a la composición orgánica de capital, esto es, a medida en que existe una mayor proporción entre el capital constante respecto al variable, indicador general de un proceso más tecnificado, las ganancias obtenidas serían menores. Por otro lado, los procesos menos tecnificados obtendrían ganancias superiores. Si la mayor ganancia dependiera de procesos menos tecnificados, la tendencia general sería, por decirlo de algún modo, a *destecnificar* más y más los procesos de producción ¡Serían bienvenidos por el capital los movimientos obreros que se propusieran, como antaño, la destrucción de las máquinas! Es por esta razón que de funcionar bajo esta lógica, si los precios fuesen igual a los valores, tendría que abolirse todo el sistema de la producción capitalista. Ahora bien ¿cómo funciona entonces para que a mayor  $\vartheta$ , corresponda una mayor ganancia? La formación de la tasa media de ganancia surge a partir del KSG. La misma dinámica que genera una tendencia a la

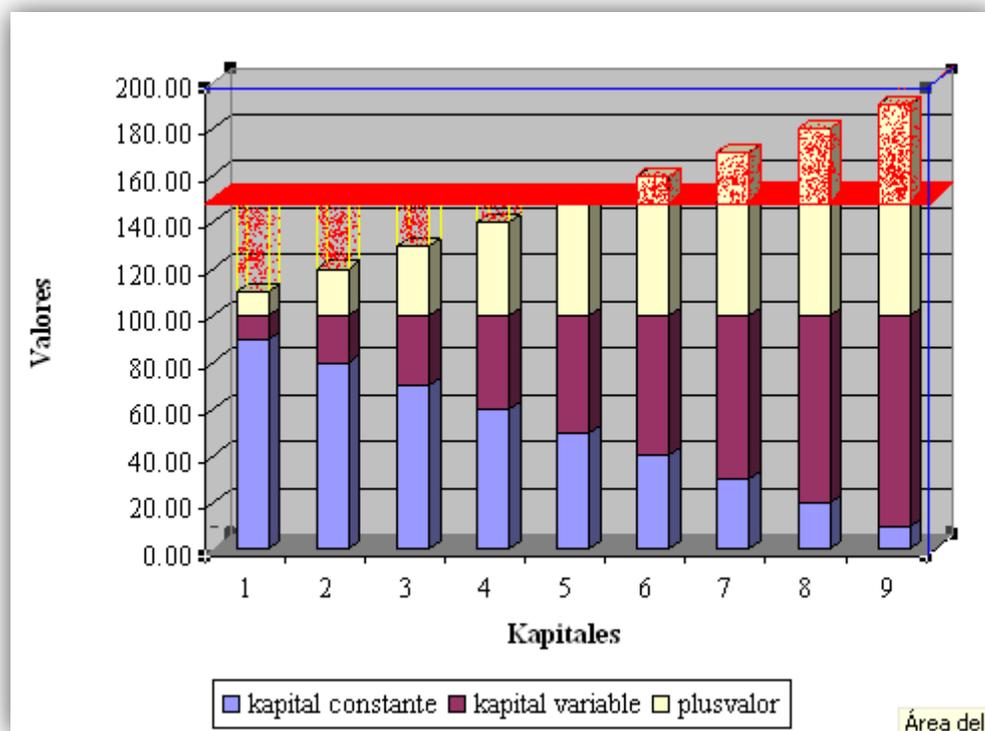
---

<sup>18</sup> Marx, *op. cit.* Tomo III, página 193-194.

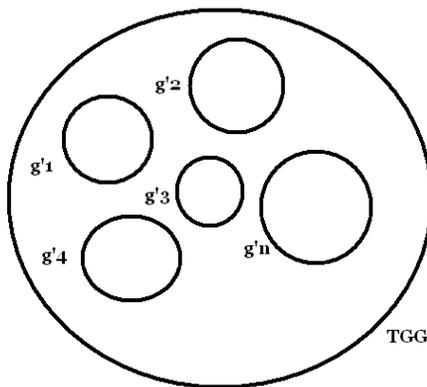
nivelación de la tasa de explotación, hace las veces para nivelar una tasa de ganancia en función de *repartir* el plusvalor producido socialmente, mediante la apropiación privada. Como producto de tal proceso, cada parte del capital invertido en cada rama de la producción, demanda una ganancia correspondiente al monto de Cd, independientemente de su composición orgánica.

Como producto (y no como punto de partida) de tal proceso, la formación de precios se realiza en función de una tasa media de ganancia aplicada al monto de Cd. Cuando analizamos el KSG de nuestro ejemplo, tenemos que la suma de cada uno de los capitales constantes es igual a 450, lo mismo que V y en Pv. En el caso general no hay más de dónde obtener plusvalor, por lo que es éste sobre el que actuará la dinámica antes descrita, tendiendo a ser apropiado en función de aplicar la tasa media de ganancia ( $gm'$ ) –que en este caso es la misma del KSG– sobre el monto del Cd, a esto se le llama *precio de producción* (PP),  $PP = Cd + (Cd * gm')$ . La Gráfica 2 nos muestra en una barra horizontal el nivel correspondiente al PP sobrepuesto a los valores descritos en nuestra gráfica 1. En nuestro ejemplo tenemos que  $PP = 100 + (100 * 50\%) = 150$ .

**Gráfica 2.** Nivel del Precio de producción (franja horizontal) respecto a los valores de nuestro ejemplo



Para nuestro caso simple ahora se han supuesto varias cosas, entre ellas, que este primer capitalista vende a *precios de producción*. Esto es con fines de simplificar, sin embargo lo que ocurre es que un tanto de ganancia será también demandado por los capitalistas de diversa índole que intervienen en el proceso, sean arrendadores, bancarios u otros capitalistas necesarios en el transcurso del proceso de generación de mercancías. Es decir, la ganancia se escindirá principalmente en tres, renta, interés y ganancia (esta última puede ser industrial o comercial). Las proporciones en que estas se dividen, son también independientes de la fuente del plusvalor a este nivel, ya que el sector industrial puede ser el mayor generador de plusvalor y sin embargo, participar con una tasa de ganancia menor a la tasa de interés. También demandan y participan del botín, incluso aquellos que no son capitalistas pero cuya función es necesaria para que los negocios *marchen bien*, en este caso tenemos particularmente al gobierno.



**Figura 2.** La Tasa general de ganancia conformada por las tasas medias de cada rama de la producción.

Además tenemos, por otro lado, que la Tasa general de ganancia (TGG) a la que hacemos alusión en el nombre de este apartado, se confirma de las diferentes tasas medias de ganancia de las diversas ramas productivas. Estas pueden verse recursivamente como se ha descrito antes, y dirigirse de casos particulares al caso general, (Ver Figura 2). Hechas las aclaraciones anteriores podemos regresar a nuestro ejemplo bajo su

forma simple y observar cómo repercute, especialmente en la relación entre composición orgánica ( $\mathcal{C}$ ) y ganancia. En la gráfica 2, el PP está por encima del valor en el K1 (el de mayor  $\mathcal{C}$ ), y por debajo del valor del K9 (el de menor  $\mathcal{C}$ ), traduciéndose en un plusvalor no realizado en K9 y una plusganancia extraordinaria en el caso del K1.<sup>19</sup> Ya en este

<sup>19</sup> Marx también menciona un plusvalor extraordinario en el capítulo 10 “Plusvalor relativo” del tomo I. En aquel, hizo un caso hipotético en el que a través de la diferencia en el uso del capital constante y el incremento de la productividad, un capitalista podía tomar ventaja del precio medio vigente en el mercado, aunque en esa ocasión no operaran los precios de mercado sino el supuesto de la igualdad entre valores y precios. Al final y con arreglo a tasas de explotación diferenciadas, Marx muestra que el origen del plusvalor extraordinario se encuentra en una nueva distribución interna del trabajo necesario y el trabajo excedente en la jornada laboral; a partir del incremento en la productividad, el trabajo necesario se ha reducido y ha dado pie a que el trabajo excedente se extienda, con el resultado de que el plusvalor extraordinario es básicamente producto de una mayor explotación del trabajador. La diferencia entre la plusganancia extraordinaria y el plusvalor extraordinario es mucha, tanto o más aún que la que hay entre plusvalor y ganancia. Sin embargo, por no ser el caso que nos atiende aquí, sólo mencionaremos que es formalmente demostrable, cómo ambos casos son en realidad dos manifestaciones

contexto, el valor puede ser igual al precio solamente en aquel capital que tiene la composición orgánica media. En nuestro ejemplo, si observamos en la tabla 1, la composición orgánica del KSG es igual a uno y esta es la misma que en K5. Al aplicar el precio de producción, éste se corresponde con el valor. Sin embargo, el que uno de los capitales individuales tenga exactamente la composición orgánica media es una cuestión sólo de probabilidad.

Aquí se ha supuesto también que todo el capital constante se consume en un solo ciclo para hacer las cosas más sencillas, pero cuando puede analizarse el paso gradual del capital constante en mercancías, las tasas de ganancias iguales de nuestro ejemplo, en la medida en que aquella circunstancia representa menores costos para el capitalista de K1, se transforman también en mayores tasas de ganancia. Este es el *premio* que mencionamos antes, atribuible a aquel capitalista con una composición orgánica mayor que el promedio.

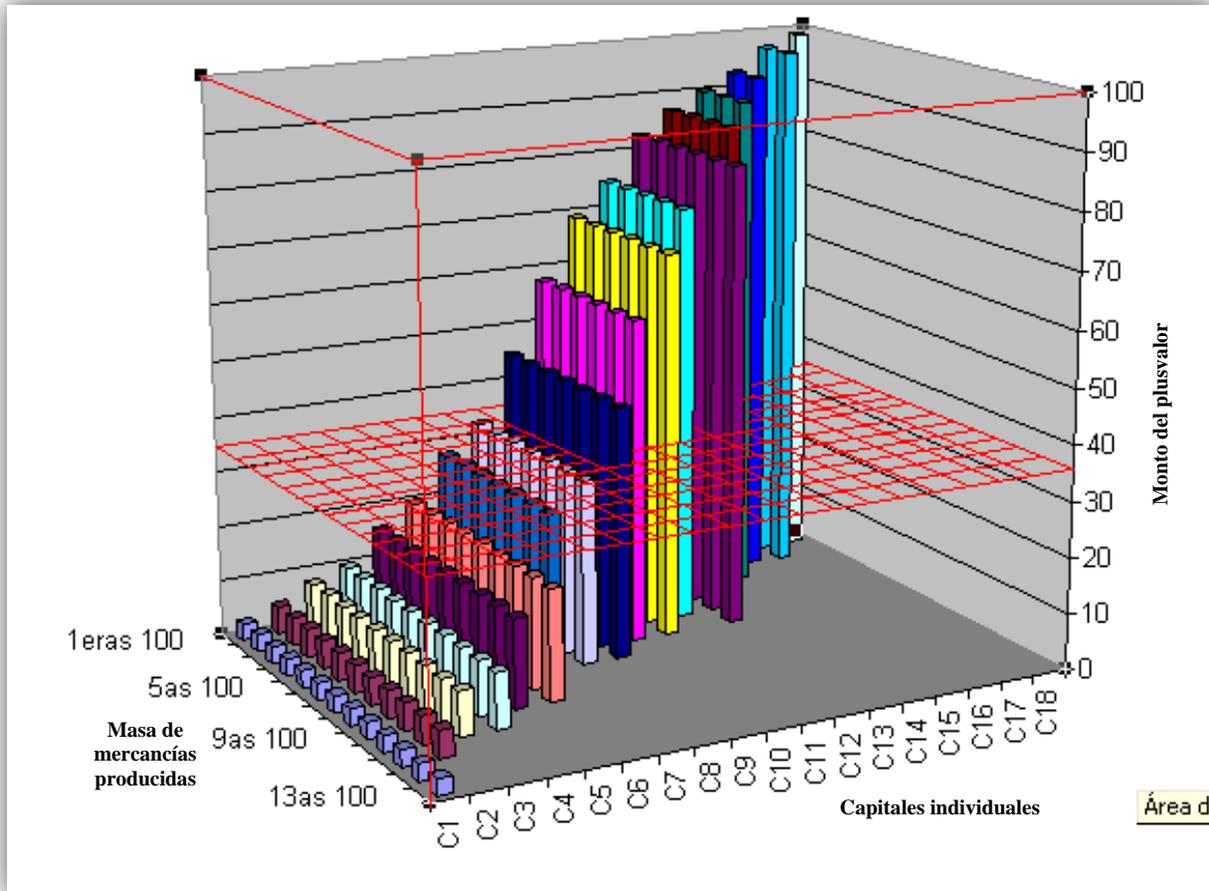
Nuevamente, sólo como ilustración, este proceso también puede variar si modificamos los montos de la inversión en cada caso y pudiéramos modificar qué parte del capital constante es consumido. En la gráfica 3 hemos introducido estos cambios graficando en tres ejes; en un plano tenemos a los capitales individuales (C1, C2, ..., C18), en el otro eje hemos puesto el número de mercancías que generan para el mercado según las primeras 100, las segundas 100, etc. partiendo de que una mayor producción indica un mayor Cd (en nuestro ejemplo), en el tercer eje tenemos **solamente** el monto de plusvalor generado en cada masa de mercancías, representado por la altura de cada barra (ver Gráfica 3). Se incluye ya sólo como ilustración ya que sería muy tedioso aquí analizar algo distinto a las tendencias, que es lo que nos importa, sólo mencionamos que para este caso, ya que sólo se encuentra graficado el plusvalor, es el reparto del mismo el que genera una tasa media de ganancia y bajo el supuesto de que en cada 100 mercancías se ha adelantado 100 unidades monetarias, el nivel de los precios de producción puede representarse como la malla roja que atraviesa los plusvalores, en este caso la tasa de media de ganancia es del 34.51%.

---

de un caso general. Baste aquí sólo señalar que en ambos, el desarrollo de las fuerzas productivas manifestado en una mayor composición orgánica, es el origen de ambos y el punto que nos interesa tratar.

**Gráfica 3.**

Tasa media de ganancia y monto de plusvalor por mercancías producidas de acuerdo a capitales individuales en orden descendente de composición orgánica.



Hagamos énfasis en que la tasa de ganancia, mostrada aquí como la malla roja, proviene simplemente de la expresión resultante de dividir la suma total de los plusvalores producidos, entre la cantidad de subdivisiones de capitales tomadas de 100 en 100 (las famosas partes alícuotas de capital).

En la medida en que los de menor composición orgánica utilizan una mayor cantidad relativa de fuerza de trabajo, arrojan a la producción global una mayor cantidad de plusvalor (en nuestro ejemplo C18, C17, C16, etc.) por cada subdivisión de capital desembolsado. Sucede lo contrario con los de mayor composición orgánica.

Con la Gráfica 3 podemos ilustrar un doble resultado:

a) la plusganancia extraordinaria aumenta en proporcionalidad del incremento de la participación en el mercado de los capitales con mayor composición orgánica y,

b) en la medida en que la tasa de explotación tiende a nivelarse, dada una cantidad *fija* de masa de mercancías, **la tasa media de ganancia variará en proporción inversa al grado de participación de productores con alta composición orgánica**. Esto es, en tanto los otros factores no varíen, **la tasa general de ganancia disminuirá a medida en que la composición orgánica del KSG se incremente**.

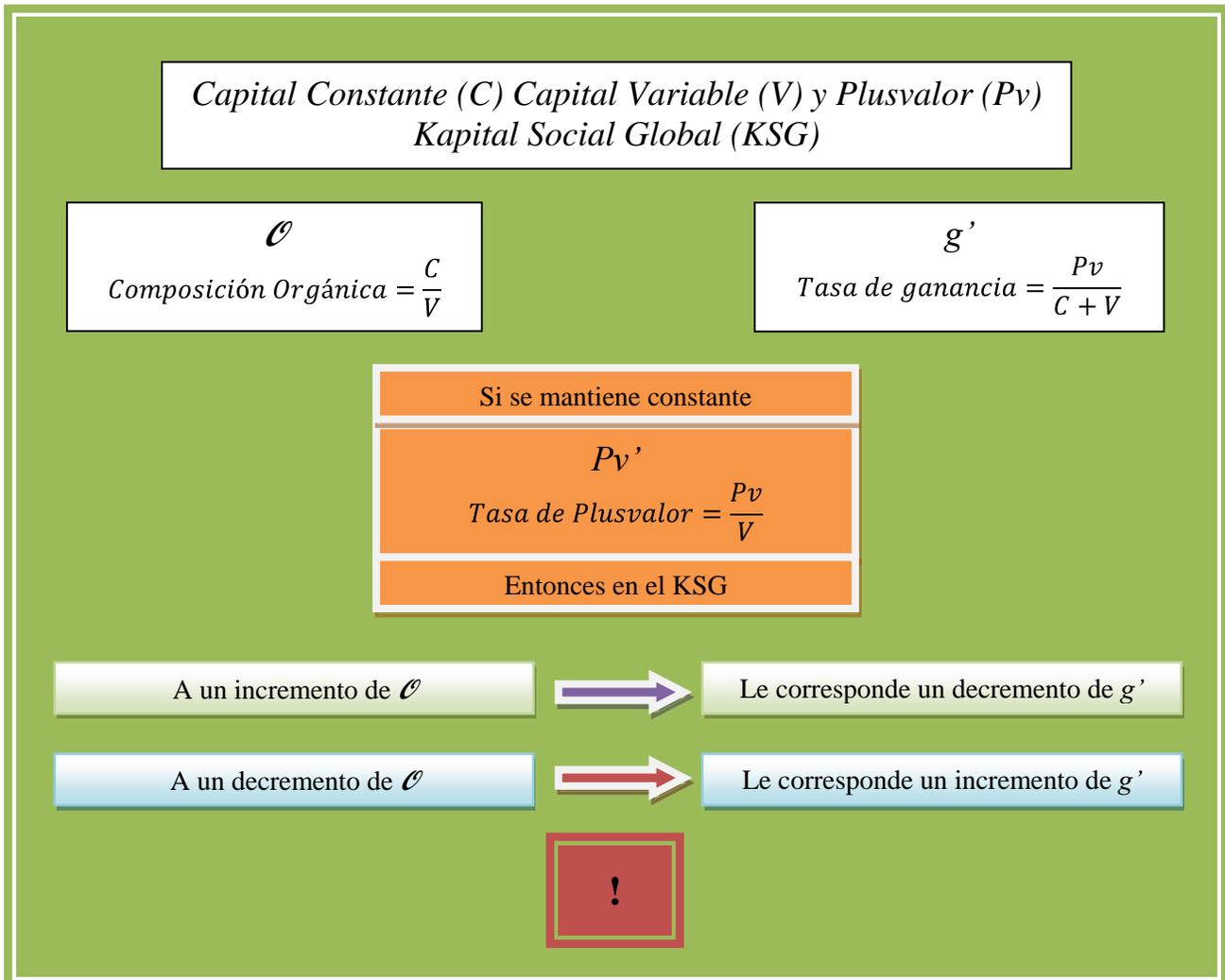
Y lo que se ha analizado como una diferencia respecto a la producción en un momento determinado, puede aplicarse a su vez a un análisis dinámico intertemporal de la composición orgánica.

Hemos enunciado por tanto, una forma *alternativa* de la tendencia decreciente de la tasa general de ganancia, pero no aún como una *Ley*.

A largo plazo, técnicas que revolucionaron la producción terminan por recombinarse y estandarizarse, la tecnología de punta de épocas pasadas se vuelve común y el *premio de mayores ganancias que el promedio* es ahora arrebatado por productores de procesos más eficientes en la extracción de plusvalor. Podemos encontrar un buen ejemplo de cómo los capitalistas actúan ante este proceso en el sistema de patentes (que será también uno de los grandes indicadores en esta investigación), el cual les permite prolongar el tiempo de control sobre determinados procesos asegurando de esta forma la plusganancia extraordinaria.

Pero si la misma lógica de la ganancia es la que impulsa al desarrollo de las fuerzas productivas, reflejada en una mayor composición orgánica  $O = \frac{C}{V}$ , y sin embargo es el capital variable la fuente de plusvalor, ¿qué sucede entonces con la tasa de ganancia,  $g' = \frac{Pv}{C + V}$ ?

La respuesta depende de otro factor fundamental, la tasa de explotación (usada indistintamente con el término tasa de plusvalor) (ver Figura 3).



**Figura 3.** Relaciones de los elementos constitutivos de la suma de valor en la composición orgánica, tasa de ganancia y tasa de plusvalor.

De este modo al permanecer constante una tasa de explotación, al incrementarse la composición orgánica de capital, la ganancia puede incrementarse en términos absolutos, es decir, como *masa de ganancia*, sin embargo, en términos relativos, como *tasa de ganancia*, tiende a bajar. No obstante que en periodos de crisis agudizada, la tasa de ganancia por diversas razones puede incluso disminuir en términos absolutos.

Regresando a Marx, inmediatamente después de la explicación de la ley de la baja tendencial de la tasa de ganancia, procede a su demostración. Ahí adquiere un nivel particularmente perspicaz:

“Si se considera el enorme desarrollo de las fuerzas productivas del trabajo social aun sólo en los últimos 30 años, en comparación con todos los períodos precedentes especialmente si se tiene en cuenta la enorme masa de capital fijo que entra, además de la maquinaria propiamente dicha, en el conjunto del proceso social de la producción, la dificultad que se nos presenta no es ya la que ha ocupado a los economistas hasta el día de hoy, la de explicar la baja de la tasa de ganancia sino la inversa: explicar por qué esa baja no es mayor o más rápida. Deben actuar influencias contrarrestantes que interfieren la acción de la ley general y la anulan, dándole solamente el carácter de una tendencia, razón por la cual también hemos calificado a la baja de la tasa general de ganancia de baja tendencial. De estas causas, las más generalizadas son las siguientes:

- I) *Elevación del grado de explotación del trabajo.* [. . .]
- II) *Reducción del salario por debajo de su valor.* [. . .]
- III) *Abaratamiento de los elementos del capital constante.* [. . .]
- IV) *La sobrepoblación relativa.* [. . .]
- V) *El comercio exterior.* [. . .]
- VI) *El aumento del capital accionario.*<sup>20</sup>

Es decir, procediendo en sentido inverso podemos plantear el siguiente escenario; una vez establecido el capital variable como la fuente de plusvalor y por tanto de la ganancia, al operar las mecánicas de los incisos anteriores, debería ocurrir un incremento en la tasa de ganancia, sin embargo, ¿por qué a pesar de ello ocurre, tendencialmente, una baja? Precisamente porque el desarrollo de las fuerzas productivas, reflejado en el incremento de la composición orgánica de capital, tiende a bajar esa tasa de ganancia, con lo cual queda demostrada la tendencia precisamente por sus causas contrarrestantes.

Esto es un guiño intelectual irresistible. En lógica formal, a este procedimiento se le llama *demonstración por contraposición* (o contra recíproco) enunciada como sigue: *P implica Q, sí y sólo sí, la negación de Q implica la negación de P.*

Esto es  $(P \rightarrow Q) \Leftrightarrow (\neg Q \rightarrow \neg P)$ . Pongámoslo en palabras sencillas utilizando ejemplos.

<sup>20</sup> Marx, op. cit. Tomo III, Capítulo XIV “Causas contrarrestantes”. Páginas 297-307.

Pongamos que la sentencia “P” es [llueve] y la sentencia “Q” es [está nublado]. Entonces afirmar “P implica Q”, es lo mismo que decir “si [llueve]  $\rightarrow$  [está nublado]”. Por otra parte, está afirmación es equivalente a decir “si no [está nublado]  $\rightarrow$  no [llueve]”. Está increíblemente sencilla herramienta de la lógica, ayuda a realizar demostraciones que de otro modo, no podrían corroborarse directamente en la práctica, o su corroboración sería un tanto costosa. Muchas de las demostraciones *formales*, adquieren este camino ya que en algunos casos puede ahorrarnos muchísimo trabajo. Permitámonos algunos renglones de esparcimiento lúdico para añadir un ejemplo más. Afirmamos por ejemplo: *si quien lea esta tesis no come, entonces se muere*. Para mostrar la validez de nuestra sentencia anterior, el camino de la corroboración directa es dejar sin comer al lector o lectora, hasta que el desenlace nos muestre si tenemos razón, aunque el costo de nuestro *ensayo y error* sea demasiado alto. Por el contrario, podemos utilizar la demostración por contraposición y demostrar su equivalente: *quien lee esta tesis vive, porque come*, lo cual puede que sea menos complicado y nos deja con un pulcro *saldo blanco*.

Pues bien, éste es el método de demostración utilizado por Marx y tan incomprendido en muchos lados, porque al escuchar sobre una baja tendencial de la tasa de ganancia, esperan que la demostración de la ley ocurra en la baja absoluta de la ganancia y no en sus causas contrarrestantes. Acomodando los enunciados puede quedar de la siguiente forma: *Si la explotación capitalista se mantiene constante, entonces a un incremento de la composición orgánica del KSG le corresponde una disminución de la tasa de ganancia*. Para demostrarlo, basta con su contrapuesta: *a un incremento de la composición orgánica del KSG no le corresponde una disminución de la tasa de ganancia, si la explotación capitalista se incrementa*.

Son estas fuerzas las actantes y que además pueden explicar los periodos de crisis como la preponderancia de las causas de la baja de la tasa ganancia en contraposición con los periodos de auge, cuando sus causas contrarrestantes actúan de forma efectiva, sin embargo el escenario de actuación de ambas fuerzas, es el escenario permanente de desarrollo del capitalismo para periodos largos de tiempo.

Con todo esto queremos llegar al punto de que es una equivocación común querer encontrar *la demostración de la ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia*

*solamente* en periodos de crisis. Y ni qué decir de quienes buscan la baja absoluta de la tasa de ganancia. La dinámica que opera dicha ley, sí puede encontrarse en lapsos de crisis de acumulación capitalista, pero pueden también encontrarse sobre todo, en los periodos de auge.

La vía de su corroboración actual y a manera de hipótesis, sería la siguiente; *Si ante 1) un incremento del grado de explotación, 2) el pago de la fuerza de trabajo por debajo de su valor, 3) el abaratamiento del capital constante, 4) el incremento tanto de la sobrepoblación relativa, 5) como del comercio exterior, y 6) como del capital por acciones, ocurre una desaceleración de la tasa de ganancia a nivel mundial, entonces opera la Ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia.* Pero estos detalles, con estos antecedentes, los abordaremos en el capítulo segundo y tercero del presente trabajo.

Hasta aquí se han expuesto los fundamentos teóricos como un trasfondo necesario para nuestra investigación, aunque otro tanto se hará, ya no desde el punto de vista de la economía, para explicar qué son las Tecnologías Convergentes (nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la información y tecnologías basadas en la ciencia cognitiva), tema de nuestro siguiente capítulo. Por ello que se recomienda avanzar en la lectura en este orden, ya que se espera hacia el final de la tesis, llevar un camino acumulativo de temas, de manera que a cada paso se utilice el anterior para comprenderlo.

Ya que hemos expuesto *lo que es* este trabajo, cerraremos esta introducción diciendo también *lo que no es*; *No* es una investigación terminada sino más bien, una investigación comenzada; *No* es una investigación que escape a los errores, pero seguramente nos causará mucha satisfacción corregirlos a través de la mirada enriquecedora y crítica de quienes se interesen en el tema; *No* es una investigación neutral (si es que eso existe), podrán encontrarse constantes alusiones a su carácter de clase, desde el proletariado y hacia el proletariado principalmente, por lo que, para terminar; *No* es una investigación en el territorio del *management* tecnológico, que busque alimentar la competitividad capitalista disfrazada de nacionalismo o de ciencia empresarial, aunque en algún momento mantengamos un diálogo con los postulados de esas corrientes, los fundamentos científicos de este trabajo son los del *materialismo histórico* y la *Crítica de la economía política*.

# Capítulo 1. La convergencia NBIC: Nanotecnología, Biotecnología, Tecnologías de la Información y Ciencias Cognitivas. Un primer acercamiento.

*“Cualquier tecnología suficientemente avanzada es indistinguible de la magia.”*

Arthur C. Clarke

*“It is a staggeringly small world that is below. In the year 2000, when they look back at this age, they will wonder why it was not until the year 1960 that anybody began seriously to move in this direction.”*

Richard P. Feynman

Sin haberse aún profundizado por completo las consecuencias de los desarrollos de las fuerzas productivas capitalistas precedentes<sup>1</sup> en lo ecológico, lo económico, lo político, lo social y lo cultural, las mayores empresas de innovación tecnológica y los gobiernos de las principales potencias económicas anuncian desde hace algunos años el advenimiento de una nueva generación de tecnologías que transformará radicalmente la producción mundial. Y no falta quien ya la califique como la *próxima revolución industrial*,<sup>2</sup> llenando con ella algunos de los lugares comunes con que se ha mostrado a la tecnología en los últimos dos siglos, presentando por un lado la solución a los más graves y difíciles problemas de la humanidad –como el calentamiento global, las crisis hídricas, el agotamiento de reservas de

<sup>1</sup> Señalamos aquí el *desarrollo de las fuerzas productivas*, pero existe un fuerte debate respecto a los conceptos de Revolución Industrial, Revolución tecnológica, Paradigma tecno-económico, etc. La lista de delimitaciones y definiciones se vuelve muy extensa. La postura que adquirimos ante este debate será detallada en el capítulo tercero de este trabajo. En la parte inicial y hasta el cierre del punto 3.1., abordaremos algunas de las diferentes concepciones que de estos términos hay con la intención de mostrar el panorama de la discusión. Sin embargo, nuestro análisis sale un poco del marco conceptual de las mismas en la medida que tomará como referencia el *Proceso de trabajo* como categoría del materialismo histórico. La exposición detallada de cómo se conjugan estos elementos necesitará de todo un desarrollo previo, pero no por ello se dejará de lado. Nuestra posición la dejamos clara en los apartados 3.4. y especialmente en el 3.5. del tercer capítulo.

<sup>2</sup> Al respecto, dispersas en la gran cantidad de información sobre nanotecnología, podemos encontrarnos con citas del siguiente estilo: “Charles Vest, ex presidente del MIT, sostenía que los avances en la nanotecnología conducirán a una segunda revolución industrial” (Pedreño Muñoz, Andrés (2009). *Crisis económica, conocimiento y políticas para el desarrollo de la nanotecnología*. En *Revista Mundonano*. Volumen 1, número 2. Editada por la UNAM. México, enero-junio de 2009. Página 78.) “La nanotecnología, que promete desarrollar con creces la capacidad de manipular el entorno material que nos rodea desde su escala atómica, ya es calificada por algunos como el fundamento de la nueva revolución tecnológica” (Delgado-Ramos, Gian Carlo (2008). *Guerra por lo invisible: Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. Editado por el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México 2008. Página 17)

petróleo y los estragos en la salud provocados por la industria—, y por el otro una serie de problemas que más bien tiene que ver con un devenir histórico más complejo y no sólo tecnológico —como terminar con la pobreza y la desigualdad social.

Vamos a realizar en este capítulo un primer acercamiento a lo que son las *tecnologías convergentes*. La piedra angular de estas tecnologías es la Nanotecnología, misma que se propone, de manera básica, ser capaz de manipular la materia átomo por átomo, abriendo un panorama muy extenso, primero, en la generación de nuevos materiales, pero a la vez permitiendo un amplio espectro de acción respecto a la biotecnología, las tecnologías de la información y nuevas tecnologías basadas en la ciencia cognitiva. En el caso particular que estudiaremos en esta tesis, el de Estados Unidos, a esta convergencia se le llama *NBIC* (por *nano, info, bio* y *cogno*).

Respecto a la nanotecnología, la cantidad de publicaciones científicas, el número de patentes, pero sobre todo la cantidad de dinero invertida en investigación y desarrollo (en adelante *I&D*), tanto de empresas como gobiernos, llama la atención de organismos internacionales por varias razones, de entre las que podemos mencionar brevemente tres; 1) su volumen, ya que aún antes de que exista un mercado nanotecnológico maduro, es el área que mayor inversión tiene a nivel mundial, 2) su ritmo de crecimiento, ya que el ritmo de la llegada de nuevos capitales así como el incremento de los ya consolidados a esta esfera no tiene comparación, y 3) sus expectativas a mediano plazo, calculando que dentro de 5 años, aproximadamente 15% de la producción mundial incorporará en su producción elementos nanotecnológicos.<sup>3</sup> Particularmente en los últimos 10 años ha ocurrido tanto una focalización de las áreas en las que se invierte en nanotecnología, como una centralización de la inversión pública por los gobiernos de algunos países, siendo el de Estados Unidos el que presenta mayor actividad.

Sin embargo, estos serán temas que abordaremos hacia el final del capítulo, ya que primero nos vemos en la necesidad de explicar no solamente qué son las tecnologías convergentes, sino también, que con la misma explicación vayamos dando por sentado un piso mínimo para su posterior crítica. Por la razón anterior, el lector encontrará en este

---

<sup>3</sup> OECD, Directorate for Science, Technology and Industry (DSTI), (2009). Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics. STI working paper 2009/7. Páginas 3-4. Las estadísticas descriptivas acerca de las publicaciones, patentes, etc., comenzarán a ser expuestas a detalle a partir del apartado 1.2. del presente capítulo.

capítulo y en la mitad del siguiente el *qué* de este trabajo, y hacia el final del capítulo dos comenzará a encontrar el aparato crítico argumentativo que recae sobre los resultados de nuestra investigación. Con ello habrá a lo largo de este y el siguiente capítulo en general un tono ampliamente descriptivo, pero más adelante y principalmente hacia el cierre del capítulo tercero, se verá que todo lo largamente referido se amarra para sustentar la relación que existe entre las *tecnologías convergentes* y el *proceso de trabajo*.

Si bien cada una de las tecnologías que ahora se proponen converger, han tenido desde tiempo atrás aplicación en una diversidad de campos de la producción, su nivel de especialización sigue implicando una barrera tanto para su entendimiento como para la difusión de las técnicas que las hacen posibles, más aún para estudiar, como es el propósito de esta tesis, sus repercusiones en el ámbito de la economía.

Tomando en consideración que siempre será nutritivo para el análisis tener un referente multidisciplinario para estudiar aquello que nos proponemos, este capítulo lo hemos dividido principalmente en dos partes. La primera toma en cuenta la necesidad de hacer un piso básico de antecedentes que deben estar presentes para realizar una explicación de la convergencia NBIC. La mayoría de los estudios de carácter económico o de divulgación en general, tienden a abordar la nanotecnología sólo como una rama de punta de la ingeniería de materiales y apenas hacen mención de su carácter interdisciplinar tanto en su plano teórico como en su carácter práctico, con lo que su auténtico alcance y potencial queda sin ser discutido. Lo anterior deviene en que el estudio de sus repercusiones económicas queda igualmente disminuido. Por ello incluimos aquí, en la medida de nuestras posibilidades, una explicación de qué es cada una de las tecnologías convergentes para después hablar de dicha convergencia como tal, pero con un trasfondo que permite dimensionarla como algo más que la suma de sus partes. Es una sección que quizá presente cierto grado de dificultad para aquellos quienes pertenezcamos al campo de las ciencias sociales, por lo que el esfuerzo se ha encaminado tanto a ponerlo en términos asequibles como por no perder por completo la riqueza de cada tema. Su objetivo es sólo poner un piso básico y con ella no pretendemos hacer una *historia* de cada una de las tecnologías de la NBIC, sino apenas un señalamiento de *algunos* de los elementos importantes de trasfondo. Por ello quizá parezca una secuencia de hechos lineal, casi homogénea y con una continuidad que deja de lado la complejidad y riqueza histórica de sus múltiples determinaciones.

La segunda parte es un panorama mundial de la centralización económica respecto a la I&D en nanotecnologías. Con ambas partes buscamos cumplir el objetivo de hacer un primer acercamiento a *qué es la Convergencia NBIC*, quienes la dirigen y con qué objetivo. Esto pondrá además en antecedente, la discusión sobre las concepciones científicas que yacen detrás de la nanotecnología, misma que nos servirá también como material de argumento para el capítulo tercero.

### **1.1. Explicación de la convergencia de la Nanotecnología, Biotecnología, Tecnologías de la Información y Ciencias Cognitivas (NBIC).**

Comenzaremos por explicar qué es y cómo procede cada una por separado y cuáles son los puntos en las que comienzan a relacionarse una con otra. Además, habrá que tomar en cuenta que las cuatro áreas de convergencia son a su vez el estado actual o temas de punta derivados de otras ciencias. De igual importancia es que habrá que estar muy atentos en la diferencia entre ciencia y tecnología ya que en ningún caso son lo mismo. Esta diferencia es fundamental en la medida en que lo que principalmente analizaremos en capítulos posteriores serán las *tecnologías convergentes*. Sin embargo, quizá uno de los aspectos que no tienen el énfasis adecuado en buena parte de los estudios sobre las mismas, es el del papel de las ciencias que le dan origen, fundamentación teórica, e incluso limitaciones prácticas. Dejar de lado este aspecto conlleva a la generación de juicios ficticios sobre los alcances (en ocasiones que se pretenden casi infinitos) de las mismas. Vamos entonces pues, a hacer una aclaración muy importante, lo que a continuación presentaremos es con ánimos de ilustrar tanto el aspecto de las concepciones científicas detrás de las tecnologías convergentes, así como mostrar los principales elementos del *programa reduccionista* que describe, esto quiere decir, aquella tendencia hacia estudiar cada vez más las *partes* de un fenómeno y dejar de lado las *interrelaciones* que guardan sus elementos y le dan cuerpo. Esto quedará más claro cuando lleguemos al final de los apartados 1.1., mientras tanto, entremos entonces en materia.

Hay más de un ejemplo de las áreas y aplicaciones en las que la Nanotecnología, Biotecnología, Tecnologías de la información y Ciencias Cognitivas se traslapan en los planos tanto multidisciplinar como transdisciplinar. Una serie de ejemplos de lo anterior irá

conduciendo nuestra exposición en adelante. Con ánimos explicativos, procederemos aquí abordando, en primer lugar, qué son las Ciencias Cognitivas, haciendo el puente entre esta primera y las Tecnologías de la Información (TI) a través del tema de la Inteligencia Artificial (IA). Después de caracterizar las TI y las áreas que le dan sustento haremos nuevamente un enlace entre éstas y la Biotecnología a partir de la *computación molecular*. Posteriormente, explicaremos la biotecnología actual como uno de los campos derivados de la Biología Molecular y la influencia que tuvo para esta última la comprensión de la estructura física de lo vivo. De esta idea partiremos para abordar el tema llave a la convergencia de todas: la Nanotecnología. Si se nos permite insistir, lo que a continuación se presenta es *solamente* el señalamiento de hechos relevantes e introductorios con el propósito de explicar qué es cada una y cómo pueden converger.

### 1.1.1. Cogno. La ciencia cognitiva, la neurociencia y la neurociencia cognitiva.

En la medida en que lo cognitivo se refiere aquí a la percepción y el conocimiento, la ciencia cognitiva es la ciencia de la mente. “Los científicos cognitivos buscan entender la percepción, el pensamiento y la memoria estudiando el lenguaje, el aprendizaje y otros fenómenos mentales”.<sup>4</sup> Comprender estos procesos es una tarea que, por su naturaleza, desde sus inicios fue estudiada desde diversas perspectivas y aproximándose a su vez con distintas metodologías. También ha tenido un proceso de transformación constante por lo que es necesario tener muy presente, tanto en este caso como en los demás que día con día las fronteras de investigación teórica y experimental se trasladan e incluso cambian de rumbo.<sup>5</sup> El estudio de la mente ha interesado por igual a la Psicología, a la Filosofía, a la Biología, y a la Medicina entre otras disciplinas científicas. Ese estudio de la *mente* en ocasiones tiene delicadas líneas que lo separan del estudio del *cerebro*, y en otras ocasiones

---

<sup>4</sup> Stillings, Neil A., *et ál.* (1995). *Cognitive Science: an introduction*. Massachusetts Institute of Technology. EUA, 1995. Página 1.

<sup>5</sup> Horace Winchell Magoun lo advierte perfectamente al iniciar su libro escrito precisamente hace poco más de 60 años (1958): “Cuando se ha vivido medio siglo, resulta interesante comparar los conceptos actuales en la disciplina a la que hemos dedicado nuestros esfuerzos con aquellos que prevalecían cincuenta años atrás. Además de la satisfacción que deja el pensar que quizá nuestro trabajo ha contribuido en cierto grado a la verdad, dicha comparación sirve para darnos cuenta de que no debemos adoptar conceptos e ideas muy rígidas llevados por el entusiasmo, ya que en el plazo de medio siglo, o antes, es probable que se señale cuán inadecuados se han vuelto esos conceptos”. Magoun, H.W (1958). *El Cerebro despierto*. Traducción de Raúl Hernández Peón a la 2a edición en inglés. La Prensa Médica Mexicana. México 1964. Página 1.

parece ser totalmente indisociable. Es por esta razón que las ciencias cognitivas tienen una estrecha relación con las *neurociencias*, entendiendo por éstas “el estudio de todos los aspectos del sistema nervioso: su anatomía, química, fisiología, desarrollo y funcionamiento. La investigación en Neurociencia es muy amplia y comprende estudios y campos tan distintos como la genética molecular o la conducta social.”<sup>6</sup> Es por ello que de acuerdo a las posturas predominantes, la neurociencia puede ser estudiada desde diversos niveles de análisis, siendo éstos en un orden de complejidad ascendente: el molecular, el celular, el sistémico, el conductual y el cognitivo.<sup>7</sup>

Actualmente encontramos tanto áreas de estudio que atañen más claramente a la ciencia cognitiva que a las neurociencias, como la lingüística, pero también existen áreas en las que el traslape está indicado desde el nombre, como por ejemplo la *neurociencia cognitiva*. Hoy en día es muy probable que al pensar en la *mente*, pensemos también en el *cerebro*. Sin embargo, el cómo surgió esta relación ha sido un camino recorrido desde muchos siglos atrás y no está por demás recalcar que tanto la explicación del funcionamiento de una y otra así como sus interrelaciones tienen el día de hoy más incógnitas que respuestas. Por ello haremos un brevísimo recuento de las hipótesis propuestas en este aspecto, señalando que no todas son compatibles entre sí y, que algunas de ellas han dejado de ser funcionales en la comprensión actual de la mente y el cerebro<sup>8</sup>.

Si nos remitimos a los *antecedentes modernos* de la neurociencia y su relación con la ciencia cognitiva, debemos referirnos sin duda a Descartes.<sup>9</sup> Él propuso que la glándula pineal era la mediadora entre la percepción de los sentidos y las respuestas que ordenaba la mente. Observó que el encéfalo tiene cavidades vacías (*ventrículos*) por donde fluía un

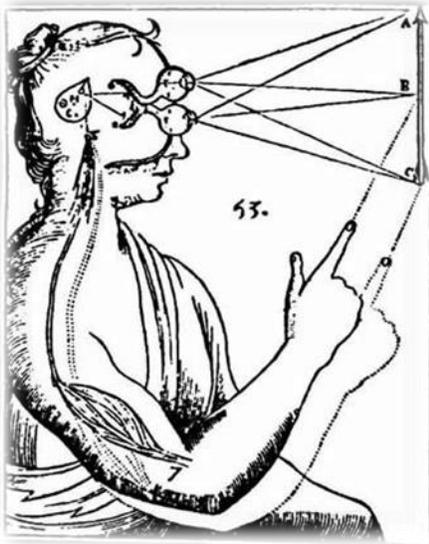
---

<sup>6</sup> Soriano Mas, Carles (Coordinador) *et ál.* (2007). *Fundamento de Neurociencia*. Editorial UOC. España, 2007. Página 15.

<sup>7</sup> *Ibid.* Página 13.

<sup>8</sup> Se puede seguir con más detalle este recuento en 3 fuentes principales ordenadas ascendentemente de acuerdo a su lenguaje técnico: 1) Soriano Mas, Carles *op. cit.* Página 17 a 39, 2) Magoun, H.W (1958) *op. cit.* en especial el capítulo 1 “Introducción histórica”, y 3) Kandel, Eric R. *op. cit.* Capítulo 1 “Cerebro y conducta”, página 6 a 18.

<sup>9</sup> Si bien es cierto, los antecedentes no son los inicios, pero los primeros pueden darnos un buen marco de referencia de lo diverso que ha sido el estudio de la mente. Dependiendo los autores, en el recuento de los antecedentes de la ciencia cognitiva, podemos encontrarnos remitidos al “Modelo Dióptrico” de Descartes o al “Alma tripartita” de Platón. Ver respectivamente: Soriano Mas, Carles *op. cit.* Página 17 y Magoun, H.W (1958) *op. cit.* Página 2. En cada uno de los casos no sólo cabe el hacer énfasis en que ese funcionamiento de la mente tiene que ver con otras áreas de estudio, sino que los estudiosos mismos no se dedicaban sólo a una rama particular. Descartes, por ejemplo, tenía por igual una propuesta explicativa para la mente, como la aplicación del análisis para la geometría (por lo que hoy estudiamos el plano “cartesiano”), como la teoría de los vórtices para la astronomía. Y qué decir de Platón, que junto a Aristóteles es el antecedente de buena parte de todo aquello que pueda conocerse.



**Figura 1** Modelo Dióptrico de Descartes de 1662.

líquido (que ahora se le conoce con el nombre de *líquido cefalorraquídeo*) Análogo a las máquinas hidráulicas, cuando el cerebro decidía realizar una acción, inclinaba en cierta dirección la glándula pineal empujando el líquido a una determinada agrupación de nervios, provocando que los músculos adecuados se *hincharan* y por consecuencia, ocurriera el movimiento (Ver Figura 1).

En 1820, en la Universidad de Bonn, Johannes Müller propuso su teoría de energías nerviosas específicas, de acuerdo a la cual, a pesar de que los nervios transmitían el mismo tipo de impulsos, el lugar del encéfalo que los recibía los interpretaba de un modo particular, por ejemplo, la parte que conectaba con nervios ópticos, interpretaba los impulsos como imágenes, la que conectaba con nervios auditivos interpretaba sonidos. De este modo proponía que el encéfalo está dividido funcionalmente.



**Figura 2.** Ilustración de las zonas de Gall.

Ya en el siglo XVIII, Franz Joseph Gall había propuesto tres tesis novedosas para su tiempo; la primera era que la conducta emanaba del cerebro; la segunda era que determinadas zonas de la corteza cerebral controlaban funciones específicas, es decir, que el cerebro no era un solo órgano, sino la unión de 35 órganos distintos en los que cada uno se encargaba de una función particular (ver Figura 2), aunque dicho sea de paso, las funciones que él delimitaba eran tales como la generosidad, la religiosidad, etc.; la tercera era que el centro de cada función mental crecía con el uso. De este modo creó algo a

lo que él llamó *Frenología*, que consistía en hacer un análisis craneal externo en busca de abultamientos en las zonas clasificadas por él, lo que lo conducía a afirmar que dada una forma particular de la cabeza de alguien por los abultamientos en esas zonas, indicaría una

personalidad particular.<sup>10</sup>

Siguiendo esta idea, Pierre Flourens, un fisiólogo francés practicó en animales lo que se conoce como *ablación experimental* que consiste en extraer quirúrgicamente una parte del cerebro y de esta forma concluir, de acuerdo a lo que el animal dejaba o no de hacer, qué partes del cerebro influían en qué funciones.<sup>11</sup> Sin embargo, Flourens llegó a la conclusión de que “Todas las percepciones, todas las voliciones, ocupan el mismo lugar en estos órganos cerebrales; la facultad de percibir, o de imaginar, o el querer, solamente constituyen una facultad, que es esencialmente una”<sup>12</sup>. Básicamente, lo que aquí comienza a manifestarse es la refutación de dos puntos de vista opuestos respecto a la relación entre cerebro y conducta; por un lado tenemos la que después sería llamada la *teoría del campo global*, en contra de la localización específica de funciones en regiones particulares, y por el otro tenemos el *conexionismo celular*, a favor de la localización.

Pierre Paul Broca en 1861 y Carl Wernicke en 1876 practicaron autopsias a pacientes que habían tenido lesiones cerebrales como consecuencias de accidentes. Como ejemplo de los trabajos de Broca, un paciente podía comprender el lenguaje pero no hablar, y como ejemplo de uno de los casos de Wernicke, el paciente podía hablar, pero carecía de coherencia y parecía no comprender lo que escuchaba o leía. Las lesiones se encontraban, en el primer caso en el lóbulo frontal izquierdo, y en el segundo caso en la zona parietotemporal del hemisferio izquierdo. A estas zonas se les conoce como el área de Broca

<sup>10</sup> Las zonas de Gall, por ser en realidad la conceptualización de *órganos diferentes* actuando conjuntamente se diferencia de una clasificación de jerarquía simple en el intento de *medir* el funcionamiento mental del cerebro humano. En este segundo caso tendríamos más bien a la eugenésica, que principalmente argumentaba a favor de que el tamaño del cerebro estaba en relación directa con la *magnitud* de la *inteligencia*. Esta última teoría llevó a la fundamentación ideológica de la segregación y discriminación por el aspecto de las personas, principalmente utilizada en la Alemania Nazi. Al final del punto 1.4. mencionaremos más acerca de esta idea sobre la inteligencia como algo *focalizado y medible*. Al respecto de la utilización de la Eugenesica como ideología puede revisarse: Gould, Stephen Jay (1996). *La falsa medida del hombre*. Traducción de Antonio Bosch. Editorial Crítica. España, 1997.

<sup>11</sup> Aunque las ablaciones parecen tener un sentido práctico consistente en el ensayo-y-error, deja de lado que, desde su propio enfoque, pudieran existir áreas multifuncionales, es decir que la coordinación motriz estuviese relacionada con varias zonas del cerebro, así como a la inversa, que una sola zona del cerebro tuviese repercusiones sobre multitud de procesos. Al igual, podríamos decir que si un animal parece torpe al caminar, no tiene que ver sólo por la capacidad motriz, sino por otra serie de procesos que tienen que ver con la audición, capacidad visual, etc. Por lógico que ahora nos parezca, *cada tiempo tiene sus lugares comunes*, si ahora trasladáramos este argumento podríamos darnos cuenta de lo absurdo que parece cuando el *scientific marketing* anuncia que están en busca del “gen de la inteligencia” y similares. Dos temas más en qué pensar surgen al respecto cuando leemos acerca de estos experimentos e imaginamos qué ocurrió con los perros después de haberles practicado las ablaciones experimentales; por un lado está el uso de animales como *conejos de indias* y por el otro, la relación que estas teorías tuvieron, por ejemplo, en la Psiquiatría y el tratamiento de trastornos de la conducta que eran remediados a través de lobotomías.

<sup>12</sup> Citado a su vez en Kandel, Eric R., et ál. (2000). *Principios de Neurociencia*. Editorial McGraw Hill Interamericana. México, 2001. Página 7.

y de Wernicke respectivamente. Sin embargo, Wernicke fue más allá: “propuso que en el lenguaje participan programas motores y sensitivos diferentes, cada uno de ellos dirigido por regiones corticales independientes. Afirmó que el programa motor que gobierna los movimientos de la boca para el habla, está localizado en el área de Broca” [ . . . ] “y asignó el programa sensitivo, que gobierna la percepción de las palabras a la zona del lóbulo temporal descubierta por él. Esta área está rodeada convenientemente de la corteza auditiva, así como de una serie de áreas que se conocen en conjunto como *áreas de asociación*, que integran las sensaciones auditivas, visuales y somáticas en percepciones complejas. De este modo, Wernicke formuló el primer modelo coherente de la organización del lenguaje que (con algunas modificaciones) sigue siendo de cierta utilidad hoy día”<sup>13</sup>

A finales de la década de los setenta del siglo XIX Gustav Theodor Fritsch y Eduard Hitzig electroestimularon zonas específicas del cerebro de un perro estudiando las resultantes contracciones musculares focalizadas, lo que los condujo a proponer la relación que había entre estas distintas partes del cerebro. Actualmente a esta zona se le llama *corteza motora primaria*, misma que fue estudiada por Korbinian Brodmann buscando diferencias a nivel de su estructura celular.<sup>14</sup> A principios del siglo XX Brodmann clasificó 52 zonas distintas de dicha corteza (Ver Figura 3).

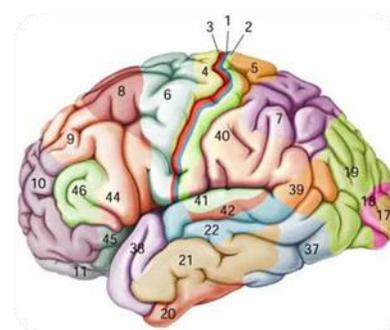


Figura 3. 52 áreas de Brodmann

En 1888 Santiago Ramón y Cajal, un médico español, utilizando el método de Camillo Golgi tiñó las neuronas y a través de estas técnicas propuso su *Teoría neuronal*, en la que se afirmaba que las neuronas son entidades discretas y no constituyen una red que comparte el mismo citoplasma, es decir, son independientes. Además, en ella está contenida la *ley de la polarización dinámica* que explica el proceso de transmisión sináptica en una sola dirección, de las dendritas a los botones terminales. Algunos consideran a Ramón y Cajal el padre de la moderna neurociencia, pero otros le asignan este papel al filósofo estadounidense William

<sup>13</sup> *Íbidem*. Página 11.

<sup>14</sup> A aquella persona cuidadosa en la lectura podría ocurrírsele la pregunta de ¿cómo es que los estudios en el cerebro de un perro pueden trasladarse y arrojar conclusiones sobre el cerebro humano? Soriano alude a que en el trasfondo de todas estas investigaciones se halla como sustento los trabajos de Darwin sobre el origen de las especies. “La idea de que los sistemas nerviosos de diferentes especies evolucionen a partir de antepasados comunes y tengan mecanismos comunes entre los distintos animales es necesaria para poder generalizar los resultados de experimentos animales a los humanos”. Soriano Mas, Carles *op. cit.* Página 22.

James a partir de su obra *Principles of Psychology* de 1880 en la que se proponía que un mejor y más completo conocimiento de los fenómenos psicológicos se adquiriría por medio del estudio del sistema nervioso.

A finales del siglo XIX y principios del XX existió una gran cantidad de aportaciones a este campo, (no necesariamente funcionales hoy día) con los trabajos de diversos científicos provenientes de distintos campos de conocimiento, desde las propuestas para *medir el aprendizaje y la memoria en humanos* por parte de Hermann Ebbinghaus, la de Edward L. Thorndike para el mismo aspecto pero en *sujetos animales*, los *reflejos condicionados* de Ivan P. Pavlov, la búsqueda de los lugares donde operan estos procesos en el cerebro por parte de Shepard I. Franz, así como el estudio de los *mecanismos biológicos del aprendizaje* de Karl S. Lashley. Fue un alumno de este último, el psicólogo canadiense Donald O. Hebb quien en su libro *The organization of Behavior* de 1949 mostró el principio de cómo el comportamiento cognitivo complejo ocurre en redes de neuronas activas que en un principio son de conexiones aleatorias pero que dependiendo de los *inputs* sensoriales y la estimulación, se van fortaleciendo hasta conformar grupos altamente interconectados. A esta hipótesis se le llama actualmente el principio de Hebb. De acuerdo a Carles Soriano, la neurociencia conductual actual sigue los pasos de Hebb.

Como una muestra más de qué tanto los puntos de vista opuestos acerca de la relación mente-cerebro puede desconcertar tanto a una como a otra, en 1969 Roger Sperry y Michel Gazzaniga estudiaron pacientes epilépticos en los cuales se seccionaba el cuerpo calloso impidiendo la principal vía de conexión entre ambos hemisferios y observaron que cada hemisferio tenía una conciencia capaz de funcionar independientemente del otro. “El resultado es que cada hemisferio puede emitir órdenes opuestas – ¡cada hemisferio tiene su propia mente!–” [ . . . ] “Así, la principal razón por la que se ha tratado tanto tiempo en comprender qué actividades mentales están localizadas en cada región cerebral es que nos enfrentamos con el enigma más profundo de la biología: la representación nerviosa de la conciencia y de la conciencia de sí mismo.”<sup>15</sup> Es importante señalar aquí cómo en este recuento podemos encontrar una idea subyacente, la *focalización de funciones mentales*. En el seguimiento de esta idea se adquirió por otro lado un método que va segmentando cada vez más las *partes del todo*. Éste ánimo, como veremos más adelante, se repite

---

<sup>15</sup> Kandel, Eric R. op. cit. Página 16.

constantemente en varios aspectos del *quehacer científico*. Por ahora baste con señalar y resaltar tal forma de irse aproximando a los fenómenos de estudio.

En otros autores podemos encontrar una metodología distinta para el recuento del estudio del cerebro. Así, en Magoun podemos observar una periodización que tiene el atributo principal de seguir más a los enfoques y los contextos históricos y técnicos de donde surgen, aunque tiene también la desventaja de presentarlo como un panorama complementariamente continuo. En el capítulo “Introducción Histórica” de su libro *El cerebro despierto*, la ilación se presenta a través de la transición de modelos de estudio, empezando por el “alma tripartita” de Platón, el “modelo hidráulico” de Galeno, el “modelo dióptrico” de Descartes, el “modelo Frenológico”, aunque aquí abarca no sólo a Gall, sino en general a quienes dividen en hemisferios cerebrales y tienen una visión de división “horizontal”, el “modelo Geológico” a través del estudio de niveles nerviosos o visión “vertical”, el “modelo Embriológico” en el que se habla de la caracterización centro y periferia del cerebro, reforzando la visión vertical, y el “modelo Tecnológico”, en el que más que horizontal o vertical, se sustenta una visión circular basada en la idea de que el cerebro funciona como una máquina que cumple ciclos en los que el concepto de la realimentación (*feedback*) juega el papel primordial y que para los años en que es escrito dicho libro (1958) se encuentra a la vanguardia de las interpretaciones al recibir una gran influencia desde otros campos como lo son la cibernética y la ciencia de la computación.<sup>16</sup> Magoun concluye su capítulo aludiendo a cómo a pesar de sus diferencias, los últimos cuatro modelos pueden complementarse en lo que llama “Sistema Reticular Inespecífico” como síntesis de lo horizontal, vertical y circular. En el tercer capítulo de esta tesis comentaremos algunas de las características que consideramos de importancia de este enfoque al mostrar algunas similitudes de éste con la interpretación que Boris Hessen hizo de la física clásica Newtoniana; la relación entre las

---

<sup>16</sup> “En un libro titulado *Cibernética o control y comunicación en el animal y la máquina*, Wiener [Norbert] (1948) señaló que ‘la era actual es realmente la de los servomecanismos, como el siglo XIX fue la era de la turbina de vapor y el siglo XVIII la era del reloj’. Gray Walter escribió: ‘con la llegada del vapor después de la electricidad, se hizo necesaria una nueva clase de diseño automático que permitiera a una máquina controlar el uso efectivo del propio poder que genera. El primer motor de vapor dejado por sí solo era inestable, la presión bajaba cuando se usaba la energía y el quemador estallaba cuando no se usaba. Watt introdujo la válvula de seguridad y el control automático para estabilizar, tanto la presión del quemador, como la velocidad del motor. Por supuesto, estos dos dispositivos importantes fueron utilizados más bien por ingenieros, pero el gran Clark Maxwell (1868) dedicó un artículo al análisis de control de Watt, y fue tal vez el primero en darse cuenta de la importancia de este procedimiento clave de retroalimentación’” Magoun, Óp. cit. Página 14.

ideas científicas de la época y el desarrollo de las fuerzas productivas en la industria.

Regresando al concepto del *feedback*, pasaremos a explicar uno de los enfoques predominantes de la ciencia cognitiva actual, precisamente aquel que afirma que “los científicos cognitivos ven la mente humana como un sistema complejo que recibe, almacena, recupera, transforma y transmite información. Estas operaciones de información son llamadas *cómputo* o *proceso de información*, y la visión de la mente es llamada punto de vista *computacional* o de *procesamiento de información*.”<sup>17</sup> De acuerdo con ello, la perspectiva de la ciencia cognitiva no sólo debería enfocarse a proporcionarnos un conjunto de miradas sobre el potencial y la naturaleza humana, sino también sobre nuestro potencial para desarrollar tecnologías de información más poderosas. En este enfoque podemos encontrar una interpretación invertida. Por un lado tenemos un organismo de estudio, por el otro un procedimiento sistematizado en base al trabajo humano, es decir, un producto de la mente humana. Valdría la licencia de proceder como metáfora de funcionamiento del organismo, la aproximación mediante su comparación con el proceso de información. Sin embargo, en este enfoque no existe una *metáfora* de funcionamiento, sino una plena identificación del *organismo* de estudio con la *idea*.

Para esta perspectiva, al igual que para la teoría de la Informática en general, el proceso de información debe reunir varias características; a) debe tener contenido y estar orientado a un propósito, b) debe ser susceptible de representación, c) deben poder ser descritos formalmente. Como consecuencia de ello, los procesos de información pueden estudiarse desde varios niveles de análisis, siendo el análisis formal el más bajo y el de comportamiento el más alto.

Por otro lado, dada su representación y descripción formal, una de las hipótesis más fuertes en este campo es que dichos procesos de información tienen que ser *físicamente* implementados, y no sólo, sino que además el mismo proceso formal puede implementarse físicamente de diversas maneras. Esta última característica que atribuye dicha perspectiva es de especial importancia dado que tiene consecuencias muy particulares: “Nuestro énfasis en la independencia de un proceso de información de su implementación física se asemeja a

---

<sup>17</sup> “Cognitive scientists view the human mind as a complex system that receives, stores, retrieves, transforms, and transmits information. These operations on information are called computations or information process, and the view of the mind is called the computational or information-processing view.” Stlillings, Neil A. op. cit. Página 1.

la distinción habitual entre el *software* y el *hardware* en el mundo informático”.<sup>18</sup> De hecho, es precisamente a partir de esta idea de la que nace lo que hoy conocemos como “Inteligencia Artificial” (AI) y que utilizamos como puente temático para nuestra siguiente sección.

### **1.1.2. Info. Las Tecnologías de la Información (TI), la Ciencias de la computación y la Inteligencia Artificial.**

Las “Tecnologías de la Información” no es un concepto científico sino empresarial, ampliamente utilizado por muchos pero formalmente definido por casi nadie. De acuerdo a *TechAmerica*, la asociación de empresas de *innovación tecnológica* más grande de los Estados Unidos, las tecnologías de la información se definen como “el estudio, diseño, desarrollo, implementación, soporte o gestión de los sistemas de información basados en computadoras, en particular las aplicaciones de software y hardware”<sup>19</sup>. Actualmente casi todos los sistemas de telecomunicación están basados en computadoras. Hay aplicaciones de software para la inmensa mayoría de profesiones y oficios por lo que el campo de acción es demasiado amplio. En él se encuentran tanto el Internet como la telefonía, la radiodifusión y la televisión, las computadoras personales o de uso industrial, por tanto también, todo lo concerniente a automatización e innovación de procesos por medio de la informática y la computación. Estando en este punto es entonces necesario hacer la diferencia entre Tecnologías de la Información y la Informática, la primera como una aplicación tecnológica de la segunda.

La informática “es la ciencia aplicada que abarca el estudio y aplicación del tratamiento automático de la información, utilizando dispositivos electrónicos y sistemas computacionales. También está definida como el procesamiento automático de la información. Conforme a ello, los sistemas informáticos deben realizar las siguientes tres tareas básicas: a) Entrada: Captación de la información digital, b) Proceso: Tratamiento de la

---

<sup>18</sup> “Our stress on the Independence of an information process from its physical implementation is akin to the common distinction between software and hardware in the computer world” *Ibid.* Página 11.

<sup>19</sup> La definición proviene de la “Information Technology Association of America” (ITAA) cuya página de internet puede consultarse a través de la dirección: [www.ita.org](http://www.ita.org) La asociación “TechAmerica” está formada por la fusión de la AeA (American Electronics Association), la Cyber Security Industry Alliance (CSIA), la ITAA y la Government Electronics & Information Technology Association (GEIA).

información, y c) Salida: Transmisión de resultados binarios.”<sup>20</sup> La informática, a su vez está sustentada en la Ciencia de la Computación y otras áreas que derivan de la misma como la Teoría de la programación y la Inteligencia Artificial (IA). De hecho es en este último punto donde hay una clara relación con las ciencias cognitivas como se ha señalado más arriba. Procedemos pues a hacer un breve recuento de lo que es la ciencia de la computación con un doble propósito, por un lado entender que las tecnologías de la información son en realidad una aplicación particular de una ciencia más general que le da sustento teórico a sus posibilidades e igualmente a sus limitantes, y por otro lado el conectar con el siguiente tema a partir de un área de investigación conocida como la *computación molecular*.

Es un error pensar que la Ciencia de la Computación estudia las computadoras. Son las segundas sólo instrumentos para algunas áreas de dicha ciencia. Por ende, no haremos aquí un recuento de la historia de las computadoras que puede encontrarse en tantos sitios y a tanto detalle. Nos ocuparemos principalmente de la fundamentación en tanto ciencia pues consideramos arroja puntos clave sobre su desarrollo y aplicabilidad tecnológica. Esta última será abordada en menor medida tomando en cuenta la amplia difusión y cada día más cotidiana relación de la población con ella. En el caso particular de las ciencias de la computación, al terminar su respectivo apartado habremos también puesto atención en uno de los aspectos de factibilidad de mayor alcance respecto a las tecnologías convergentes, para ello es necesario entonces delimitar los problemas con los que se encuentra no sólo una computadora actual, sino cualquier computadora hecha en términos de los modelos lógicos que actualmente conocemos.

Una definición moderna de la ciencia de la computación parte de su objeto fundamental de estudio: los algoritmos y su implementación. “Un algoritmo es un método de solución para un problema que cumple con:

1. Trabaja a partir de 0 o más datos (*entrada*)
2. Produce al menos un resultado (*salida*)
3. Está especificado mediante un número finito de pasos (*finitud*)
4. Cada paso es susceptible de ser realizado por una persona con papel y lápiz

---

<sup>20</sup> Artículo “Informática” de la Wikipedia. Disponible a través de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Inform%C3%A1tica>  
Cabe aclarar que no necesariamente debe ser una base binaria en la que la información se procese.

(definición)

5. El seguir el algoritmo (la ejecución del algoritmo) lleva un tiempo finito (*terminación*)<sup>21</sup>

Como bien puede uno percatarse, en el mundo existen más problemas que soluciones. Pues bien, otro de los objetivos de la ciencia de la computación, la *teoría de la computabilidad* y la *complejidad computacional*, es determinar lo que es computable y lo que no lo es, problema fácil de enunciar pero harto difícil de resolver y en ocasiones incluso de entender. Entre los computólogos, éste es conocido como el *problema de terminación* o *problema de la parada*, refiriéndose a si dado un problema, existe un algoritmo tal que pueda detenerse tras resolverlo después de un número finito de ciclos, entendiéndose que de no *terminar* o no *pararse*, el problema no es solucionable. Ponemos nuestra atención en él debido a que en su solución se encuentra el nacimiento de la ciencia de la computación y porque dicho nacimiento tiene la peculiaridad de ocurrir a partir no sólo del reconocimiento de su objeto de estudio, sino también de sus limitantes, la demostración formal de la existencia de problemas que no son computables. Aunque en principio, dicho problema fue planteado de una manera más general: el problema de decisión o decidibilidad (o por su nombre en alemán, Entscheidungsproblem). Los antecedentes de dicho problema se remontan a principios del siglo pasado. En el Segundo Congreso Internacional de Matemáticas, celebrado en París en 1900, David Hilbert propuso una serie de 23 problemas matemáticos que generaron toda una agenda dentro de la matemática del siglo XX<sup>22</sup>. El segundo de dichos problemas consistía en demostrar que los axiomas de la aritmética eran *consistentes*. En lógica esto quiere decir que conforman un sistema formal que no encierra ninguna contradicción entre ellos o dicho de otro modo, que partiendo de dichos axiomas no se puede demostrar simultáneamente una proposición y su negación. El décimo problema, trasladado

---

<sup>21</sup> Viso G., Elisa y Canek Peláez V. (2007). Introducción a las Ciencias de la Computación con Java. Editado por la Facultad de Ciencias de la UNAM. México, 2007. Página 2.

<sup>22</sup> Como ejemplo del cambio de los tiempos, después de ser planteados los problemas de Hilbert, a la solución de uno de ellos venía el reconocimiento por la comunidad matemática internacional. En el año 2000 el Clay Mathematics Institute anuncio la apertura del Millennium Prize con una propuesta de sólo 7 problemas por el que se recibiría en recompensa 1 millón de dólares por cada uno. El primer ganador de este premio, el Dr. Grigoriy Perelman por su demostración a la conjetura de Poincaré, se ha rehusado a recibirlo por dudar de las estándares éticos de las élites matemáticas: Malen Ruiz de Elvira. Nota “El ruso Perelman rechaza la medalla Fields, la mayor distinción matemática” Periódico el País. Madrid, 22 de agosto de 2006. Disponible en línea a través de la dirección:

[http://www.elpais.com/articulo/sociedad/ruso/Perelman/rechaza/medalla/Fields/mayor/distincion/matematica/elpporsoc/20060822elpepisoc\\_6/Tes](http://www.elpais.com/articulo/sociedad/ruso/Perelman/rechaza/medalla/Fields/mayor/distincion/matematica/elpporsoc/20060822elpepisoc_6/Tes)

a la lógica de primer orden,<sup>23</sup> es el problema de la *decidibilidad* que en palabras simples consiste en saber si dado un cuerpo de axiomas y una proposición [como los axiomas de la aritmética por ejemplo] ¿existe un algoritmo que pueda determinar si la proposición es verdadera o falsa? De existir dicho algoritmo como solución general, se le hubiese abierto la puerta a la lógica para unificar todos los campos de la matemática existentes hasta el siglo pasado.

Para desilusión o extraño disfrute del lector. Ambos problemas fueron solucionados y en ambos, la respuesta fue NEGATIVA...



Figura 4. Kurt F. Gödel

Una de las respuestas fue la dada por Kurt Gödel en 1931. En ese año publicó un artículo llamado “Sobre proposiciones formalmente no decidibles en *Principia Mathematica* y sistemas relacionados”. De su proposición VI, ahora conocido como el primer teorema de Gödel, y puesto en palabras más sencillas se puede afirmar que: “En cualquier formalización consistente de las matemáticas que sea lo bastante fuerte para definir el concepto de números naturales, se puede construir una afirmación que ni se puede demostrar ni se puede refutar dentro de ese sistema.”<sup>24</sup> Dicho de otro modo y de manera general, el alcance de este teorema afirma

que “Toda formulación axiomática y consistente incluye proposiciones indecidibles”, esto es, que “existen aseveraciones cuya verdad/falsedad no vamos a poder demostrar.”<sup>25</sup> Además del mismo artículo se desprende que ningún sistema consistente puede demostrarse usándose a sí mismo. Lo cual trae severas consecuencias no sólo a la matemática y a la lógica, sino a la lingüística, la filosofía, la psicología, la física, y todas aquellas que pretendan encontrar un cuerpo axiomático finito.

<sup>23</sup> El problema original plantea encontrar un algoritmo que determine si una ecuación diofántica polinómica dada con coeficientes enteros tiene solución entera. Colerus Egmont (1943). Historia de la matemática de Pitágoras a Hilbert. Editorial Progreso y Cultura. Argentina, 1943.

<sup>24</sup> La traducción original dice: “**PROPOSICION VI.** A toda clase **c** de fórmulas  $\omega$ -consistente recursivas le corresponde una clase-signo **r** tal que ni **v Gen r** ni **Neg (v Gen r)** pertenecen a **Flg(c)**, donde **v** es la variable libre de **r**.” Careaga, Alfredo A. et ál. (2002). El teorema de Gödel. Serie Hipercuadernos de Divulgación Científica. UNAM, México, 2002. Página 8. Disponible a través de la dirección: [http://www.dgdc.unam.mx/Assets/pdfs/teorema\\_godel.pdf](http://www.dgdc.unam.mx/Assets/pdfs/teorema_godel.pdf)

<sup>25</sup> *Ibid.* Página 10.

En 1936, el problema de la decisión fue resuelto 3 veces simultáneamente y de forma independiente por Alonzo Church, a quien debemos una definición formal de lo que hoy entendemos por algoritmo, Emile Post y Alan Turing. Se ha demostrado que las 3 son equivalentes pero debido a lo que nos ocupa aquí, nos referiremos sólo a los resultados de Turing. En un artículo llamado “On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem”,<sup>26</sup> Turing resuelve el problema de la decisión introduciendo una abstracción, un modelo teórico general de una *máquina* muy simple capaz de ejecutar un *algoritmo*, con su consiguiente planteamiento formal. Con ello llegó al elegante resultado de que todo aquello que es computable es aquello que tiene una máquina de Turing que lo calcule (que curiosamente es conocido como *tesis de Church*). Un resultado importante es que no existe una máquina de Turing capaz de determinar si ante un problema dado, un algoritmo lo resolverá en un tiempo finito y esa es precisamente la respuesta al *problema de decisión*, que no se puede determinar formalmente cuándo puede *parar* la ejecución de un algoritmo (por lo que también se llama el *problema de la parada*).



**Figura 5.** Alan Turing. El iniciador de la ciencia de la computación.

¿Y qué tiene qué ver todo esto con la ciencia de la computación y las tecnologías convergentes? Pues que como mencionamos más arriba, es una ciencia que nace de un modo muy particular. Hasta el día de hoy, todas las computadoras utilizadas en el estándar mundial son también aplicaciones prácticas del modelo teórico de las máquinas de Turing. Por tanto “una computadora, por poderosa que sea, tiene un número finito de componentes o transistores en su unidad de procesamiento central. Cualquier programa que corra en dicha computadora, por complejo que sea, tiene un número finito de instrucciones. Los componentes del hardware y del software incluyen dentro de sí los axiomas básicos del sistema computacional. Entonces, todo sistema lógico de razonamiento y de conocimientos basado en computadoras cumple con la hipótesis del teorema de Gödel y por lo tanto está

---

<sup>26</sup> Turing, Alan M. (1936). “On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem”. Versión completa digitalizada por The History Computing Project (THOCP). Disponible en línea a través de la dirección: [http://www.thocp.net/biographies/papers/turing\\_oncomputablenumbers\\_1936.pdf](http://www.thocp.net/biographies/papers/turing_oncomputablenumbers_1936.pdf)

sujeto a sus resultados. Esto implica que es imposible programar una computadora, por poderosa que ésta sea, para resolver todas las cuestiones matemáticas que se le planteen o para modelar todos los sistemas que se deseen. El teorema de Gödel establece limitantes esenciales para la computación y en especial para la inteligencia artificial en tanto que afirma que siempre existirán problemas indecidibles dentro de dicho sistema computacional. [...] El teorema de Gödel ha sido utilizado para argumentar tanto a favor como en contra de que una computadora algún día llegará a ser tan inteligente como un ser humano.”<sup>27</sup>

Turing contribuyó a más campos de de la ciencia de la computación, teorizando y desarrollando proyectos sobre lo que hoy se conoce como computación evolutiva e inteligencia artificial. Con él se sentaron las bases de las grandes preguntas de las ciencias de la computación dividiendo el mundo de los problemas en dos, los computables y los no computables, además de comenzar a clasificar los computables de acuerdo a su grado de complejidad. Pero él no sólo fue un teórico de la computación, durante la segunda guerra mundial participó en el programa ULTRA, que se encargaba de descifrar los códigos de los submarinos alemanes. Como resultado, en 1943 fue construida COLOSSUS, a la cual se le atribuye el mérito de haber contribuido enormemente a la derrota de Alemania.<sup>28</sup>

Otros trabajos importantes en la ciencia de la computación se dieron a lo largo de esos años. En 1937 Claude Elwood Shannon, considerado el fundador de la Teoría de la Información, presentó en su tesis de maestría del Massachusetts Institute of Technology (MIT) las bases teóricas de la utilización de dispositivos eléctricos para la realización de operaciones lógicas en un sistema binario. Ésta línea de trabajo serviría como piedra angular para el incremento en la fabricación de computadoras. En 1943 Warren S. McCulloch y Walter Pitts en un artículo llamado *Un cálculo lógico de las ideas inmanentes a la actividad nerviosa* estructuraron un modelo lógico del funcionamiento de una neurona y de la forma en que se interconectan. Al combinar estos elementos formularon que el pensamiento, la memoria visual y auditiva y el lenguaje, son procesos cuya complejidad no está en cada

---

<sup>27</sup> Careaga, Alfredo A. *op. cit.* Página 14.

<sup>28</sup> A pesar de sus enormes aportes en la ciencia y de su contribución en la guerra, la vida de Turing tiene un final que no puede dejar de mencionarse. En 1952, la policía británica lo procesó por el cargo de homosexualidad. Fue condenado a un tratamiento hormonal con estrógeno. En 1954 muere al comer una manzana envenenada con cianuro. Oficialmente se declaró que fue suicidio. En adelante los datos de esta cronología de la ciencia de la computación, excepto los pies de página que indiquen otra fuente, se toma a partir de: Galviz Casas, José (2003). *Elogio de la pereza: la ciencia de la computación en una perspectiva histórica*. Editorial Las prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México 2003. Del capítulo 5 al 10.

neurona, sino que sólo pueden ser propiedades que *emergen* de la interacción de estos elementos simples. A esto se le conoce con el nombre de *redes neuronales* y es uno de los campos de estudio para el desarrollo actual tanto de la Inteligencia Artificial como de Internet. En 1948 Norbert Wiener un matemático con gran interés en diversos campos y en particular en la fisiología, publicó un libro en el que utiliza un término definido por él mismo; “Cibernética”<sup>29</sup> en el que el concepto de los *servomecanismos* juega un papel fundamental a partir de la *retroalimentación (feedback)*, recibiendo estímulos del entorno y arrojando como resultado efectos medibles sobre el ajuste de una situación real con una deseada.

Sin embargo, las máquinas para hacer cómputo (para calcular) llevan más tiempo de existencia que la propia ciencia de la computación. Para el capital, la línea que siguen las soluciones tecnológicas, está delineada por los problemas que éste necesita resolver. Este planteamiento, sin embargo, no es consciente u homogéneo, pero sin duda tiene elementos en común entre los diversos capitalistas y sus condiciones, y esos son los *grandes* problemas a resolver, *el lugar a donde el desarrollo tecnológico fija su mirada*. Ya a finales del siglo antepasado, máquinas tabuladoras como la de Herman Hollerith se habían utilizado



**Figura 6.** Propaganda de DEHOMAG subsidiaria de IBM en Alemania.

en los censos de Estados Unidos, Austria y Rusia. Este caso es especialmente importante dado que en 1911 Charles Flint, un traficante de armas de EUA, compró la empresa de Hollerith a cambio de 1.2 millones de dólares y un contrato que lo hacía asesor de la misma, la fusionó con otras tres empresas fabricantes de otros tipos de máquinas y la llamó Computing-Tabulating-Recording Company (CTR) y –como nos relata José Galvez Casas– puso a su cargo a un negociante sin escrúpulos llamado Thomas J. Watson dejando relegado al mismo Hollerith. En 1924, Watson cambió el nombre a la compañía por International Business Machines (IBM). Las máquinas para estadística poblacional y censos fueron ampliamente utilizadas en

<sup>29</sup> Wiener, Norbert (1948). Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas. Traducción de Francisco Martín. Barcelona, Tusquets, 1985.

los campos de concentración de la Alemania Nazi. Watson logró cuantiosos contratos por venta, capacitación, mantenimiento y diseño *a modo*, de las tarjetas utilizadas por el tercer Reich a través de una subsidiaria alemana: la Deutsche Hollerith Mashinen Gesellschaft (DEHOMAG).<sup>30</sup>

No había pérdida, en Europa o en América, con los Aliados o con el Eje, IBM hacía jugosos negocios. De hecho la oficina de Censos de los Estados Unidos fue un cliente cautivo de IBM durante décadas.

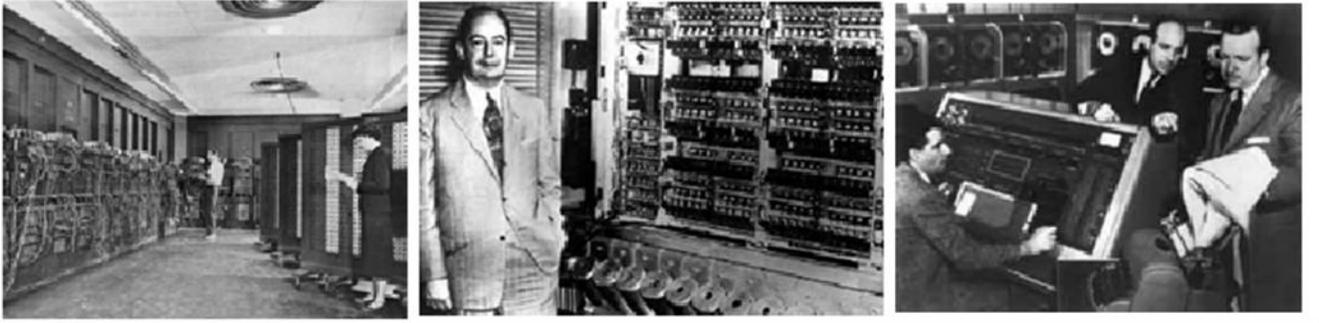
Retomando los trabajos de investigación sobre cálculos en dispositivos electrónicos, en 1946 pudo estar lista una computadora que se había diseñado originalmente para cálculo balístico durante la guerra, la ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer) capaz de realizar 300 multiplicaciones por segundo en base diez, fue principalmente producto del trabajo de Presper Eckert, John Mauchly y Hermann Goldstine. Constaba de 18,000 válvulas de vacío, pesaba 30 toneladas y ocupaba 180 metros cuadrados. Era programable pero sólo a través de desenchufar y enchufar en orden diferente decenas y decenas de cables. Tres años antes John Von Neuman había escrito un borrador de reporte sobre una computadora que llamó EDVAC (Electronic Discrete Variable Automatic Computer) que es el primer prototipo de la arquitectura de las computadoras actuales. Von Neuman describe lo necesario para almacenar el programa a ejecutar en la misma memoria de la computadora sin necesidad de reprogramar a través de cables.

A esto se le llama “arquitectura de Von Neuman” y consiste en una unidad central de proceso (CPU) que se encarga del cómputo, una memoria para almacenar datos y programas y el sistema de entrada/salida, es decir la interfaz con el usuario para la entrada de datos y salida de resultados. Esta fue también la primer computadora de propósito general. Eckert y Mauchly fundaron una nueva compañía (EMCC) y rediseñaron un prototipo en formato binario con la arquitectura de Neuman, pero era muy costosa. Remington-Rand (hoy Unysis) adquirió EMCC y así pudieron financiar el proyecto, saliendo a la venta en 1950 la primer UNIVAC (Universal Automatic Computer) y que al ser vendida a la oficina del censo de los Estados Unidos, invadiendo el mercado cautivo de IBM, echó andar una dura competencia en el mercado de los corporativos de computadoras que se mantiene hasta

---

<sup>30</sup> Galvez, *op. cit.*, capítulo VI. En adelante seguimos el curso de su exposición pero a la vez complementamos con las fuentes directas.

nuestros días y que en aquellos años fue alimentada en gran parte debido, una vez más, a la competencia bélica: la *guerra fría*.



**Figura 7.** ENIAC (Izquierda). John Von Neuman al lado de la EDVAC (centro). Operadores de una UNIVAC (derecha).

De este modo, para inicios de los cincuenta, principalmente nueve empresas compartían el mercado: IBM, General Electric, RCA, Philco, NCR, Western Electric (filial de AT&T), Borroughs, Raytheon y Remington-Rand.

En 1947 William Shockley, Walter Brattain y John Bardeen inventaron el transistor en los laboratorios *Bell* de AT&T (lo que les valió el premio nobel en 1956) con lo que fue posible el paso de bulbos a transistores, acortando el tiempo de operación, reduciendo espacio y, motor en todo desarrollo tecnológico capitalista, reduciendo costos. Desde esa época, todos los trabajos previos, no sólo los de Shannon con la relación entre operaciones lógicas en dispositivos electrónicos sino incluso los de aquellos matemáticos y lógicos como Turing y Gödel que le dieron sustento a la ciencia de la computación quedarían unidos al desarrollo tecnológico llevado a cabo por corporativos y empresas.

Los fabricantes de transistores entraron a su vez en una competencia por la miniaturización de dicha tecnología y pronto se fundaron nuevas compañías de escisiones de las primeras. Robert Noyce (antes colaborador de AT&T), Gordon Moore que habían obtenido la patente del circuito integrado o *chip* (no sólo transistores miniaturizados, sino circuitos enteros) en 1961 y 1964 respectivamente, junto a Andrew Grove fundaron una compañía que llamaron con el acrónimo de *Integrated Electronics: Intel*. Debido a las necesidades de sus clientes, en 1969 Marcian “Ted” Hoff, diseñó para Intel un chip que

podiera programarse a través de software, lo que generó un producto muy versátil, adaptable a tantos usos como pudiera programarse, éste fue el primer *microprocesador* de la historia, el *Intel 4004*. Después vino el *8008* por pedido de una compañía actualmente llamada *DataPoint*, y que como característica tenía el ser capaz de controlar el flujo de datos desde y hacia una computadora central remota.



**Figura 8.** La Altair 8800, podía comprarse desarmada por \$400 USD en 1975

Para mediados de los 70's habían ya varios fabricantes de microprocesadores. Pero uno de los cambios significativos vino a partir de un giro inesperado, la difusión en la fabricación de minicomputadoras en revistas del estilo *hágalo-usted-mismo* de Estados Unidos. En 1974 *QST*, *Radio-Electronics*, y *Popular Electronics* publicaron diversos números sobre la fabricación de minicomputadoras personales, todas basadas en procesadores de Intel. La más popular fue la *Altair 8800*, diseñada por Edward Roberts, de Albuquerque, que fue anunciada como “el primer kit de minicomputadora a nivel mundial capaz de competir con los modelos comerciales”. A pesar de que en un inicio su diseñador señaló 23 aplicaciones distintas y una complicada serie de interruptores al frente para poder programarla, recibió soporte por parte de toda una *anónima* comunidad de aficionados.<sup>31</sup> Al poco tiempo ya disponía de teclados, conectores para televisor, lectoras de cintas de papel para introducir programas y datos, etc.



**Figura 9.** La Apple II de 1979

En 1975 Paul Allen y William Gates III (en ese entonces estudiante de derecho en Harvard) escribieron para la *Altair* un intérprete del lenguaje *Basic* que lograron mostrar a Edward Roberts y convencerlo de distribuirlo junto con la *Altair* concediéndole licencia de venta. De este modo nació *MicroSoft*. Por otro lado, Steve Jobs y Steve Wozniak, que formaban parte de un grupo de aficionados decidieron hacer su propio diseño de minicomputadora, así en 1976 pudieron producir la *Apple I* y al año siguiente la *Apple II*, misma que fue todo un éxito comercial, la primera con disco flexible de 5 ¼

<sup>31</sup> En el capítulo 3, con el caso de GNU-Project veremos lo importante que resulta este *anónimo* en el desarrollo tecnológico y particularmente en el caso de la computación.

pulgadas diseñada por Wozniak y vendida con un programa para ejecutar hojas de cálculo. No fue sino hasta 1981 que el gigante corporativo IBM decidió entrar al mercado de las computadoras personales con una mancuerna entre los procesadores de Intel y un sistema operativo (repleto de errores de código y programación) que *MicroSoft* compró y adaptó por encargo para la *IBM PC*: el *MS-Dos*, antecesor y base de lo que hoy conocemos como *MicroSoft Windows*. Para 1984 casi la única compañía que hacía la competencia a IBM era Apple y en ese año sacó su modelo *Macintosh*, el primero en integrar una interfaz gráfica como la que funciona en las computadoras actuales (ratón, puntero, ventanas, etc.). Pero el mundo de las computadoras estaría incompleto si no abordáramos uno de sus mayores logros: el Internet.

Como consecuencia de la guerra fría, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos creó la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada (ARPA por sus siglas en inglés) en 1957. Existía la preocupación de la vulnerabilidad de la red de comunicaciones, si por alguna razón durante un ataque nuclear, dicha red resultaba afectada severamente, no habría modo de llevar a cabo una respuesta a tiempo, de este modo, uno de las líneas de defensa se preocupaba por generar armas lo suficiente potente para asegurar un ataque rápido, tal que fuera incluso capaz de no recibir respuesta. Otra de las líneas fue generar una red de comunicación que fuese capaz de intercomunicar dos puntos a través de diferentes rutas y no una sola como en la telefonía. Para ello era necesario dividir la información en paquetes cada uno con el remitente y destinatario, de modo que si se interrumpía una ruta pudiese llegar por otra y el destinatario pudiera saber además si la información llegó íntegra. En 1966 quedó al frente de este proyecto Larry Roberts, teniendo como antecedentes los trabajos de científicos como Paul Baran y Donald Davies, éste último exintegrante de un grupo de trabajo de Turing. En octubre de ese año elaboró el primer plan de la red de ARPA (mejor conocida como ARPANET) que llevó por título *Hacia una red cooperativa de computadoras de tiempo compartido*.

Uno de los problemas mayores era cómo hacer para comunicar computadoras difernetes tanto físicamente como a nivel de los programas que funcionan en ellas. Wes Clark, miembro del proyecto y estudiante de la UCLA aportó una de las soluciones, cada nodo de la comunicación involucraría a una máquina anfitrión (*host*) y a una computadora más pequeña llamada IMP (Interface Message Processors). Los IMP's serían computadoras

de propósito específico encargadas de “traducir” los mensajes del anfitrión a un lenguaje común que pudiera recibir otro IMP en otro punto de la red. Para finales de 1969 el Instituto de investigación de la Universidad de Stanford (SRI), el Centro de medición de red de la UCLA, la Universidad de California y la de Utah estaban ya interconectadas y utilizaban un protocolo de internet llamado *Telnet*. Para 1973 se pudo realizar la primer conexión internacional con el University College de Londres y para 1978 los protocolos predominantes eran el TCP (*Transfer Control Protocol*) e IP (*Internet Protocol*) en uso hasta el día de hoy.

Pero una pincelada más hacía falta para este cuadro. En 1990, tratando de solucionar un problema de cómo acceder a la información en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN por sus siglas en francés) que no fuese un sistema jerárquico ya que la información en el CERN era en realidad una telaraña (web) cuyas interconexiones evolucionaban y se modificaban a través del tiempo, Tim Berners-Lee elaboró un proyecto de organización de la información que respondiera a esta complejidad. Esta forma de organización debería ser capaz de permitir la introducción de “ligas” en el texto de modo que se vinculara a otra información. Además, Berners-Lee reconoció que este no era un problema exclusivo del CERN, sino que era un problema mundial. Esto es el fundamento de lo que hoy conocemos como *hipertexto*, la base de la información en Internet. Su equipo generó el HTML (*Lenguaje de Etiquetas de Hipertexto*) el HTTP (*Protocolo de transferencia*



Figura 10. Tim Berners-Lee en 2009.

*de hipertexto*) y la URL (Localización Uniforme de Recursos). Para finales de 1990 había ya elaborado un programa de manejo de hipertexto y que a pesar de estar en principio sólo en el CERN lo bautizó con el nombre de World Wide Web (www). El primer *servidor web* del mundo fue puesto en línea el 6 de agosto de 1991, en él se podía encontrar información sobre cómo tener un navegador y cómo montar un servidor web, ambos códigos se *liberaron* (con todo el sentido literal de libertad) a través del servidor de Berners-Lee y años más tarde, el mundo no sería el mismo sin la *amplia telaraña mundial* de Internet.

“En 1970 la red de ARPA creció a una tasa de un nodo por mes. En 1980 eran 213 anfitriones, en 1984 se sobrepasó la barrera de los 1000 anfitriones, para 1989 se rebasaron

los 100,000, en 1992 el millón, en 1996, ya con la telaraña mundial montada sobre Internet, los 10 millones, en julio de 2000 eran poco más de 93 millones de anfitriones”.<sup>32</sup>

Sin duda ha sido ésta una de las ciencias con mayores aplicaciones tecnológicas, con consecuencias difíciles de adjetivar, tanto al ver los nuevos sistemas de negocios de Google<sup>33</sup>, los primeros *juicios* de decisión de Asimo<sup>34</sup> o los robots todo terreno “BigDog”<sup>35</sup> del Defense Advanced Research Project Agency del Pentágono (la misma de Internet).

Actualmente hay muchos temas de frontera, aquí sólo mencionaremos 2. El primero es la computación cuántica. En 1982, Richard Feynman (de quien también hablaremos más adelante) en un artículo que se publicó como transcripción de uno de sus discursos, planteó la pregunta de si “¿puede un sistema cuántico ser probabilísticamente simulado por un ordenador universal clásico?”<sup>36</sup> y más aún, si se pueden simular fenómenos cuánticos de manera *exacta* con las computadoras que disponemos hoy en día y su respuesta fue “No”, dado que las computadoras actuales responden, por decirlo de algún modo, al modelo clásico de la física y abrió la posibilidad teórica a la realización de computadoras cuánticas que constituyen hoy en día una de las líneas de investigación más prometedoras.

Cómo mencionamos anteriormente, la tecnología computacional actual se encuentra en un sistema binario, es decir que sólo se compone de ceros y unos, y de manera básica esto se procesa en circuitos por presencia o ausencia de carga. A esa unidad básica de información se le llama “bit”. En la computación cuántica el funcionamiento es diferente: “la base de la computadora cuántica es el *qubit* (quantum bit o bit cuántico). Un *qubit*, como

<sup>32</sup> Galvez Casas, José *op. cit.* Página 102.

<sup>33</sup> Google.Inc fue fundada el 4 de septiembre de 1998 por dos estudiantes de doctorado en ciencias de la computación en la Stanford University. Su producto original ha sido el “Page Rank” que no es otra cosa que el algoritmo utilizado por su buscador de Internet para proporcionar a los usuarios resultados de búsqueda. Tan solo en 2009 sus ingresos por publicidad ascendieron a \$23 mil 651 millones de dólares. Información obtenida de la página corporativa de *google* para inversionistas: <http://investor.google.com/financial/tables.html>

<sup>34</sup> Asimo es un robot androide desarrollado por Honda capaz de caminar, correr, elaborar rutas en tiempo real con obstáculos movibles, así como una coordinación motora de la totalidad de su cuerpo, hablar, reconocer objetos en movimiento, y más recientemente obedecer órdenes por reconocimiento de gestos. También puede *aprender* a reconocer *variedades* de objetos de acuerdo a sus propiedades de diseño y no sólo su estructura específica. Se puede encontrar información detallada a través del sitio: <http://world.honda.com/ASIMO/>

<sup>35</sup> BigDog es un robot cuadrúpedo todo terreno desarrollado por Boston Dynamics para DARPA. Es el más avanzado debido a su adaptabilidad a cualquier tipo de suelo y estímulo aleatorio. Su computadora central procesa la información necesaria para mantener siempre el equilibrio incluso cuando alguna de las patas resbala. La información de este robot puede encontrarse en [http://www.bostondynamics.com/robot\\_bigdog.html](http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html)

<sup>36</sup> Feynman, Richard (1981). “Simulating Physics with computers”. En *International Journal of Theoretical Physics*, VoL 21, Nos. 6/7, 1982. Disponible en línea a través de la dirección: <https://www.cs.berkeley.edu/~christos/classics/Feynman.pdf> La cita es de la página 476.

cualquier bit ordinario, tiene dos estados accesibles pero, a diferencia del anterior, puede existir en una superposición de esos dos estados, es decir, que de algún modo puede trabajar con los dos valores posibles del bit al mismo tiempo<sup>37</sup> Esto ocurre básicamente por la identidad onda-partícula. De este modo una computadora cuántica podría realizar extraordinariamente cálculos en paralelo tal que a un mismo tiempo y en espacios menores en varios órdenes de magnitud que los actuales, podría resolver problemas del cómputo que antes se consideraban técnicamente irrealizables. Sólo por citar un ejemplo, estas computadoras podrían calcular la factorización de números muy grandes (unos 400 dígitos) en sus componentes primos, que es la base de sistemas criptográficos a nivel militar el día de hoy. La potencia en el manejo de información y cálculo se ampliaría exponencialmente.

El segundo campo de frontera es conocido como la *computación molecular*. En 1994, Leonard M. Adleman dio a conocer un experimento de cómputo realizado con ADN. El ADN está básicamente compuesto de *timina*, *adenina*, *citocina* y *guanina* y a su vez sólo pueden formar pares la timina con la adenina y la citosina con la guanina. En el proceso de replicación del ADN que veremos en la sección siguiente, cuando la polimerasa encuentra alguna de las cuatro, sólo tiene por tanto una opción para formar pares: “Parece probable que una sola molécula de ADN puede ser utilizada para codificar la ‘descripción instantánea’ de una máquina de Turing y que los protocolos disponibles en la actualidad y las enzimas pueden ser utilizadas para inducir modificaciones sucesivas de secuencias que corresponden a la ejecución de la máquina”<sup>38</sup> Esto es que “la polimerasa lee, uno a uno los símbolos que constituyen la cadena molecular de entrada y escribe en otra cadena molecular, la de salida, los símbolos complementarios. El pequeño alfabeto de la polimerasa posee cuatro símbolos diferentes, podría pensarse que es demasiado pequeño, pero el modelo de la máquina de Turing sólo necesita dos y es capaz de calcular todo lo calculable según la *tesis de Church*. Así que la polimerasa es, esencialmente, un dispositivo de cómputo simple.”<sup>39</sup> Debemos mencionar aquí que esta es una postura teórica y práctica frente al ADN, al terminar el apartado 1.1.4., hablaremos sobre la concepción *reduccionista* que yace en la base de estas

---

<sup>37</sup> Arriola, Verónica Esther (2004). *Computación Cuántica*. Editorial Las prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México 2004. Página 6. [subrayado en el original]

<sup>38</sup> Adleman, Leonard M. (1994). “Molecular Computation of Solutions To Combinatorial Problem” En la revista *Science* número 266. Estados Unidos, 1994. Páginas 1021-1024. Debido al cobro de acceso utilizamos aquí el artículo que se encuentra en la página de Adleman hospedada a su vez en la página de la University of Southern California: <http://www.usc.edu/dept/molecular-science/papers/fp-sci94.pdf> página 14.

<sup>39</sup> Galvez Casas, José *op. cit.* Página 114.

posturas. Las exponemos en tanto son líneas de investigación, pero no concordamos con ellas. Ahora bien, regresando al tema de la computación molecular, de acuerdo con sus supuestos, nuevamente en muy poco espacio, puede almacenarse en cadenas de ADN más información en varios órdenes de magnitud que en, por ejemplo, los discos compactos. Por otro lado, la energía necesaria para llevar a cabo el proceso es ínfima en comparación a la necesaria con las computadoras actuales. Aunque, tiene muchas dificultades técnicas aún por resolver (también la computación cuántica las tiene), es un campo de investigación en computación que no hubiese sido posible sin el conocimiento que en la biología molecular se sintetizó respecto al ADN y que pudieron derivar en una de sus aplicaciones biotecnológicas actuales; la ingeniería genética.

### 1.1.3. Bio. Biotecnología, Biología Molecular e ingeniería genética.

El término *Biotecnología* es utilizado de diferentes formas en distintas fuentes y por ello más que una definición, existen *definiciones* de la misma. Si el *objeto* determinara su *ser* de acuerdo con la palabra que lo nombra, podríamos simplemente dividir la palabra en dos componentes: *bio* y *tecnología*; con lo que tendríamos que la Biotecnología es la “utilización de organismos vivos para solucionar problemas o fabricar productos útiles.”<sup>40</sup> Definida de este modo –explicando el significante y no el significado<sup>41</sup>– tendría un alcance tal que “aun cuando la ‘biotecnología’ es un término relativamente reciente, sus orígenes se pueden rastrear en los albores de la civilización humana, cuando para subsistir, los campesinos del neolítico empezaron a modificar su ecosistema al seleccionar de sus cosechas cierto tipo de semillas para sembrar en el siguiente periodo.”<sup>42</sup> Pero fue en el siglo XX –a partir de los conocimientos que la biología molecular agrupó respecto a lo *vivo*, tanto a nivel de ácidos nucleicos, como el desoxirribonucleico (ADN) y el ribonucleico (ARN), tanto a nivel de

---

<sup>40</sup> Kreuzer, Helen y Massey, Adrianne (2001). ADN Recombinante y Biotecnología. Traducción de María Isabel Mora. Editorial Acribia. España, 2001. Página 3.

<sup>41</sup> Claro que pueden existir casos concordantes, pero si el *objeto* determinara su *ser* de acuerdo con la palabra que lo nombra, la economía, la astronomía, y otras tantas, existirían, de acuerdo a su etimología, desde hace tanto como no se tuviera registro. O el capital, en tanto *cabeza*, existiría desde que existe el latín. Más aun, si fuera la palabra asignada a las cosas aquello que las describiera, la *democracia* sería *democrática*. Bastaría con cambiarle el nombre a las cosas para transformarlas. Si el *objeto* determinara su *ser* de acuerdo con la palabra que lo nombra, el mundo estaría de cabeza.

<sup>42</sup> Covarrubias Robles, Alejandra A. (2004). “Ventajas y limitaciones de la biotecnología en la obtención de variedades resistentes a estrés ambiental”. En Muñoz Rubio, Julio (Coordinador) (2004). Alimentos transgénicos. Ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto. Edición conjunta del CEIICH de la UNAM y Siglo XXI editores. México, 2004. Página 51.

proteínas– cuando el término biotecnología comenzó a ser usado en el contexto de la manipulación de organismos vivos pero a nivel de células y moléculas biológicas. Es este cambio *de escala* que se transforma en un cambio *de modo* lo que aquí nos interesa para caracterizar a la biotecnología *moderna*.

A este respecto podemos aclarar también que “la manipulación de microorganismos para nuestro beneficio no es nueva, lo que es nuevo es *cómo* los estamos manipulando”<sup>43</sup> [y el *para qué*]. También se afirma que dentro de la biotecnología se agrupa una colección de tecnologías, como lo son la utilización de células del sistema inmune para la generación de anticuerpos (a estos se les llama anticuerpos monoclonales), células vivas o parte de sus componentes para sintetizar productos, degradar sustancias o liberar energía (bioprocesado, por el cual se obtienen, entre otros muchos ejemplos, la penicilina, la insulina, algunas vitaminas y vacunas, etc.), cultivos celulares controlados, ya sean de células vegetales, animales o en particular de células madre embrionarias. Otros ejemplos son su unión con la microelectrónica para la generación de *biosensores* capaces de detectar alguna sustancia en cantidades muy pequeñas, su unión con la ingeniería de materiales para producir tejidos semisintéticos, su unión con la informática, como mencionamos en la sección anterior, para investigar sobre los *chips de ADN*, y uno de los campos emblemáticos que es la ingeniería genética, entre algunas más.

Nuevamente hemos de mostrar algunos hechos importantes respecto a la ciencia de la que derivó la biotecnología actual, en este caso la biología molecular. “Ésta involucra el estudio de los tres procesos de transmisión hereditaria (duplicación, transcripción y traducción) y el estudio de las tres clases de macromoléculas (ADN, ARN y proteínas)”<sup>44</sup>. De acuerdo a Ana Barahona, el proceso llamado la *molecularización de la biología* –que consiste en enfocar los estudios para la comprensión de una célula viva en la escala molecular– se inicia en 1938 cuando el físico y biólogo Warren Weaver argumentara que la biología no progresaría a menos de apoyarse en la física y en la química para comprender los procesos que ocurren en dicha escala. Además de ser el primer reporte científico en

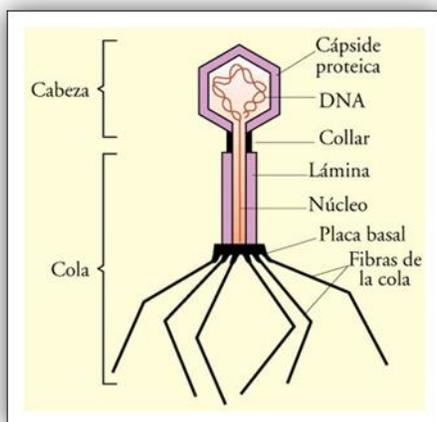
---

<sup>43</sup> Kreuzer, Helen. *Ibid.*

<sup>44</sup> Barahona Echevarría, Ana (2004). “Ingeniería Genética: origen y desarrollo” En Muñoz Rubio, Julio (Coordinador) (2004). Alimentos transgénicos. Ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto. Edición conjunta del CEIICH de la UNAM y Siglo XXI editores. México, 2004. Página 11.

donde aparece como tal el término “biología molecular”<sup>45</sup>.

Raúl Ondarza, en el primer capítulo de su libro *Biología molecular*, reconoce que en el proceso en que tomó forma esta rama de la biología, se pueden reconocer principalmente los aportes de tres escuelas de influencia; la primera se caracteriza por ser esencialmente genética pero unidimensional, constituida principalmente por el *grupo de los fagos* en Estados Unidos; la segunda, en su mayoría constituida por británicos, tiene un enfoque más estructural y tridimensional cuyas herramientas tienen una gran influencia de la cristalografía de rayos X y en particular la propuesta de Linus Pauling de la hélice  $\alpha$  como la forma que podían adquirir ciertas proteínas en su estructura; y en tercer lugar se encuentra una escuela francesa que se caracterizó por la utilización de la genética microbiana para explicar la regulación e interacción de los eventos que determina el gene. Al mismo tiempo secciona en tres periodos el transcurso desde la creación del primer *grupo de los fagos* hasta la institucionalización de la biología molecular en las principales universidades de Estados Unidos y Europa. Dichos periodos son; el periodo *romántico*, de 1935 a 1953, el periodo *dogmático* de 1953 a 1962, y el periodo *académico*, de 1962 en adelante.<sup>46</sup> Ana Barahona, en cambio, en su propósito de describir el origen y desarrollo de la ingeniería genética, va periodizando de acuerdo a una *agenda* de temas que es la que medianamente seguiremos a continuación, entre otras fuentes que se señalarán.



**Figura 11.** Bacteriófago en cuya cabeza reside su ADN cubierto por proteínas.

<sup>45</sup> *Ibidem*.

<sup>46</sup> Ondarza, Raúl N. (1994). *Biología Molecular. Antes y después de la doble hélice*. Editorial Siglo XXI. México, 1994. Aquí nos referimos al primer capítulo “¿Qué es y cómo nació la biología molecular?”, pero se puede seguir a detalle los autores y teorías enunciadas en esta sección, en un lenguaje medianamente técnico, en los capítulos del 1 al 6.

Un *fago* es la forma abreviada de decir *bacteriófago*, un tipo de virus que ataca especialmente a bacterias. Su constitución básica es ADN cubierto de proteínas. Después de que el virus se une a la bacteria, viene su multiplicación dentro de ésta y finalmente la liberación de los organismos producto de la reproducción mediante el rompimiento de la membrana celular de la bacteria. Principalmente en el periodo de 1935 a 1953, este proceso relativamente simple, fue utilizado como modelo para estudiar la

reproducción y la herencia. Dentro de los resultados y estudios importantes que ocurrieron en el mismo, se pueden señalar principalmente; a) los trabajos de Max Delbrück –una de las figuras centrales del grupo de los fagos y que había sido influenciado de una manera importante por la mecánica cuántica de Neils Bohr– y Emory Ellis sobre el ciclo de vida del fago y el proceso de lisis (ruptura de la membrana celular) no sólo como explicación sino como planteamiento de preguntas como líneas de trabajo futuras, b) los de, nuevamente, Delbrück, Alfred Hershey y Salvador Luria sobre la mutación genética en bacterias en donde uno de los problemas clave consiste en “saber cómo la materia viva hace para registrar y perpetuar su experiencia”<sup>47</sup>, c) los de Hotchkiss y Erwin Chargaff que mostraron un doble resultado en la cuantificación de las cuatro bases nitrogenadas del ADN (*adenina* [A], *timina* [T], *citocina* [C] y *guanina* [G]), a saber, que las proporciones en que se encontraban las cuatro eran diferentes, pero que a la vez la proporción de [A] era igual a la de [T] y la de [C] igual con la de [G] , y d) los trabajos de Alfred Hershey y Martha Chase que lograron diferenciar el papel del ADN y las proteínas de los fagos en el proceso de unión con la bacteria *marcando* radioactivamente cada uno y después de *licuarlos* encontraron que el único que se introducía a las células era el ADN y no las proteínas con lo que se mostraba que el responsable de la replicación y expresión genética era el ADN. De acuerdo a Ordanza, los estudios y resultados del grupo de los fagos permitieron cambiar el entendimiento de la genética de una concepción estática y mecanicista a una dinámica. Pero ahora se habrían nuevas preguntas: “¿Cómo el ADN se replica a sí mismo?, y después, ¿cómo se cataliza y dirige la síntesis de proteínas para la creación de nuevos fagos?”<sup>48</sup>

“Tan pronto se cerró el debate entre ADN y proteínas, inmediatamente surgió otra pregunta ¿cómo es la estructura del ADN? Cualquiera que fuera su estructura [...] la función del ADN dependía de ella.”<sup>49</sup> En parte por los resultados anteriores y por otro lado por la influencia de trabajos que permitían la difracción de rayos X a través de proteínas cristalizadas –y en particular por la *hélice  $\alpha$*  como una propuesta de estructura de algunas de las mismas por parte de Linus Pauling– varios trabajos llegaron de manera independiente a poder determinar la estructura del ADN.

---

<sup>47</sup> Ordanza. *op. cit.* página 25.

<sup>48</sup> *Ibidem.* Página 39.

<sup>49</sup> Kreuzer, *op. cit.* página 62.

Estos fueron los casos de Rosalind Franklin y Maurice Wilkins que lograron obtener fotografías de los patrones de difracción de ADN cristalizado y habían llegado a conclusiones equivalentes a las de James Watson y Francis Crick, que será el caso que mencionaremos

brevemente a continuación.<sup>50</sup>

Un dato de importancia es que los distintos trabajos fueron publicados en el mismo número de la revista *Nature* en 1953. Aún hoy en día, existen muchas opiniones encontradas respecto a la importancia de los trabajos de Rosalind Franklin y si fueron o no debidamente reconocidos.<sup>51</sup>



**Figura 12.** La “Foto 51” (izquierda) obtenida por difracción de Rayos X del sodio timonucleato presentada por Rosalind Franklin (derecha) en el # 171 de la revista *Nature* en 1953

En su artículo “Una estructura para el ácido desoxiribonucleico” Watson y Crick proponen que: “Esta estructura tiene dos cadenas helicoidales cada vuelta en torno al mismo eje [...] Las dos cadenas (pero no sus bases) se relacionan por una díada perpendicular al eje de la fibra. Ambas cadenas siguen una hélice dextrógira, pero debido a las díadas las secuencias de átomos en las dos cadenas corren en direcciones opuestas.” [...] “Hay un residuo sobre cada cadena cada  $3.4 \text{ \AA}^{52}$  en la dirección-z. Hemos asumido un ángulo de 36 grados entre residuos adyacentes en la misma cadena, para que la estructura se repita después de 10 residuos sobre cada cadena, esto es, después de  $34 \text{ \AA}$ ” y más adelante mencionan los pares que se forman entre sus bases nitrogenadas y la forma particular en que deben de formarlos: “la adenina (purínica) con timina (pirimidínica), y guanina (purínica) con citosina (pirimidínica). En otras palabras, si una adenina es uno de los miembros de un

<sup>50</sup> En el capítulo 3 de Ordanza *op. cit.* puede encontrarse un análisis detallado, tanto de las diferencias de procedimiento, tanto las diferencias a las conclusiones a las que cada uno de los equipos llega de manera independiente y en particular las diferencias entre Franklin y Wilkins respecto al equipo de Watson y Crick.

<sup>51</sup> Los brevísimos artículos pueden encontrarse en el archivo histórico de la revista *Nature* disponibles en línea. Los artículos de Watson y Crick, el de Wilkins y el de Rosalind Franklin están en la siguiente dirección:

<http://www.nature.com/nature/dna50/archive.html>

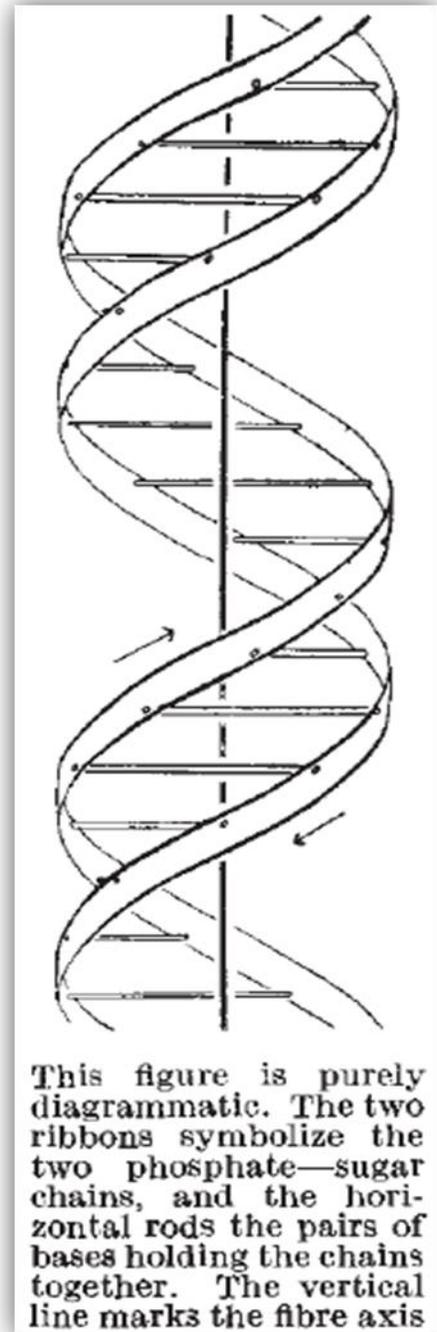
<sup>52</sup> Un ångström (Å) es una unidad de longitud empleada para medir distancias muy pequeñas ya que  $1 \text{ \AA} = 1 \text{ m} \times 10^{-10}$ , es decir 0.0000000001 metros.

par, sobre una cadena, entonces el otro miembro debe ser timina; algo similar ocurre para la guanina y la citosina. La sucesión de bases sobre una cadena única no parece estar restringida de ninguna forma. Sin embargo, si sólo pueden formarse determinados pares de bases, se sigue que conociendo la sucesión de bases sobre una de las cadenas, entonces la sucesión sobre la otra cadena queda determinada automáticamente.” [...] “no nos ha pasado desapercibido que el apareamiento específico que hemos postulado sugiere inmediatamente un mecanismo para copiar el material genético”.<sup>53</sup>

Entre otras cosas, el ARN se diferencia del ADN por tener uracilo [U] en lugar de timina [T], y sus enlaces son adenina con uracilo y guanina con citosina. En 1957 Francis Crick habría de proponer lo que después sería conocido como el *dogma central* de la biología molecular que describía el proceso de transcripción y traducción de la información genética:

ADN → ARN → Proteína

“Crick identificaba la primera fase como una copia de ARN a partir del ADN. El apareamiento complementario de las bases que habían desarrollado para el ADN, se aplicaba al ARN copiado de una banda del ADN [*proceso de transcripción*]” [...] “Este ARN transcrito se le llamó después ‘ARN mensajero’ (ARNm). Una vez que este ARNm se encontraba en el citoplasma celular, tenía que ser descifrado [*proceso de traducción*]” Además propuso la existencia de *adaptadores*, que



**Figura 13.** Ilustración original el artículo de Watson y Crick para la revista *Nature* de 1953

<sup>53</sup> Watson, James D. y Crick, Francis H. (1953). “A structure for Deoxyribose Nucleotic Acid”. En Revista *Nature*, número 171. Inglaterra, 25 de abril de 1953. Página 737. Una versión electrónica puede encontrarse en la siguiente dirección: <http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf>

estarían formados por ARN de transferencia (ARNt) que serían los encargados de llevar aminoácidos al ARNm durante la síntesis de proteínas. Este *dogma* tuvo que revisarse cuando se encontraron casos en los que la dirección podía correr de ARN → ADN. Entre 1958 y 1963, Francois Jacob, Jacques Monod y André Lwoff contribuyeron al proceso de entendimiento de la regulación genética de la síntesis de enzimas y virus, principalmente en lo que se puede sintetizar como la *teoría del operón*. “En esencia esta teoría sostiene que la elaboración de una enzima o proteína es ‘encendida’ cuando una sustancia represora es eliminada de un sitio que controla el operador; por lo tanto se dispara la transcripción del ADN en ARN”

Hasta aquí hay mucha información que explica gran parte del proceso, pero también deja sin respuesta algunas preguntas, en particular ¿cómo es que la secuencia de las bases nitrogenadas del ADN, en su transcripción y traducción, pueden generar cada uno de los 20 aminoácidos que conforman las proteínas?

George Gamow planteó teóricamente este problema, en una forma básica, a través de preguntar cuál es el número mínimo de bases en una secuencia para obtener combinaciones de 4 bases (A,C,T,G) que cifren 20 aminoácidos. El número mínimo es tres, ya que una secuencia de tres bases tomadas de 4 diferentes, producen 64 combinaciones. Este es el planteamiento base de lo que conocemos como *clave* o *código genético*. Después, el proceso de corroboración directa de qué combinaciones intervenían en qué aminoácidos fue un trabajo experimental principalmente de Marshall Nirenberg. Actualmente, el código de qué combinaciones de bases en secuencias de tres, llamadas *tripletes* o *codones*, puede resumirse de la siguiente forma:

### La clave genética. Las 64 combinaciones de bases y sus respectivos aminoácidos.

		2ª base					
		U	C	A	G		
1a base	U	UUU (Phe/F) Fenilalanina	UCU (Ser/S) Serina	UAU (Tyr/Y) Tirosina	UGU (Cys/C) Cisteína	U	3a base
		UUC (Phe/F) Fenilalanina	UCC (Ser/S) Serina	UAC (Tyr/Y) Tirosina	UGC (Cys/C) Cisteína	C	
		UUA (Leu/L) Leucina	UCA (Ser/S) Serina	UAA Parada	UGA Parada (Ópalo)	G	
		UUG (Leu/L) Leucina	UCG (Ser/S) Serina	UAG Parada	UGG (Trp/W) Triptófano	A	
	C	CUU (Leu/L) Leucina	CCU (Pro/P) Prolina	CAU (His/H) Histidina	CGU (Arg/R) Arginina	U	
		CUC (Leu/L) Leucina	CCC (Pro/P) Prolina	CAC (His/H) Histidina	CGC (Arg/R) Arginina	C	
		CUA (Leu/L) Leucina	CCA (Pro/P) Prolina	CAA (Gln/Q) Glutamina	CGA (Arg/R) Arginina	G	
		CUG (Leu/L) Leucina	CCG (Pro/P) Prolina	CAG (Gln/Q) Glutamina	CGG (Arg/R) Arginina	A	
	A	AUU (Ile/I) Isoleucina	ACU (Thr/T) Treonina	AAU (Asn/N) Asparagina	AGU (Ser/S) Serina	U	
		AUC (Ile/I) Isoleucina	ACC (Thr/T) Treonina	AAC (Asn/N) Asparagina	AGC (Ser/S) Serina	C	
		AUA (Ile/I) Isoleucina	ACA (Thr/T) Treonina	AAA (Lys/K) Lisina	AGA (Arg/R) Arginina	G	
		AUG (Met/M) Metionina	ACG (Thr/T) Treonina	AAG (Lys/K) Lisina	AGG (Arg/R) Arginina	A	
	G	GUU (Val/V) Valina	GCU (Ala/A) Alanina	GAU (Asp/D) Ácido aspártico	GGU (Gly/G) Glicina	U	
		GUC (Val/V) Valina	GCC (Ala/A) Alanina	GAC (Asp/D) Ácido aspártico	GGC (Gly/G) Glicina	C	
		GUA (Val/V) Valina	GCA (Ala/A) Alanina	GAA (Glu/E) Ácido glutámico	GGA (Gly/G) Glicina	G	
		GUG (Val/V) Valina	GCG (Ala/A) Alanina	GAG (Glu/E) Ácido glutámico	GGG (Gly/G) Glicina	A	

Fuente: Barahona, *op. cit.* página 20.

Lo descrito anteriormente, el proceso que va de ADN a proteínas, es la expresión de un gene, pero también existe un proceso de ADN → ADN conocido como replicación, que es el principal en lo que se refiere a la herencia. Básicamente, al romperse los enlaces de hidrógeno entre bases complementarias en una cadena molde, se obtienen dos mitades de cadena que servirán cada una para sintetizar una nueva cadena de ADN. Debido a las leyes de complementariedad entre las bases (A-T y G-C), un ADN llamado ADN polimerasa, se encargará de sintetizar la mitad complementaria a cada una añadiendo nucleótidos que

pueden ser encontrados de manera separada en el núcleo de la célula. Es por esta razón que se dice que una de las características de la replicación del ADN, es el ser *semiconservativa*, pero que finalmente debe llevar a dos copias idénticas a la primer cadena.<sup>54</sup>

Son muchas las líneas que podemos seguir en este recuento, pero debido a lo que aquí nos concierne, mencionaremos dos aspectos más, las enzimas de restricción y el ADN recombinante. En los años setenta del siglo pasado, se encontraron algunas enzimas llamadas de restricción debido a que no permitían la proliferación de algunos virus en determinados tipos de bacterias debido a que *cortaban* el ADN viral. Este comportamiento peculiar, derivaba del reconocimiento de determinada secuencia de bases en el ADN con las que interactuaba, resultando en el *rompimiento* de la cadena. Hamilton O. Smith logró aislar una de estas enzimas que generaba trozos de ADN después de cortarlo, a esta enzima la llamó *endonucleasa de restricción*. A la fecha se han reconocido más de 100 tipos de éstas. El complemento a este proceso es la intervención de una enzima llamada *ligasa*, que identifica los extremos de la cadena rota y puede unirlos conformando fragmentos nuevos de ADN, generando a su vez una inmensa variedad de formas posibles de enlazarlas de modo diferente. Si alguien desea obtener el cálculo, podría enunciarse de forma simple como cuál es la suma de las combinaciones de 100 fragmentos tomados en conjuntos de  $n$  por vez, y sólo por ponerlo en un número finito, cuando  $n$  va de 1 hasta 100 (pero nada indicaría que tendría por qué detenerse ahí...). Las endonucleasas reconocen secuencias de ADN de cualquier origen y cortan ahí donde encuentran ese patrón (o cercanamente a él), “la implicación de este descubrimiento es el hecho de que existen sitios idénticos, generalmente secuencias de entre cuatro a seis pares de bases en todos los ADN, desde los seres humanos, hasta las bacterias y los plásmidos que se localizan dentro de ellas.”<sup>55</sup> Estos descubrimientos permitieron la manipulación del ADN a nivel molecular, que es una de las características particulares y diferenciadas históricamente de la biotecnología de nuestros tiempos: la ingeniería genética.

---

<sup>54</sup> Hasta aquí se han omitido buena cantidad de detalles que pueden ser consultados en el libro de Ordanza, entre ellos, la diferencia entre cada uno de los procesos entre células eucariotas y procariotas, las distintas formas de la estructura de ADN como la “B” y la “Z” así como la especificación de los casos de estudio, es decir, qué procesos se obtuvieron de qué organismos, entre los que destaca el papel jugado por los estudios del *Escherichia Coli*, etc.

<sup>55</sup> Barahona, *op. cit.* página 21.

La recombinación de ADN sucede generalmente entre individuos de la misma especie, como es el caso de la reproducción sexual, pero también puede ocurrir entre distintas especies como en la transformación bacteriana o en la infección viral. En estos procesos, sin embargo, la recombinación de ADN ocurre aquí sin ser *dirigida*. “En el laboratorio, en cambio, se mueven secuencias específicas de ADN de organismos escogidos deliberadamente para obtener un producto específico; la utilidad de estas nuevas combinaciones de laboratorio está dada por los intereses humanos, ya sean comerciales, médicos u otros.”<sup>56</sup> Se



**Figura 14.** Los restos disecados de la oveja Dolly en el museo real de Escocia.

(aunque ésta última sea en de un uso más amplio que sólo el clínico), la de la cadena *antisentido*, la de los oligodesoxinucleótidos, o la de la transferencia nuclear, que en 1997 llevó a la clonación del primer mamífero a partir de una célula adulta: la oveja Dolly.

Las aplicaciones de la biotecnología recorren campos desde los mencionados hacia el inicio de esta sección, pero también campos controversiales como el de los organismos genéticamente modificados o el de la clonación. El panorama se vuelve más complejo cuando estas tecnologías se aplican ya no sólo en especies diferentes a los humanos. En 1990 se aprobó el Proyecto Genoma Humano con un financiamiento de \$90,000 millones de dólares para que en 15 años se pudiera mapear todo el genoma humano: “El *Proyecto Genoma Humano* [...] es un esfuerzo internacional por mapear cada gene en el cuerpo humano” [...] “Todos los genes aparecen en el mismo orden en cada cromosoma humano.

<sup>56</sup> *Ibidem*.

Cerca del 99% de de los genes humanos son los mismos de persona a persona” [...] “El *genoma* humano es un mapa completo de todos los genes en la especie humana”<sup>57</sup>. El proyecto terminó dos años antes de lo previsto, en 2003, mostrando el total de los 20, 500 genes (aproximadamente unos 73,600 millones de pares de bases nitrogenadas), cuyo cómputo se realizó principalmente en Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda y Gran Bretaña. Al frente del proyecto estuvo James D. Watson, el mismo que junto a Francis Crick propuso el modelo estructural del ADN. Sin embargo no fue el único intento, por mencionar sólo uno de los públicos, la empresa *Celera Genomics* se fundó en 1998 con el propósito de mapear el genoma completo en sólo 3 años. A pesar del plan, el Proyecto Genoma Humano terminó antes que el resto de quienes se proponían lo mismo. Cuando el genoma se hizo público, paralelamente se hicieron varios acuerdos públicos para declarar el genoma patrimonio de la humanidad.

Pero a pesar de dichos acuerdos, nada impidió que a la vez comenzaran a suceder actos de discriminación genética, como por ejemplo, los que protagonizarían el propio James Watson, al referirse a África diciendo que: “Nuestras políticas sociales se basan en el hecho de que su inteligencia (de los negros) es la misma que la nuestra (de los blancos occidentales), mientras todos los estudios dicen que no es realmente así”. Declaraciones por las cuales se tuvo que disculpar públicamente y renunciar a su puesto como presidente de los laboratorios *Cold Spring Harbor*.<sup>58</sup> Todas estas posiciones han recibido fuertes críticas, no sólo por las implicaciones políticas que puedan tener, sino desde la misma biología, ya que incluso la concepción de *raza* que reside en la base de las mismas es totalmente controvertible.<sup>59</sup>

---

<sup>57</sup> McPhee, Andy (2002). A Student's guide to biotechnology. Volume 3. The History of Biotechnology. Greenwood Press. Estados Unidos, 2002. Página 100.

<sup>58</sup> AFP, nota “Indigna a científicos de EU actitud ‘racista’ de premio Nobel de Medicina” en Periódico La Jornada. México, viernes 19 de octubre de 2007. Y Steven Connor, nota “Suspenden de su cargo a James Watson; cancela gira por GB” traducción de Jorge Anaya. En periódico La Jornada. Sábado 20 de octubre de 2007.

<sup>59</sup> En contraposición con el argumento del ADN determinista que usa Watson para las afirmaciones antes citadas, se puede poner por ejemplo, el hecho de que el cambio en las poblaciones, y en este caso particularmente humanas, ocurre como un efecto combinado de al menos tres procesos; la mutación, la deriva génica, la selección natural y la migración. Dichos efectos, sin embargo, no aterrizan en ninguna forma a poder afirmar que elementos como el color de piel sean determinantes y menos aún para una supuesta clasificación de los seres humanos en forma lineal (Jardón Barbolla, Lev (2009) “La evolución y la historia humana” en Muñoz Rubio, Julio. Contra el oscurantismo; defensa de la laicidad, la educación sexual y el evolucionismo. Editado por el CEIICH de la UNAM ). En este sentido las afirmaciones de Watson, aún viniendo de un premio Nobel, no dejan de ser otra cosa que sólo ideología. Pero además existe una afirmación un tanto más sutil que puede ser aún más engañosa, el hecho de que la inteligencia sea algo parecido a una entidad singular y que además existen genes que la determinan y que por otro lado, tienen además una relación en sí, con el color de piel.

Para finalizar esta sección, mencionaremos que de acuerdo a las diversas fuentes consultadas para realizar esta cronología, hay una coincidencia relevante respecto al trabajo de Erwin Schrödinger en su libro *¿Qué es la vida?* como influencia del papel que juega la física y la química en la comprensión de los fenómenos biológicos. En su obra de 1944, él pregunta sobre cómo pueden los hechos que tienen lugar dentro del ámbito espacial y en el tiempo de un organismo vivo ser explicados por la física y la química, sobre cuál es la estructura física de las moléculas que se duplican cuando se dividen los cromosomas y cómo retienen su individualidad de generación en generación, y cómo crean la organización que es visible en la estructura y función de los organismos superiores<sup>60</sup>. Sin duda, toda esta serie de preguntas tuvo un peso muy influyente respecto a *incógnitas guía* en la agenda de investigación de la naciente biología molecular

Podemos ver así, que en ese transcurso, el cambio *de escala* se convirtió en cambio *de modo* respecto a cómo estudiar, entender y manipular *lo vivo*, principalmente en lo que respecta a las macromoléculas biológicas. Steven Rose, describe a este proceso como un *determinismo biológico* que se sustentó en un *reduccionismo* como aproximación metodológica.<sup>61</sup> Esta concepción se acentuó a partir de los años sesenta del siglo pasado cuando, coincidiendo con el periodo descrito, la biología tiende a *institucionalizarse* más y a tener una relación mayor con el mercado. Podríamos ir ahora un paso más allá en la descripción del *programa reduccionista*. Los componentes moleculares tienen a su vez una estructura a nivel atómico, por ejemplo, cada una de las bases nitrogenadas es a su vez un arreglo de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno y sus diversos enlaces. Si la transformación que implicó la tendencia hacia la *molecularización* de la biología trajo consigo tantas consecuencias en tan diversos sentidos ¿Qué pasaría si ahora el *estudio, entendimiento y manipulación* ocurriera en escala atómica, esto es, si pudiera controlarse la materia *átomo por átomo*, transformando incluso sus *ladrillos* fundamentales?

---

<sup>60</sup> Citado a su vez en Ordanza, *op. cit.* página 29. Se puede encontrar una traducción del libro completo en línea en el sitio de la Universidad de Salamanca: Schrödinger, Erwin (1944). *Qué es la vida*. Traducción al español disponible a través de la dirección: <http://campus.usal.es/~licesio/Biofisica/QEV.pdf>

<sup>61</sup> Un análisis detallado de dicho reduccionismo, al que por cierto regresaremos en el capítulo tercero de esta tesis, se encuentra en el capítulo “Biology, freedom and determinism” y en el capítulo “the poverty of reductionism” de: Rose, Steven (1997). *Lifelines. Biology, freedom and determinism*. Editorial Penguin Books. Inglaterra 1997.

#### 1.1.4. Nano. Nanotecnología como llave para la convergencia NBIC.

De acuerdo a la Red de Grupos de Investigación en Nanociencias (*REGINA*) de la UNAM: “El proceso de entender los nuevos fenómenos existentes, así como la predicción de propiedades novedosas en sistemas nanométricos constituyen los objetivos principales de lo que conocemos actualmente como Nanociencia.

“Por otro lado, la aplicación de los conocimientos básicos generados por la Nanociencia a la solución de problemas específicos o a la generación de nuevos dispositivos de utilidad diversa es la tarea fundamental de la Nanotecnología.”<sup>62</sup>

De la primera definición –sobre Nanociencia– tenemos tanto su propósito como su objeto de estudio. Sin embargo, parecería redundante si no aclaramos a qué se refiere el término “sistemas nanométricos”. La característica esencial reside en que dichos sistemas solamente se encuentran delimitados por su *escala*, es decir, por su tamaño. Un nanómetro (*nm*) es la mil millonésima parte de un metro, es decir  $1/1,000,000,000$  metros o también se puede expresar como  $1 \times 10^{-9}$  metros. La convención general es que los sistemas nanométricos son aquellos que se encuentran en el rango de aproximadamente 1 a 100 nm.

Para darnos una idea de qué hay en esa escala podemos decir, como ejemplo, que entre las medidas que se generaron por los científicos para denominar aquello que es muy pequeño está el ångström (Å) que es una unidad de longitud igual a la de un átomo de hidrógeno, esto es  $1 \text{ Å} = 1 \text{ m} \times 10^{-10}$ , por lo que 10 átomos de hidrógeno alineados uno tras otro, miden 1 nm. Por otro lado, si recordamos el modelo propuesto por Watson y Crick, en el que la distancia entre los pares de bases del ADN era de aproximadamente 3.4 Å, tenemos que un triplete (conjunto de 3 bases) mide aproximadamente 1nm, mientras que los procesos de síntesis del ADN ocurren a una escala de poco más de 100 nm. Otro ejemplo que puede comenzar a rompernos el sentido común es que el *tamaño* más pequeño de la onda de luz que el ojo humano puede percibir mide aproximadamente 500 nm.

La cantidad de procesos que se pueden estudiar en ese rango son de una diversidad enorme y no se delimitan a una sola rama de la ciencia. Imaginemos por contraparte que

---

<sup>62</sup> Sección “Presentación/Introducción a la Nanociencia” del sitio web REGINA:  
<http://www.nano.unam.mx/index.php?option=content&task=view&id=2&Itemid=2>

existiera una disciplina análoga, que se encarga de estudiar *todo* lo que ocurre en el rango de escala aproximado de entre 1 a 100 metros... El resultado sería igualmente que no podría ser estudiado por una sola rama de la ciencia y es enorme la cantidad de procesos que suceden delimitados así, empezando por mencionar que los seres humanos en conjunto nos encontraríamos en tal clasificación. Ahora bien, para darnos idea acerca de las proporciones entre metros y nanómetros, utilizaremos una ilustración de lo que se conoce como espectro electromagnético (ver Figura 15).

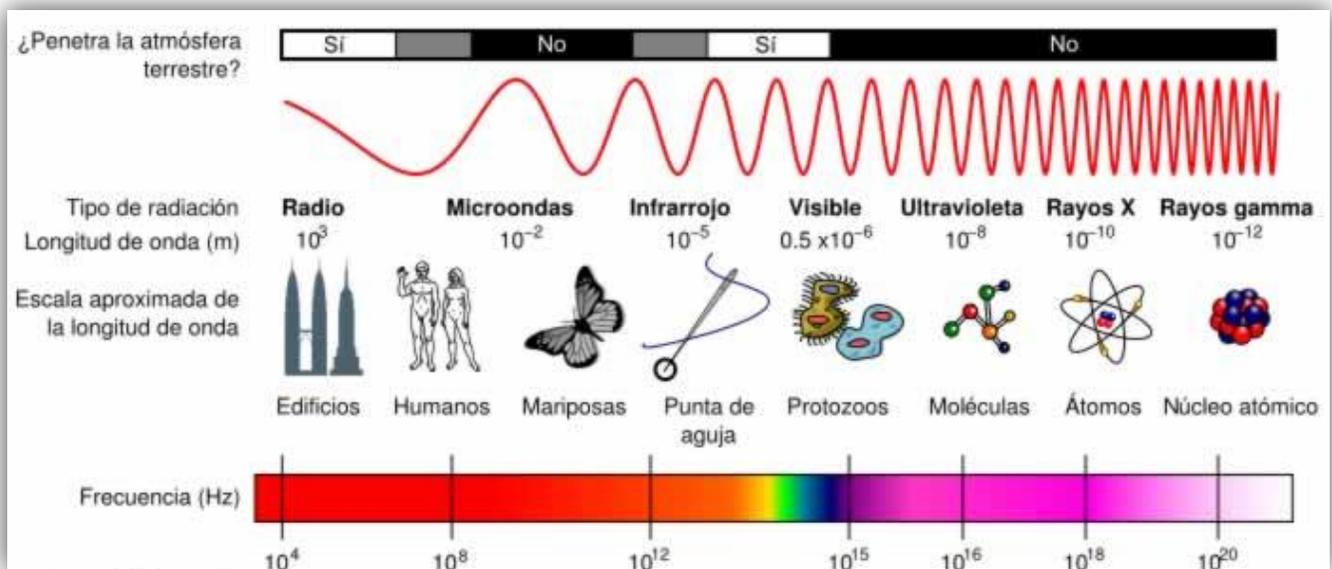


Figura 15. Ilustración del espectro electromagnético en Wikimedia Commons

Básicamente, tanto la luz que vemos como las microondas de los hornos, tanto los rayos X de las radiografías como aquellas por las que se transmite la *radio*, son comunes por el hecho de ser *ondas*. La diferencia principal es la distancia entre cresta y cresta (longitud de onda); si es tanto como 100 metros, entonces es una onda de radio, si es tanto como 1 centímetro, entonces son *microondas*, si es 100 veces más pequeña que la anterior, entonces es *infrarrojo*, y así sucesivamente como se muestra en la Figura 16. De aquí podemos obtener algunos otros casos para comenzar a pensar que las escalas son importantes. Para ver un objeto, generalmente vemos en realidad la luz que por decirlo de algún modo, *rebota* en ellos. Es por estas razones, que no hay alguien que haya “visto” un átomo en el sentido clásico del término, el fotón es mucho más grande...es tanto como

aventarle una pelota de playa a una bolita de unicel.

Pues bien, debido a que debemos manejar medidas muy pequeñas, las mismas se expresan como una décima [ $1/10$ ], una centésima [ $1/(10 \times 10)$ ], una milésima [ $1/(10 \times 10 \times 10)$  ó  $1/(10^3)$ ], una diez milésima ( $1/(10^4)$ ) parte de metro, etc., y debido a que cada una de estas fracciones también se pueden representar como un *exponente negativo*, éstas medidas muy pequeñas también pueden escribirse como “ $1 \times 10^{-x}$ ”, conocida como *notación exponencial*, donde  $x$  es un número entero, que cada vez que varía en una unidad, se dice que ha cambiado *en un orden de magnitud*. De este modo podemos decir que las microondas son dos órdenes de magnitud menores que los humanos, que el infrarrojo es dos órdenes de magnitud menor que las primeras (ver figura 16), o que un edificio de 8 pisos es (aproximadamente) un orden de magnitud mayor que un humano. Ahora bien, un nanómetro es 9 órdenes de magnitud menor que los humanos, ésta proporción sería la que guardaría el edificio del ejemplo anterior respecto a nuestro planeta. Con esto podemos empezar a pensar en la importancia de las proporciones entre magnitudes, que es una condición necesaria para que entendamos en qué consiste la nanotecnología.

Para ir un poco más allá, nos permitiremos señalar algunos de los puntos importantes sobre el desarrollo de la nanotecnología de una manera diferente a las secciones anteriores. Comentaremos un artículo consistente en la transcripción de una conferencia visionaria respecto a la nanotecnología que tuvo lugar hace ya 50 años pero que, extraordinariamente, aborda los puntos más importantes que se desarrollan al respecto en la actualidad. Paralelamente a la mención de dichas temáticas en el artículo, mencionaremos cómo fueron y han sido afrontadas en el desarrollo tecnológico.

Antes de continuar es necesario recordar algunas consideraciones del contexto temporal descrito en secciones anteriores. Durante los 30's a 50's; la neurociencia conductual construía su referente a partir del proceso en que las redes neuronales se reforzaban con el uso, conocido como el principio de Hebb (o síntesis hebbianas); con los referentes de Gödel y Turing se habían dado bases teóricas sólidas a la ciencia de la computación y a la teoría de la información de Shannon, además de que estos procesos comenzaron a ser implementados a partir de un sistema binario por presencia y ausencia de carga recibiendo influencia a su vez de la teoría neuronal; los diseñadores de dispositivos de

cómputo impulsados por la segunda guerra mundial habían logrado elevar su potencia y disminuir su tamaño, primero con los bulbos y luego a partir de los transistores; en 1948 nace la cibernética con Wiener con el *servomecanismo* y el concepto de *realimentación (feedback)* como centro, además de que Von Neuman describe formalmente la *Teoría de Autómatas*; mientras tanto, en la biología molecular se había ya enfocado como centro del proceso genético al ADN, se había encontrado su estructura y formulado el *dogma central* ADN→ARN→Proteína y se buscaba la *clave genética*. Es importante tomar en cuenta estos elementos abordados anteriormente porque se irán entrelazando en adelante.

El 29 de diciembre de 1959 el físico Richard Feynman –Premio Nobel de física en 1965 y ex colaborador del proyecto Manhattan, además de ser el mismo de quien hablamos respecto a la computación cuántica– impartió una plática en el Instituto Tecnológico de California (Caltech), que en español llevaría por título algo así como “Al fondo hay espacio de sobra. Una invitación a entrar en un nuevo campo de la física.”<sup>63</sup> Feynman planteó en una forma muy general *el problema de manipular y controlar cosas en una escala pequeña*.

Con un sentido un tanto lúdico que caracteriza la mayoría de sus artículos en los que plantea campos aún inexplorados, comienza platicando acerca de algunas situaciones en las que había escuchado respecto al avance tecnológico en el campo de la miniaturización. Que entre los productos del mercado había cosas como un motor eléctrico del tamaño de una uña o un dispositivo con el que se podía escribir el *padre nuestro* en la cabeza de un alfiler, a lo que él pregunta ironizando ¿por qué no escribir los 24 volúmenes de la enciclopedia británica? La proporción entre la superficie del alfiler y el total de las hojas que componen la enciclopedia británica es de 1 a 25,000 por lo que para lograrlo debería de reducirse en 25,000 veces el tamaño de escritura. El punto más pequeño que distingue el ojo humano, si lo reducimos en 25,000 veces sigue midiendo unos 80 Å de diámetro (aproximadamente unos 1,000 átomos dentro de tal área) por lo que Feynman afirma que en la cabeza de un alfiler seguro sí *hay espacio de sobra*.

Después comienza a jugar con la idea de cómo debería de ser la forma en que pudiéramos escribirlo, una de ellas es el método de evaporización y el otro es a través de

---

<sup>63</sup> Feynman, Richard P. (1959) “There's Plenty of Room at the Bottom. An invitation to enter a new field of physics” en la Revista *Engineering and Science*. California Institute of Technology. Estados Unidos, 1960. Esta misma conferencia puede ser consultada libremente en internet, por ejemplo, a través de la dirección: [www.zyvex.com/nanotech/feynman.html](http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html)

*inyectar* luz en una película fotosensible por medio de un *microscopio a la inversa*. La primera podría generar letras de metal en alto relieve sobre una superficie plástica, y la segunda podría además utilizar propiedades del electrón para hacer arreglos sobre la materia estimulada a través de luz. Lo cual de paso permitiría tener letras de una resolución capaz de ser leída por los microscopios electrónicos de mediados del siglo pasado. Ahora bien, si fuesen posibles los 24 volúmenes de la enciclopedia británica, ¿por qué no unos 24 millones de volúmenes de la biblioteca del congreso de los Estados Unidos, la del museo británico, la Biblioteca Nacional de Francia y otras igual de importantes juntas (omitiendo repetidos)? Si eso se escribiese en superficies de cabezas de alfileres, entonces cabría en poco menos de 2 metros cuadrados.

Y aunque es sólo un juego, Feynman comienza a especular un poco más. Dado que cada carácter son unos 8 bits de información, qué tal si en vez de hacer caracteres, esos bits se cifran de acuerdo a cada tipo de átomo, átomos de distintos metales por ejemplo. El resultado es que el contenido de todos esos libros cabría en un pequeño cubo de algo así como ¡una milésima de centímetro de lado! (“¡No me cuenten del microfilm!”, termina diciendo). Luego comenta que no es una ocurrencia fortuita, porque de hecho, es bien conocido por los biólogos en la respuesta a la pregunta de cómo en una célula cabe tanta información sobre el funcionamiento y organización de los organismos, incluso tan complejos como nosotros mismos, y la respuesta está en la cadena de ADN.

Pero aquí él encuentra varias limitaciones, a ese nivel, los microscopios electrónicos (de ese entonces) no tienen la resolución suficiente, por lo que no basta con una mejora, sino con un cambio total de diseño para obtener microscopios unas 100 veces más potentes para poder obtener información precisa de lo que ocurre en esa escala.<sup>64</sup> De hecho va más allá diciendo que a pesar de que los avances más grandes de que él tenga conocimiento en cualquier campo de las ciencias estaban ocurriendo en la biología, sus grandes problemas a resolver –¿cómo son las secuencias en el ADN y cómo intervienen en la generación de los aminoácidos de las proteínas (*clave genética*)? ¿Cómo interviene la clorofila en la

---

<sup>64</sup> “The electron microscope is not quite good enough, with the greatest care and effort, it can only resolve about 10 angstroms. I would like to try and impress upon you while I am talking about all of these things on a small scale, the importance of improving the electron microscope by a hundred times. It is not impossible; it is not against the laws of diffraction of the electron. The wave length of the electron in such a microscope is only 1/20 of an angstrom. So it should be possible to see the individual atoms. What good would it be to see individual atoms distinctly?” Feynman, *op.cit.* página 4.

fotosíntesis?, etc. – podían ser resueltos simplemente mirándolos, obviamente, en la escala de los átomos (aunque dicho sea de paso, actualmente es posible *verlos* en tal resolución, sin embargo los procesos son más complejos de lo que se enuncian).

De hecho, la generación de estos microscopios constituyó uno de los primeros campos en el desarrollo nanotecnológico, y durante los primeros años buena parte de la investigación se dedicó a mejorar este punto. Gerd Binnig y Henrich Rohrer desarrollaron el Microscopio de barrido de túnel (*Scanning Tunneling Microscope STM*) en un laboratorio de IBM en Zurich. El 10 de agosto de 1982, IBM obtuvo la patente # 4,343,993 en EUA por dicha invención. Mientras que ambos investigadores fueron galardonados con el premio nobel de física en 1986.

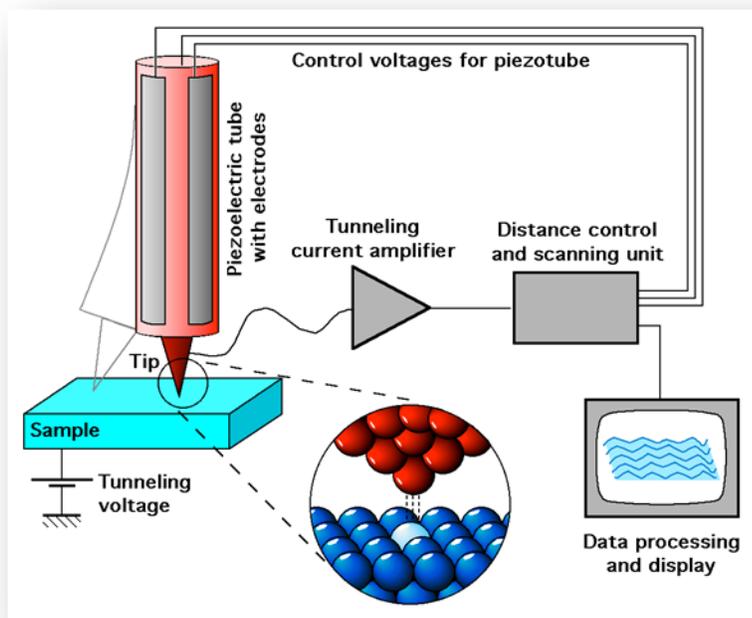


Figura 16. Esquema de funcionamiento de un STM.

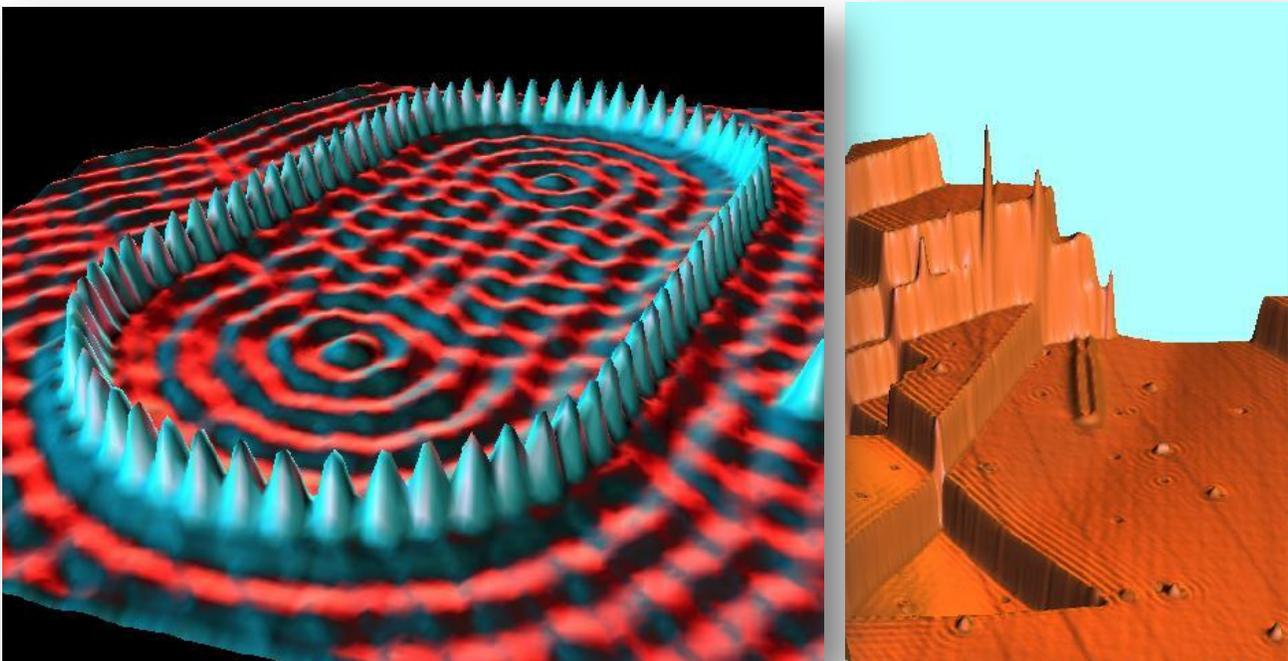
De forma básica, los STM funcionan poniendo una muestra entre una superficie conductora y una aguja que realiza un barrido por dicha superficie, lo que se mide son las alteraciones de las trayectorias del electrón,<sup>65 66</sup> tales variaciones son amplificadas y llevadas a una unidad de procesamiento para ser transformadas en una imagen digitalizada en 3D. En condiciones ideales, la punta que se encarga de barrer la

superficie a examinar debe tener sólo un átomo. Generalmente se utilizaba el wolframio como material para fabricar dichas puntas. De tal modo pueden generarse *imágenes* con

<sup>65</sup> Grupo ETC (2003). La Inmensidad de lo mínimo. De los genomas a los átomos. Páginas 16 y 17. Disponible en: [www.etcgruop.org/es/](http://www.etcgruop.org/es/)

<sup>66</sup> Atendiendo un poco más al detalle, no son las variaciones de su *trayectoria* tanto como medir la intensidad eléctrica generada a partir de que un electrón *atraviesa* una barrera de potencial a partir de la extensión de la *nube de probabilidad* de su posición, en este caso, hacia el otro extremo.

precisión pertinente a escala atómica (ver figura 17). Poder observar y medir lo que ocurría abrió un panorama gigantesco en la configuración de la nano-tecnología actual. Principalmente podríamos decir que la invención de los STM generó a su vez 3 campos de acción: La microscopía con resolución atómica en sí, la exploración de dominios magnéticos en la misma escala (en vez de medir lo que ocurre con la electricidad, se puede analizar lo que concierne al campo magnético) y, la Nanolitografía, que más adelante abordaremos a en qué consiste. A partir de los STM pueden generarse imágenes como las mostradas a continuación en la Figura 17. Ambas fueron obtenidas de la “STM gallery” de los laboratorios Almaden de IBM<sup>67</sup>.



**Figura 17.** Imágenes de la “STM gallery” de los laboratorios Almaden de IBM. “Quantum Corral” (izquierda). “A Copper Perspective” (derecha).

En las imágenes generadas con los STM puestas como ejemplo, puede apreciarse del lado derecho un arreglo de 48 átomos de hierro puestos en un arreglo a modo de corral para encerrar dos electrones. Lo peculiar de dicho corral es el comportamiento de los electrones, ya que se pudo observar que no seguían lo esperado por la mecánica clásica. A la derecha

<sup>67</sup> IBM Research – Almaden, es uno de los 8 laboratorios que IBM tiene a nivel mundial. La galería de Imágenes puede encontrarse a través de la dirección: <http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/gallery.html>

está una perspectiva del cobre “con reminiscencias de los jardines de roca japoneses”. Las ondas en la superficie son provocadas cuando un electrón que puede rondar por la superficie pero no penetrar el sólido, choca con un obstáculo. La longitud de onda (distancia entre cresta y cresta) es de aproximadamente unos 15 Å.

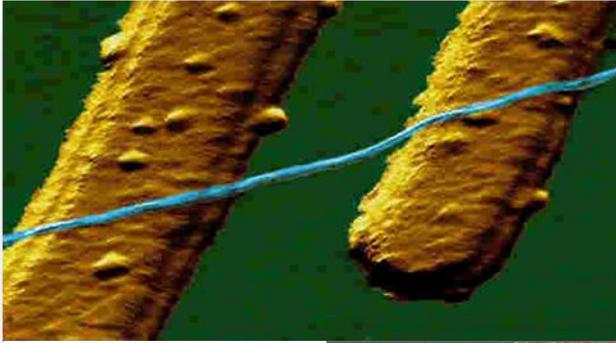
De vuelta a la plática de Feynman, él insiste en el tema del ADN, ya que aclara que una de las maravillas de los sistemas biológicos es que no solamente escriben o almacenan información en esa escala, sino que *hacen algo* con ello, y entonces lanza una idea muy importante: “Consideren la posibilidad de que nosotros también pudiéramos hacer cosas muy pequeñas que hicieran lo que nosotros quisiéramos, que pudiéramos manufacturar un objeto que maniobrara a ese nivel”.<sup>68</sup>

Casi sin que sea notorio, Feynman ha llevado la plática del juego a la exploración de un nuevo campo en la física. Por otro lado, si fuese posible el control en esa escala, la capacidad para procesar información también tendría una transformación. El autor comenta que la mayoría de quienes se encuentran en el campo de la ciencia de la computación, concuerdan en que si fuera posible que las computadoras realizaran una cantidad aún mayor de cálculos que los que le eran posibles en ese momento, entonces se les abriría el paso a poder realizar operaciones mucho más complicadas e incluso juicios, pero que dado el tamaño que tienen, tendrían que aumentarse aún más las proporciones que guardaban. A esta problemática se plantea, y por qué no hacerlas más pequeñas, con transistores que pudiesen ocupar componentes con apenas unos átomos de magnitud, de esa forma, la capacidad de llevar a cabo cálculos en base a transistores podría ser posible en espacios muy pequeños.<sup>69</sup>

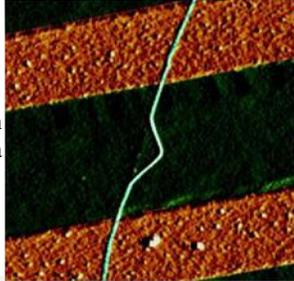
---

<sup>68</sup> “The biological example of writing information on a small scale has inspired me to think of something that should be possible. Biology is not simply writing information; it is doing something about it. A biological system can be exceedingly small. Many of the cells are very tiny, but they are very active; they manufacture various substances; they walk around; they wiggle; and they do all kinds of marvelous things---all on a very small scale. Also, they store information. Consider the possibility that we too can make a thing very small which does what we want---that we can manufacture an object that maneuvers at that level!”. Feynman, *op.cit.* página 6.

<sup>69</sup> “I don't know how to do this on a small scale in a practical way, but I do know that computing machines are very large; they fill rooms. Why can't we make them very small, make them of little wires, little elements---and by little, I mean little. For instance, the wires should be 10 or 100 atoms in diameter, and the circuits should be a few thousand angstroms across. Everybody who has analyzed the logical theory of computers has come to the conclusion that the possibilities of computers are very interesting---if they could be made to be more complicated by several orders of magnitude. If they had millions of times as many elements, they could make judgments. They would have time to calculate what is the best way to make the calculation that they are about to make. They could select the method of analysis which, from their experience, is better than the one that we would give to them. And in many other ways, they would have new qualitative features.”



**Figura 18.** Cable de nanotubo de carbón (azul) sobre diodos de platino (café) en una superficie aislante de dióxido de silicio (verde) (arriba). Doblez en cable de nanotubo de carbón para modular el paso de electrones entre los electrodos de metal que tienen 250 nm de ancho (derecha).



En 1998 Cees Dekker, profesor de la Delft University of Technology logró generar el primer transistor a partir de cables que tenían apenas unos nanómetros de diámetro (ver figura 18).<sup>70</sup> Esto puede ser abordado en dos sentidos, por un lado la implicación respecto a la miniaturización de los transistores que conforman los microprocesadores de las computadoras que usamos actualmente. Pero también puede interpretarse en otra dirección, que es en la medida de diseñar en esa escala

una forma diferente de hacerlas funcionar.

En la sección sobre ciencia de la computación mencionamos que uno de los campos de investigación y experimentación de hoy en día es la computación cuántica y hablamos del concepto del *qubit*. Otro de los elementos importantes para hacer funcionar una computadora cuántica es algo que se llama *punto cuántico*, que “es una región minúscula de material metálico o semiconductor, cuyas dimensiones pueden ser tan pequeñas que apenas miden unas decenas de nanómetros por lado y contienen una pequeña cantidad de electrones atrapados en su interior”.<sup>71</sup> Entre otras posibilidades, para este propósito se ha contemplado el uso de estructuras similares a un corral como el que se mostró en la figura 18.

En el artículo de Feynman, otro de los temas abordados es el de la miniaturización de las computadoras y los dispositivos que podrían trabajar en escala muy pequeña, pero eso más que dar una respuesta, plantea la pregunta de cómo pueden construirse tales dispositivos, es decir ¿cómo fabricar, por ejemplo, esos minitransistores? Y la respuesta es

<sup>70</sup> Dekker, Cees (1999). “Carbon nanotubes and molecular quantum wires”. En la revista *Physics Today*, del American Institute of Physics. Estados Unidos, Mayo de 1999. Disponible en línea a través de la página del EECS de la Universidad de Berkeley: “<http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~ee230/sp08/dekker%20nanotube%20quantum%20wires%20phys%20today%201999.pdf>”

<sup>71</sup> Arriola, Verónica E. op. cit. página 73.

un tanto característica de lo que aquí se ha planteado; una respuesta sencilla pero que implica un enorme reto: con micromáquinas. Pero antes de entrar en detalles, Feynman observa algunas de las dificultades técnicas de poder construir dispositivos de tal tamaño, ya que en una escala muy pequeña, tanto la resistencia, como la fuerza e inercia se comportan en distinta forma a como ocurre en la escala en que actuamos normalmente, y no sólo, ya que también la elección de los materiales utilizados para su construcción importan. Por ejemplo, cuando se observa lo asombrosamente diminuto, los metales son granulados, y en cambio el vidrio o el plástico son un tanto más uniformes, por lo que podrían representar una materia prima mejor para construir una máquina.

Actualmente, a este camino de la miniaturización se le conoce con el nombre del *método top-down*. Su limitación principal es qué tanto las cosas que están diseñadas en nuestra escala, pueden ser funcionales cuando se les intenta hacer más y más pequeñas. Por ejemplo, un automóvil es una máquina que puede funcionar muy bien a nuestra escala, pero ¿qué tan chico puede hacerse un motor de combustión interna? Ya no solamente por la cuestión de los materiales adecuados, sino en sí, por el comportamiento de la materia en esa escala: “Existe el problema de que los materiales se adhieran por atracción molecular (Van der Waals). Podría ser así: después de haber hecho una parte y desenroscar la tuerca de un tornillo, no se va a caer porque la gravedad no es apreciable, podría ser incluso difícil deshacerse del tornillo.”<sup>72</sup>

Una cuestión central nace precisamente de la exploración de las condiciones que limitan la miniaturización. El hecho de que precisamente sea la forma de aproximación la que tope en cierta escala con dificultades en el comportamiento de la materia. Dicha cuestión es preguntarse qué pasaría si se siguiese un sentido inverso al planteado, en lugar de ir de *arriba hacia abajo* (método *top-down*), se comenzase de *abajo hacia arriba* (a esta forma se le conoce como *botton-up*): “qué pasaría si pudiéramos acomodar los átomos uno por uno en la forma en que los quisiéramos”.<sup>73</sup> Entre muchas otras cosas se pregunta por ejemplo ¿qué

---

<sup>72</sup> “There is the problem that materials stick together by the molecular (Van der Waals) attractions. It would be like this: After you have made a part and you unscrew the nut from a bolt, it isn't going to fall down because the gravity isn't appreciable; it would even be hard to get it off the bolt.” Feynman *op. cit.* página 10.

<sup>73</sup> “But I am not afraid to consider the final question as to whether, ultimately---in the great future---we can arrange the atoms the way we want; the very atoms, all the way down! What would happen if we could arrange the atoms one by one the way we want them (within reason, of course; you can't put them so that they are chemically unstable, for example).” *Ibid.* página 11.

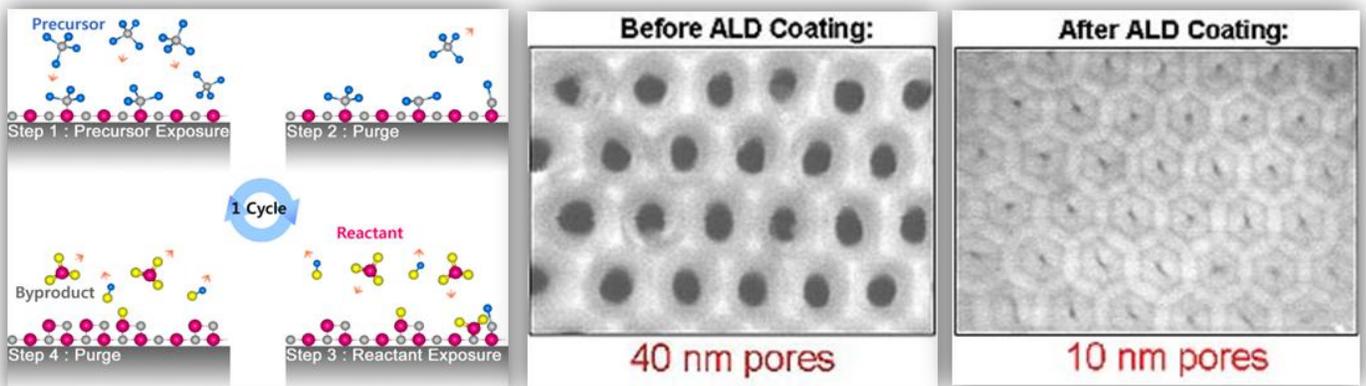
se podría hacer con materiales que tuviesen justo las capas necesarias? ¿cuáles podrían ser las propiedades de los materiales si realmente pudiéramos arreglarlos átomo por átomo? Y aunque afirma que sería muy interesante investigarlo teóricamente, apenas puede dudar de que cuando se pueda tener un cierto control sobre el acomodo de la materia en esa escala, se abrirá un enorme rango de posibles propiedades que las sustancias puedan tener así como lo que podríamos hacer con ellas.<sup>74</sup>

Hasta aquí podemos hacer mención de algunos elementos acerca de cómo estos aspectos se desarrollaron tiempo después. En 1974 Tuomo Suntola desarrolló un proceso llamado deposición de capa atómica (*atomic layer deposition ALD*) por medio del cual se puede depositar sobre una superficie una capa muy delgada de determinado material y enseguida una segunda capa de otro material, con lo que pueden en cierta medida conjugarse las de ambas para dar paso a una estructura que permita combinar las propiedades de una y de otra. El procedimiento es básicamente de la siguiente forma: una superficie es expuesta a un gas llamado *precursor*, que puede reaccionar químicamente con dicha superficie y después se somete a un proceso de limpieza del material que no reaccionó por no permanecer en contacto con la misma, después se expone a un segundo precursor que puede ser dirigido a reaccionar con el primero y nuevamente se somete a una limpieza del sobrante y así sucesivamente. Las ventajas que reporta este método es que la capa que se va formando tiene exactamente el grosor de un átomo del material que se hizo reaccionar, además de que permite hacer una capa sobre objetos de cualquier forma, ya que la capa se forma tras la reacción del gas con el material de la superficie. Sólo por mostrar un ejemplo, ésta técnica es utilizada en el laboratorio nacional Argonne de los Estados Unidos para el mejoramiento de las celdas solares y de las tecnologías lumínicas en base a LED's.<sup>75</sup>

---

<sup>74</sup> “What could we do with layered structures with just the right layers? What would the properties of materials be if we could really arrange the atoms the way we want them? They would be very interesting to investigate theoretically. I can't see exactly what would happen, but I can hardly doubt that when we have some control of the arrangement of things on a small scale we will get an enormously greater range of possible properties that substances can have, and of different things that we can do.” *Ibidem* página 11.

<sup>75</sup> Argonne National Laboratory. Nota “Atomic layer deposition fuels future solutions to nation's energy challenges”. En la página del laboratorio Nacional Argonne del Departamento de Energía y la Universidad de Chicago. Estados Unidos, 2007. Disponible a través de su portal en la dirección: [http://www.anl.gov/Media\\_Center/News/2007/ES070720.html](http://www.anl.gov/Media_Center/News/2007/ES070720.html)



**Figura 19.** Ciclo de la deposición de capa atómica (ALD) (izquierda). Nanoporos antes y después de rellenarse con semiconductores a través de la técnica ALD (centro y derecha).

En la figura 20 podemos ver el proceso cíclico de la técnica de ALD, mientras que en las imágenes de la derecha podemos ver un ejemplo en el que nanoporos de 40 nm son rellenados de una manera bastante precisa por materiales semiconductores de modo que sólo quedan aperturas de 10 nm. Al aplicar esta técnica para la generación de celdas solares amplía la potencia con la que se puede recibir y almacenar energía solar.

Otra de las menciones relevantes por parte de Feynman respecto a lo que ocurre con las propiedades de las cosas en rangos muy diminutos, puede sintetizarse en lo siguiente: “Cuando arribamos al mundo muy, muy pequeño –por decir, circuitos de siete átomos– tenemos un montón de cosas nuevas que podrían ocurrir, que representan oportunidades sin precedentes para el diseño. No hay ningún referente a gran escala que se comporte como los átomos lo harían en pequeña escala para que cumplan las leyes de la mecánica cuántica. Así, a medida que descendemos y jugamos con los átomos ahí abajo, estamos trabajando con diferentes leyes, y podemos esperar hacer cosas diferentes. Podemos fabricar de diferentes maneras. Podemos utilizar, no sólo los circuitos, sino algún sistema que involucre los niveles de energía cuantizados [cuánticos], o las interacciones de los espines cuantizados [cuánticos], etc”<sup>76</sup>

Esto es, básicamente que *el mundo* como nosotros lo conocemos, en la *escala* en la

<sup>76</sup> “When we get to the very, very small world---say circuits of seven atoms---we have a lot of new things that would happen that represent completely new opportunities for design. Atoms on a small scale behave like nothing on a large scale, for they satisfy the laws of quantum mechanics. So, as we go down and fiddle around with the atoms down there, we are working with different laws, and we can expect to do different things. We can manufacture in different ways. We can use, not just circuits, but some system involving the quantized energy levels, or the interactions of quantized spins, etc.” Feynman, *op.cit.* página 11.

que interactuamos cotidianamente, se comporta de una manera completamente diferente que el *mismo mundo* pero en escala nanométrica. Principalmente debido a lo que conocemos como la *Mecánica Cuántica*. Sin embargo, no es necesario realizar una especie de compendio sobre *mecánica cuántica para economistas* para poder proseguir con nuestra exposición. Pero sí hay que tomar en cuenta que existe un cambio de reglas cuando se trabaja en ese mundo tan pequeño. Aquí por ejemplo, se han presentado ilustraciones en las cuales se representa al *átomo* como si fuese una pequeña esfera, pero ni dicha representación, ni menos aún la de un núcleo con electrones *orbitando* alrededor de él, podrían representar la estructura y comportamiento *real* de un átomo. Un electrón, por ejemplo, no tiene una órbita definida ¡ni siquiera una trayectoria! Lo único que podemos decir de él es la *probabilidad* de encontrarlo en un determinado momento en una determinada posición versus otra probabilidad de otro momento y otra posición. Lo cual tampoco implica que el mundo cuántico esté lleno de incertidumbres. De ser así, nuestros dispositivos láser como los discos compactos y otras tantas tecnologías no funcionarían tan *imperceptiblemente predecibles* como cotidianamente lo hacen. Es simplemente otra lógica de comportamiento, la cual llevamos tan poco tiempo de conocerla que no puede dejar de parecernos extraña en demasía. Como en tantas otras cuestiones, la paciencia es la clave.

En este contexto sobre cómo pueden transformarse las propiedades físicas de la materia podemos mencionar que aquellas como la conductividad eléctrica, el calor, la resistencia, la elasticidad, la reactividad y otras, “cambian radicalmente, por ejemplo:

El carbono en la forma de grafito (como en los lápices) es muy suave y maleable, pero en la nanoescala puede ser más fuerte que el acero y seis veces más ligero. El óxido de zinc generalmente aparece blanco y opaco, pero en la nanoescala se vuelve transparente. El aluminio —del que están hechos los envases de varias bebidas— presenta combustión espontánea en la nanoescala y por eso podría usarse como combustible para los cohetes.”<sup>77</sup>

Es momento de explicar una de las estructuras simples que más han contribuido al desarrollo nanotecnológico y que son posibles precisamente por este cambio de reglas: los nanotubos de carbono, que son la clase más popular de los *Buckminsterfullerenos*, o *Fulerenos*, simplemente.

---

<sup>77</sup> Grupo ETC (2005). Manual de bolsillo en tecnologías nanoescalares y la teoría del little BANG. Editado por ETC group, junio de 2005. Página 3. Disponible en línea a través del sitio [www.etcgruop.org/es/](http://www.etcgruop.org/es/)

“Los nanotubos de carbón son moléculas con forma cilíndrica cuyos diámetros pueden ser tan pequeños como 1nm, y cuyas longitudes tradicionalmente abarcan el rango de

micras. [...] La manera más fácil de

visualizarlos

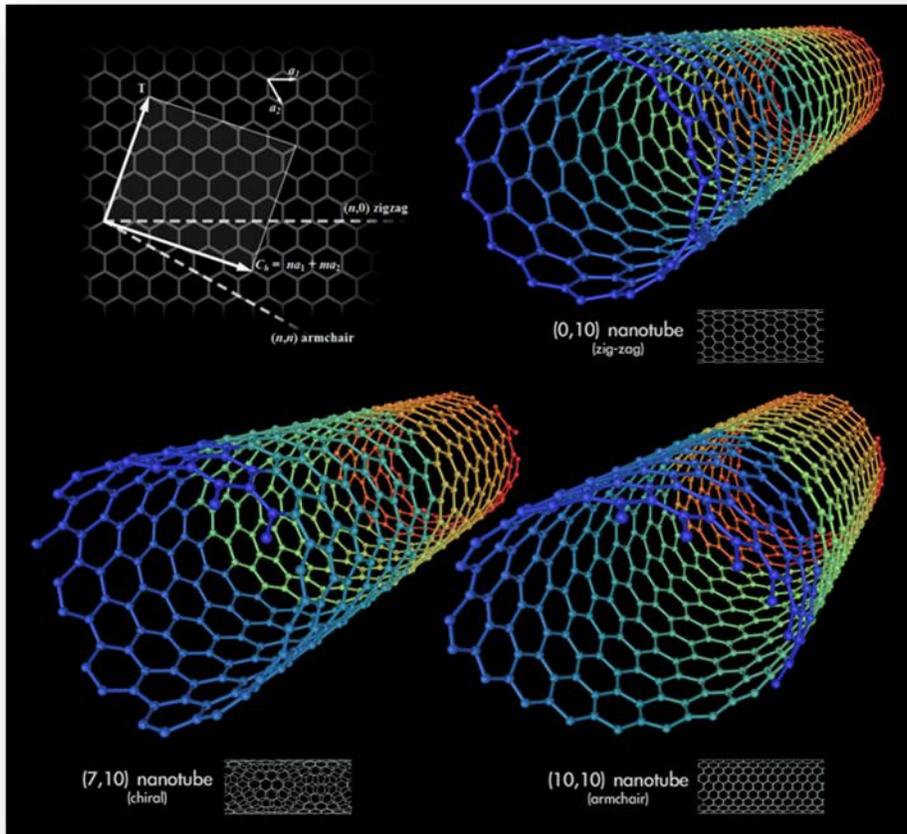
consiste en pensar en una ‘hoja’ o película de grafito con un solo átomo de espesor, la cual se enrolla para formar un cilindro.

La estructura que resulta, el nanotubo, tiene propiedades físicas sorprendentes [...] es muy liviano, resistente y puede ser un excelente

conductor eléctrico. Tiene la propiedad

de que, cuando se dobla o deforma, no se fractura y recupera su forma anterior.

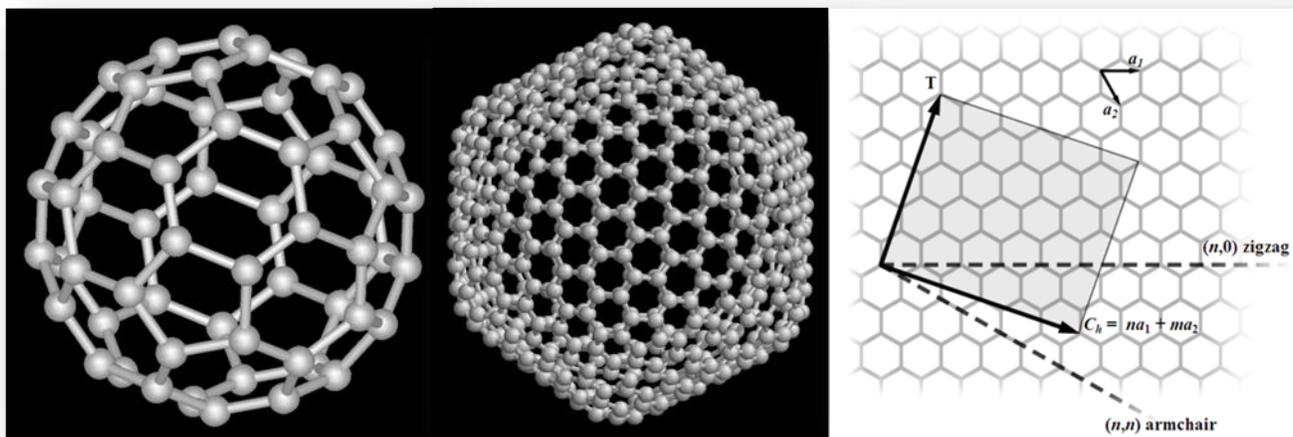
Un nanotubo es inerte químicamente por lo que puede ser empleado para guardar diversas sustancias sin que éste reacciones químicamente con ellas. [...] puede ser conductor eléctrico o semiconductor, dependiendo de su construcción, en particular su diámetro y una propiedad llamada quilaridad, que tiene que ver con la forma en cómo es ‘enrollada’ la hoja que es utilizada para formar el tubo”<sup>78</sup> Aunque los nanotubos de carbono (*carbon nano tubes CNT*) habían sido generados desde los setenta en procesos industriales, no se les había tomado importancia debido a que no había estudios sobre ellos. Generalmente los primeros estudios



**Figura 20.** Nanotubos de carbono. En base a una misma “hoja”, doblada de distinta forma, pueden obtenerse diferentes tipos de nanotubo.

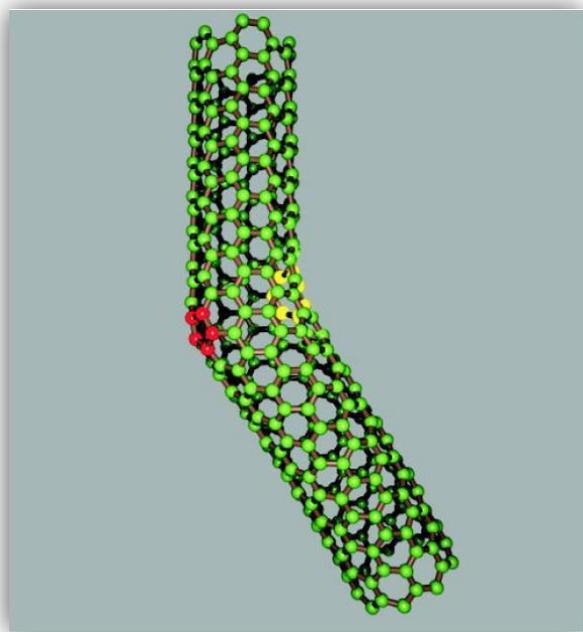
<sup>78</sup> Sosa, Iván O. (2004) Nanotecnología, Instantáneas del cambio tecnológico, México, UCM, colección Umbral. Páginas 48-49.

sobre sus propiedades se le atribuyen a Sumio Iijima en 1991, investigador en los laboratorios de la compañía NEC en Japón. Otras fuentes apuntan a que ya desde 1952 se habían publicado fotografías claras de nanotubos de carbono con un grosor de 50 nm. Sin embargo éstas no fueron conocidas por la mayoría de los científicos que desarrollaban nanotecnología debido a que su publicación fue por parte de L. V. Radushkevich y V. M. Lukyanovich, dos científicos de la ex URSS en el *Diario de Química Física*, casi inasequible en *occidente*. Sin embargo, no fue sino hasta 1993 cuando pudieron producirse y aislarse en forma exitosa los primeros nanotubos monolaminares (*Single Wall Nano Tube SWNT*). Actualmente se producen también de otros materiales, pero los de carbono son los más populares (y baratos). Se les llama fulerenos en honor a Richard Buckminster Fuller, por lo que otro de los nombres que reciben es *buckyballs*. Él fue el creador de la cúpula geodésica en la arquitectura. Los nanotubos de carbono tienen una estructura en común con otras formas en que pueden ordenarse moléculas conformadas únicamente de carbono, como lo son el  $C_{60}$  y el  $C_{540}$ . Esta propiedad de estar conformadas únicamente de carbono es por la que se dice que son formas *alotrópicas*. Esto es, hay otras formas en que el carbono puede formar moléculas consigo mismo, enlazándose de distinta forma. El diamante, el grafito y los fulerenos son formas alotrópicas del carbono. Las propiedades enunciadas más arriba respecto al carbono en la nanoescala, son producto de la forma en que se encuentran enlazados los átomos del mismo. Debido a sus fuertes enlaces, el  $C_{60}$  y el  $C_{540}$  son estructuras que aunque parten del mismo elemento químico con el que se forma la punta de nuestros lápices, unidos de esta forma presentan una dureza extraordinaria.



**Figura 21.** Fulerenos  $C_{60}$  (izquierda) y el  $C_{540}$  (centro) ambos comparten con los nanotubos la estructura hexagonal (derecha).

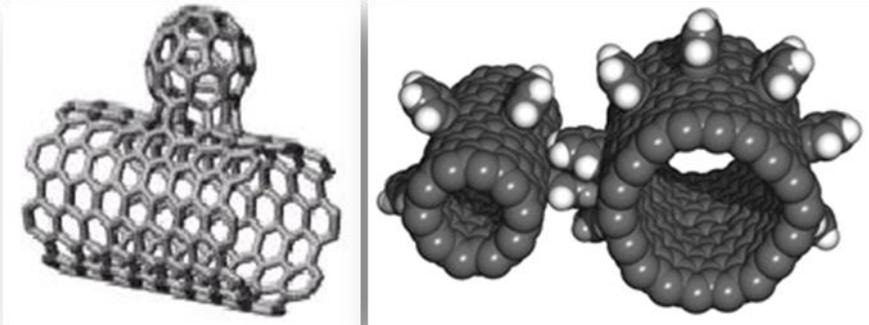
Y bien, quizá ahora la pregunta sea ¿y qué tienen de extraordinario tales estructuras? Además de ser uno de los objetos de estudio que han permitido abrir la puerta a la investigación en materiales en la nanoescala, también han sido propuestos como una de las estructuras base para la generación de dispositivos nanométricos, así como obtener materiales que funcionen de distintas formas en nuestra escala. Utilizados a granel, por citar algunos ejemplos, estos fulerenos han permitido la generación de polímeros en combinación con materiales nanoestructurados que permiten sustituir el envasado al alto vacío, al poder por las propiedades únicas de su funcionamiento energético, permiten la generación de focos que tampoco requerirían del vacío, ya que filamentos compuestos de fulerenos puede emitir la misma cantidad de luz a temperatura ambiente. Pero también, debido a las propiedades que hemos mencionado, estos nanotubos de carbono han sido implementados en dispositivos nanométricos para fabricar transistores de varios órdenes de magnitud más pequeños que los actuales, por ejemplo. Sus aplicaciones tanto a granel como en escala nanométrica son muy bastas, abarcando la fabricación de automóviles, cosméticos, dispositivos eléctricos, materiales para la navegación aeroespacial, ultra capacitadores, supercondensadores, celdas solares, dispositivos de almacenamientos de hidrógeno, etc. Y lo que no puede escapar al ingenio más atento, es que debido a su extrema sencillez estructural, permite la construcción de todo un edificio de aplicaciones en su horizonte.



**Figura 22.** Doble en nanotubo logrado por el equipo de Cees Dekker en 1998. Fuente: Dekker *op. cit.*

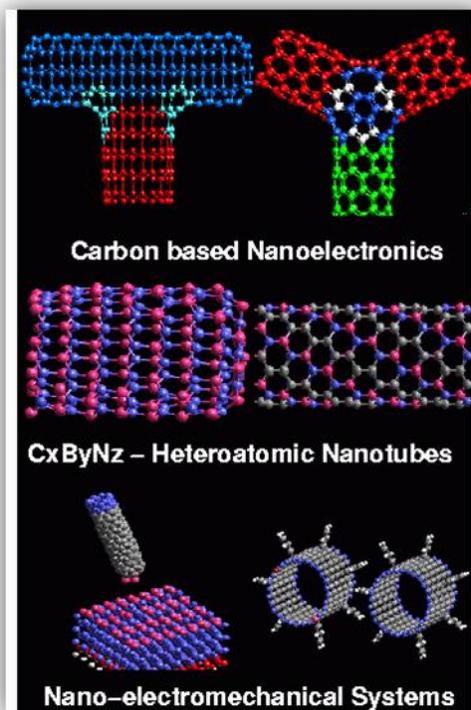
Vamos con un poco más de calma en este aspecto. Para ilustrarlo retomaremos un ejemplo visto anteriormente, el de Cees Dekker cuando en 1998, logró el primer transistor a partir de cables que tenían apenas unos nanómetros de diámetro. En la figura 19 se mostró cómo a partir de un doblez en un nanotubo de carbono permitía la modulación del paso de electrones entre dos electrodos. Pues bien, este doblez lo generó a partir de introducir una *falla* en la estructura del nanotubo como se muestra en la figura 23. Esta falla, permite la unión de dos nanotubos para conformar un

ángulo, con lo que se pueden obtener estructuras que además, *recuerdan* la forma a la que deben regresar en caso de intentar ser deformadas.



**Figura 24.** Combinación estable de nanotubo y C60 (izquierda) Nanotubo con incrustación de benceno para generar engranes (derecha)

nanotubos de carbono, incrustaciones de benceno ( $C_6H_6$ ) y combinaciones entre las mismas.



**Figura 23.** Diseños de componentes en sistemas electromecánicos nanoescalares basados en nanotubos. Fuente: <http://ipt.arc.nasa.gov>

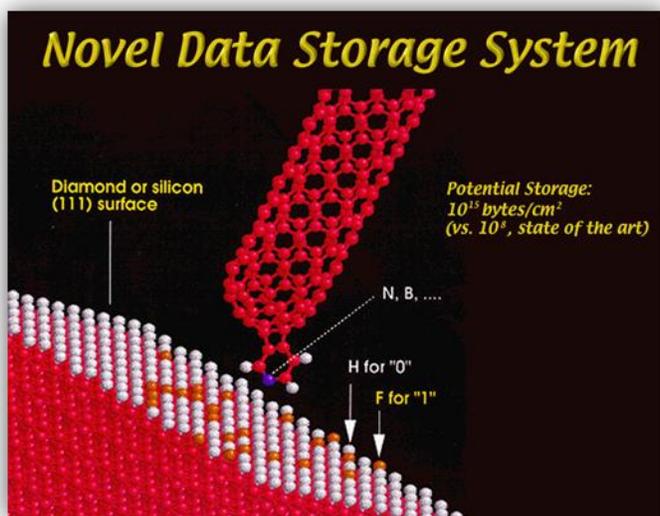
Pero no sólo, desde finales de la década pasada, un equipo de trabajo de la NASA <sup>79</sup> se encuentra trabajando en la generación de estructuras más complejas a partir de la buckyballs,

No está por demás decir que a estos engranes se les sigue aplicando ese *cambio de reglas* que habíamos mencionado antes, lo que conduce a algunas consideraciones prácticas. Si recordamos el problema de Feynman respecto a qué tan chico se podía hacer un automóvil, uno de los problemas era el motor. Si ponemos atención a lo que respecta a todos aquellos tipos de engranes que requeriría una máquina para funcionar, topamos que en algunas máquinas que se han miniaturizado hasta llegar a micras, uno de los grandes problemas consiste en el engrasado de sus partes. Pero en la nanoescala, poner un lubricante a un engrane, podría ser como ponerle una roca a la maquinaria de un reloj. Una de las ventajas en esta escala, es que al ser estables químicamente estos

<sup>79</sup> Puede encontrarse la galería de imágenes y proyectos nanotecnológicos de la NASA en la dirección electrónica:

componentes, la necesidad de lubricantes se elimina ya que el *desgaste* de las partes deja de ser un problema, aunque aparecen otros, de una naturaleza distinta como veremos más adelante. Al mismo tiempo, este tipo de ensamblajes permite la apertura de otros 2 campos de investigación, la computación nanoescalar con repercusiones hacia la inteligencia artificial y, en combinación con todo lo visto anteriormente, la posibilidad de generar autómatas nano escalares capaces de reproducirse a sí mismos: los *nanobots autoreplicantes*.<sup>80</sup> Antes de entrar a dichos horizontes, hemos de revisar algunas dificultades previas.

Uno de los problemas que se han encontrado en la fabricación de dispositivos como los anteriores e incluso artefactos más complicados como osciloscopios y motores nanométricos es que su elaboración requiere de mucho tiempo. La generación de nanotubos,



**Figura 25.** “Nuevo sistema de almacenamiento de datos” basado en la disposición de átomos de distintos elementos. Fuente: <http://ipt.arc.nasa.gov>

por ejemplo, puede ser realizada a *granel*, pero el diseño de estructuras que requieran un control más delicado se lleva a cabo por un proceso llamado nanolitografía. Ésta consiste en un uso diferenciado del microscopio de barrido de túnel, en el que la punta no sólo puede explorar la superficie de un material sino que además puede ser capaz de atrapar un átomo de su superficie, con lo cual puede generarse, en un principio, un bajo relieve. Aplicando la misma técnica

recursivamente y diferenciando ángulos, pueden generarse una infinidad de estructuras. Estas técnicas están siendo utilizadas ya para la generación de circuitos en escala nanométrica. Pero se mantiene como propósito el desarrollar técnicas de autoensamblaje molecular, esto es básicamente que dadas las propiedades por las cuales la materia puede mantenerse unida naturalmente, pueda echarse mano de las mismas para poner determinados elementos y que a consecuencia de ello simplemente se *atraigan y ensamblen* de una manera prediseñada.

<sup>80</sup> Esta aseveración, a partir de elementos como los enunciados más arriba, puede seguirse a detalle en Sosa, Iván O. *op. cit.* Páginas 48-80.

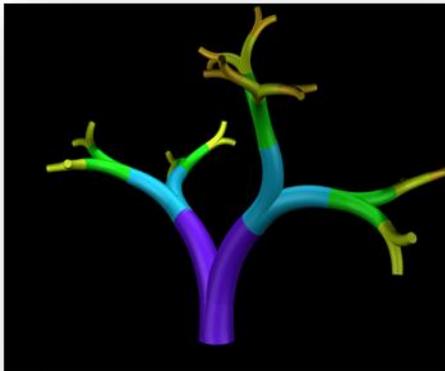
Técnicas como la nanolitografía pueden ser utilizadas por tanto no sólo para quitar un átomo de su lugar, sino también puede ser modificado o sustituido. Ésta de hecho es otra de las líneas de investigación de la NASA respecto a implementar nuevos dispositivos de memoria para el cómputo (ver figura 26). En un esquema explica cómo a partir de una superficie de silicón o diamante pueden obtenerse arreglos de átomos de distintos elementos tal que cada uno pueda representar un bit diferente, con lo que podría ampliarse la capacidad de almacenamiento de  $1 \times 10^{15}$  bytes por centímetro cuadrado en lugar de los  $1 \times 10^8$  de la actualidad. Puesto en decimal, es poner un petabyte, es decir un millón de gigabytes en un centímetro cuadrado. Incluso antes de la computación cuántica, esto ya representa un salto cuantitativo bastante grande.

Es en este horizonte teórico y tecnológico en donde convergen principalmente todos los elementos que hemos revisado hasta aquí. Las máquinas que ha generado el ser humano se han mantenido hasta el momento cuantitativa y cualitativamente diferenciadas de lo que aquí se pretende. En principio, una definición clásica de máquina “es cualquier sistema generalmente formado por cuerpos rígidos conectados entre sí, que pueden transmitir y direccionar distintas fuerzas aplicadas para cumplir con un objetivo específico, como la realización de un trabajo útil”<sup>81</sup> Aunque una acepción más amplia podría eliminar el hecho de que sus componentes sean necesariamente rígidos, con lo que abre paso al gran espectro del concepto de máquina como el utilizado por Turing, que no es una concreción *material*, tanto como un concepto de *aquello* que es capaz de ejecutar un algoritmo. A su vez, la bioquímica y la biología molecular han mostrado procesos por los cuales una célula es capaz de contener información y relacionarla con su medio para la ejecución de tareas, entre ellas, la posibilidad de replicarse a sí misma. A la luz del cuerpo de conocimientos que existe sobre tales proceso, y la apertura de la manipulación de la materia átomo por átomo, surge la pregunta ¿se pueden crear máquinas capaces de llevar a cabo procesos análogos a la expresión y herencia genética? Éste es el panorama de horizonte, cuya respuesta no es clara.

---

<sup>81</sup> *Ibid*, página 46.

A principios de los ochenta, Eric Drexler<sup>82</sup> formuló varias hipótesis sobre la naciente nanotecnología y su futuro. Una de las consecuencias fundamentales de su análisis es por un lado la capacidad de generar máquinas capaces no sólo de manipular la materia en la nanoescala, sino también de *autorreplicarse* a través de un planteamiento similar al aquí señalado, y por otro lado el curso del desarrollo tecnológico y el control que de él ha tenido el género humano. De ser posibles tales *nanomáquinas autoreplicantes*, qué tanto control puede tenerse sobre ellas, no sólo por sus características sino por el propósito con que fueron creadas. En la actualidad, volviendo al horizonte práctico, otra de las líneas de investigación es la simulación de redes neuronales a partir de nanotubos. Aunque hay muchos actores en



**Figura 26.** Diseño de Red neuronal a partir de nanotubos en proyecto de la NASA.  
Fuente: <http://ipt.arc.nasa.gov>

este escenario, el ejemplo de NASA nos ha servido aquí para ilustrarlo. Al ser excelentes conductores o semiconductores, los nanotubos de carbono han permitido desarrollar un diseño de una red neuronal que emularía, ya no sólo dispositivos para operaciones lógicas binarias como la presencia o ausencia de carga, sino el conocimiento que actualmente se tiene sobre el funcionamiento de las neuronas. El proyecto es de la NASA porque de acuerdo a ellos, se podrían generar dispositivos *inteligentes* utilizando dichas redes para procesar

información, pero que podrían operar a partir de autoensamblaje molecular e incluso, autorreplicarse, de modo que bastara sólo una pequeña cantidad para iniciar exploraciones espaciales. Este es el *horizonte práctico* uniéndose con el *horizonte teórico*.

De hecho, todas las promesas *pop* que la Nanotecnología trae consigo en los ámbitos de la salud con nanobots dentro del cuerpo que puedan curar enfermedades antes de presentar síntomas, o en el ámbito del medio ambiente con biorremediación inteligente, o en el ámbito de la producción automática en la nanoescala, etc. no pisan un terreno distinto que el de Drexler o la NASA. Sin embargo qué tanto pueda realizarse es una pregunta que tiene aún una respuesta pendiente de ser verificada.

<sup>82</sup> Drexler, K. Eric (1982). La nanotecnología : El surgimiento de las máquinas de creación. Traducción de José Ángel Álvarez. Editorial Gedisa. España 1993.

La mayoría de los estudios sobre nanotecnología en el ámbito académico de los laboratorios gubernamentales y empresariales califican a Drexler como fatalista y en el argot nanotecnológico se le conoce a dicha visión como la *plaga gris*.<sup>83</sup> Y sin embargo, es difícil encontrar algún estudio que haya tildado de ingenuos a los proyectos de la NASA antes mencionados.

Antes de pasar a caracterizar un panorama mundial de la inversión actual en Nanotecnología, hay tres ideas con las que cerraremos la presente sección. La primera consiste en desmoronar lo que en principio no podía realizarse sin un antecedente de discusión, y es lo que respecta a esta *visión pop* de la capacidad tecnológica y el curso histórico de su desarrollo. En la medida en que se ha hecho aquí sólo algunos señalamientos importantes para tener un piso mínimo de discusión, hay puntos de fundamental importancia que con ánimo expositivo no hemos comentado antes.

Para darle una preparación a nuestro argumento, valga citar un ejemplo. Las neuronas transmiten la electricidad 100,000 veces más lento de lo que lo pueden hacer elementos disponibles en el mercado en la actualidad. Si el conocimiento respecto a cómo funciona una neurona nos hubiese ya descifrado su funcionamiento a través de lo que hasta ahora se estudia, y esto se basara en sus pulsos eléctricos, se podrían ya construir dispositivos más potentes que el cerebro humano simplemente interconectando en red mil veces más dispositivos que las 100, 000 millones de neuronas que tiene el cerebro. Además no sólo, sino que al conducir la electricidad 100,000 veces más rápido, tendríamos algo nunca antes imaginado. Sin embargo, no ha ocurrido, simplemente por 2 razones. La primera es que, como bien mencionamos intencionalmente antes, dicha red se atendería al teorema de Gödel y a la *hipótesis de Church*. Si se le preguntase a dicha máquina cómo podría decidir si ha terminado o no de solucionar un problema cualquiera ante un algoritmo dado, es probable que todo el poderío de tal máquina quedara reducido a un bucle infinito. Y por el otro lado porque tanto la *teoría del campo global* como la del *conexionismo celular* siguen siendo explicaciones parciales a un fenómeno del que no tenemos respuesta clara: cuál es la relación precisa entre cerebro y conducta.

Y sin embargo, aún a pesar de que existe desde hace mucho tiempo la delimitación

---

<sup>83</sup> Bensaude-Vincent, Bernadete *¿Dos culturas de la Nanotecnología?* En Foladori, Guillermo & Invernizzi, Noela (2006) coordinadores, et al *Nanotecnologías Disruptivas*, México, Editorial Porrúa. Capítulo 4

científica de cada uno de los campos, en la actualidad podemos seguir encontrando aseveraciones como la siguiente: “Hoy tenemos la habilidad para trabajar en un nivel más fino con un entendimiento y control más detallados. Tenemos las herramientas para crear máquinas biológicas átomo por átomo de acuerdo a nuestros planes. Ahora debemos abrir nuestra imaginación y aventurarnos en lo desconocido” [...] “la bionanotecnología explora estas bionanomáquinas, sus propiedades, sus principios de diseño y la manera en que han sido aprovechados para nuestras propias aplicaciones”<sup>84</sup>

En medio de todo este propósito por seguir la idea de horizonte sobre nanobots autorreplicantes, un ánimo reduccionista subyace en buena parte de las investigaciones que relacionan todos los campos de que hicimos recuento hasta aquí; ver en el ADN, las enzimas, las células, los virus, y en sus manifestaciones macroscópicas como las plantas, animales y en general todos los seres vivos, no una *semejanza* con el concepto de máquina, sino a la identidad misma de la *máquina* actuando en toda su amplitud; ver incluso en la interacción de organismos aún ininteligibles, ninguna otra cosa más que la concreción de un concepto surgido de la mente humana, es *cuando menos*, una hipótesis que no encuentra corroboración seria por lado alguno. Es tal y como cuando en otros tiempos había quienes encontraban en la *carne*, solamente la *materialización del espíritu*.

En este mismo sentido, puede encontrarse una idea segmentada y desprovista de sentido relacional en el estudio de los fenómenos. Baste decir por ejemplo, en el caso del ADN, que tomarlo como la esencia de *lo vivo* y además concebirlo como una máquina y dispositivo de cómputo, ya constituye en sí, una hipótesis forzada. En la descripción del método reduccionista que operaba principalmente a partir de mediados del siglo pasado, Richard Lewontin describe: “Ya se había implantado el modelo del organismo como una cadena de montaje Ford y se habían apilado guardabarros y parachoques; todo lo que se necesitaba era la llave para poner en marcha la cadena de montaje” y dicha llave llegó con la biotecnología, haciendo de esta metáfora una *funcionalidad madura* entre ciencia, tecnología y producción capitalista. Esta relación sin embargo, será el tema de nuestro tercer capítulo.

---

<sup>84</sup> Goodsell, David S. (2004). Bionanotechnology. Lessons from nature. Editorial Wiley-Liss. Estados Unidos 2004. Página 5-6

La segunda idea tiene que ver con el hecho de la neutralidad o no de las tecnologías. A modo de anécdota, la plática de Feynman termina con un reto. Después de haber hablado de las maravillas que pueden encontrarse para el conocimiento humano en lo muy-muy pequeño, acusa que muy seguramente eso no tendría mayor motivación, incluso, para la comunidad de físicos que lo escuchaban. Así que nuevamente ironizando la forma social de cómo es concebido el desarrollo tecnológico, ese 29 de diciembre de 1959, ofrece dos premios de \$1,000 dólares cada uno a quien pudiera construir un motor que cupiera en 1/64 de pulgada y a quien pudiera escribir un texto en la cabeza de un alfiler de un tamaño tal que se pudiesen escribir los 24 tomos de la enciclopedia británica. Ambos premios le fueron reclamados. El primero por William McLellan en noviembre de 1960 cuando construyó un motor de las dimensiones solicitadas y que pesaba 250 microgramos y podía ejecutar 2000 revoluciones por minuto. El segundo por Tom Newman en 1985, cuando casi logró cobrarlo al escribir la primera página de *Cuento de dos ciudades* de Charles Dickens con un haz de electrones, el problema fue que después de hacerlo perdió la localización precisa del texto en la superficie de dicho alfiler y no pudo hallarla a tiempo para reclamar su premio.<sup>85</sup>

Sin embargo, no todos los competidores en esta contienda tienen las mismas intenciones ni los mismos méritos. El 28 de septiembre de 1989, Donald Eigler y Erhard Schweizer fueron capaces de manipular átomos [uno por uno] por primera vez en la historia. Trabajando en los laboratorios de la compañía de la cual eran empleados, usando la técnica de nanolitografía pudieron alinear 35 átomos de Xenón en la superficie de un cristal de níquel para escribir una palabra, las siglas de *International Business Machines*: IBM.<sup>86</sup>

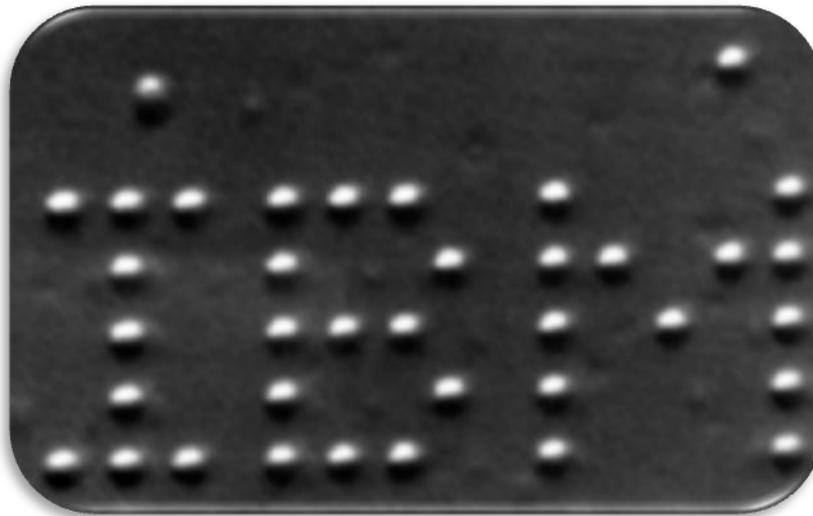
La nanotecnología capaz de manipular la materia átomo por átomo, nació gritando el nombre del capital que le dio origen ¿y propósito?!

---

<sup>85</sup> Gibbin, John y White, Michel (1997). Richard Feynman: A Life in Science. Editado por Dutton. Estados Unidos, 1997. Página 170

<sup>86</sup> Sosa, Iván O. *op. cit.* Páginas 31.

## 1.2. Tecnologías convergentes y la Inversión capitalista.



**Figura 27.** Primera manipulación de la materia átomo por átomo en 1990. 35 átomos de Xenón escribiendo el acrónimo de *International Business Machines: IBM*

Las tecnologías convergentes son por tanto, más que la suma de sus partes. Particularmente nos interesa la concepción que fue presentada como reporte patrocinado por la Fundación Nacional para la Ciencia y el Departamento de Comercio de los Estados Unidos en 2002, en un documento llamado “*Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive science*”. Dicho documento es el resultado de un taller llevado a cabo los días 3 y 4 de diciembre de 2001 con la participación de reconocidos integrantes de la comunidad científica e ingenieril de Estados Unidos, así como de dependencias gubernamentales y empresas privadas, los encargados de la revisión final del reporte son: William Sims Bainbridge (National Science Foundation), J. Canton (Institute for Global Futures), Mihail C. Roco (National Science Foundation), R.S. Williams (de la empresa Hewlett Packard) y G. Yonas (Sandia National Laboratories). En él podemos encontrar la siguiente visión: “La frase ‘tecnologías convergentes’ se refiere a la combinación sinérgica de cuatro campos importantes de la ciencia y tecnología ‘NBIC’ (nano-bio-info-cogno), cada una de las cuales actualmente progresa aceleradamente: (a) nanociencia y nanotecnología: (b) biotecnología y biomedicina, incluyendo ingeniería genética; (c) tecnologías de la información, incluyendo

informática y comunicaciones; (d) ciencia cognitiva, incluyendo neurociencia cognitiva”<sup>87</sup>

En dicho documento se presenta a las tecnologías convergentes como una oportuna y temprana coyuntura para mejorar el desempeño humano: “Ejemplos de recompensas pueden ser el mejoramiento de la eficiencia del trabajo y el aprendizaje, incremento de las capacidades sensoriales y cognitivas individuales, cambios revolucionarios en el cuidado de la salud, mejoramiento de la creatividad tanto individual como de grupo, técnicas altamente eficientes de comunicación incluyendo interacción cerebro-a-cerebro, perfeccionamiento de las interfaces humano-máquina incluyendo ingeniería neuromórfica, entornos sustentables e ‘inteligentes’ incluyendo los neuro-ergonómicos, ampliación de las capacidades humanas para propósitos de defensa, alcance del desarrollo sostenible utilizando herramientas NBIC, y aminorar el deterioro físico y cognitivo que es común al envejecimiento de la mente.”<sup>88</sup>

Con el fin de aprovechar las capacidades generales que de la convergencia NBIC se pueden obtener, dicho reporte plantea primero un escenario del potencial general, del mejoramiento de la comunicación, cognición, salud y capacidades físicas humanas, así como de los resultados sociales de las mismas. Así mismo provee de un panorama referente a la “seguridad nacional” para EUA y de una propuesta de plan por medio de la cual, la educación y otras instituciones deberían transformarse para dar paso a un mejor aprovechamiento de todo el potencial de la convergencia NBIC. Es ésta una de las visiones más ambiciosas sobre cómo modificar incluso algunas de las estructuras sociales en base a una visión a mediano plazo del aprovechamiento de las tecnologías convergentes, pero principalmente, en el ámbito de los negocios y el militar.

Antes de mostrar un panorama de la inversión en nanotecnología, queremos presentar también, como un primer acercamiento de lo que nos parece es la ruta general que la describe, tanto en el *camino andado* como en su dirección e intenciones. Nos referimos entonces a niveles de avance en cuanto a tecnologías convergentes en la nanoescala.

---

<sup>87</sup> Roco, Mihail C. y Sims Bainbridge, William, *et ál.* (2002). *Converging Technologies for Improving Human Performance*. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Reporte patrocinado por la National Science Foundation y el Department of Commerce de los Estados Unidos. Junio de 2002. Arlington, Virginia. Página ix.

<sup>88</sup> *Ibidem.*

### 1.2.1. Una ruta de la convergencia NBIC.

De acuerdo con el grupo etc existen “cuatro [riesgosos] pasos a la inmensidad de lo mínimo”<sup>89</sup>:

1) Lo nano a granel: Esta producción a granel tiene como principal objetivo el incorporarse a productos de consumo tales como filtros y celdas solares, diversos materiales repelentes a manchas, desde ventanas hasta telas, bloqueadores solares, cosméticos, etc. Los buckyballs y los nanotubos de carbono constituyen la principal producción a granel actualmente. Este paso ya está totalmente dado y lo que ha sucedido a últimas fechas es más bien su diversificación e intensificación reduciendo costos y ampliando sus mercados.

2) Nanofabricación: Se refiere a manipular y ensamblar estructuras supra moleculares con usos prácticos. Este paso aún se encuentra en *sus albores* y los dispositivos hasta ahora fabricados no rebasan los 100 nm.

3) Manufactura Molecular: Éste es considerado por algunos como el fin último, y de hecho, su posibilidad o imposibilidad constituye el carácter del debate actual. Sería llevar a otro nivel la nanofabricación, ya que no sólo constituiría la elaboración de estructuras sino que el objetivo principal sería fabricación de nanomáquinas<sup>90</sup> capaces de producir a cualquier nivel desde la nanoescala.

4) El Átomo y Eva: “Este paso entraña utilizar nanomateriales que afecten procesos bio-químicos y celulares. Lo nano-biónico, podría significar, simplemente, el uso de materiales desarrollados en lo nanométrico para fabricar articulaciones artificiales, o ser tan complejo como el desarrollo de bio-nano-híbridos —que utilicen máquinas nanométricas dentro del cuerpo humano para ejecutar funciones celulares, hacer que la materia viva trabaje como parte de alguna nano máquina o combinar material biológico o no biológico en la creación de nuevos materiales con propiedades útiles, lo que implicaría la posibilidad de

---

<sup>89</sup> Grupo ETC (2003). La Inmensidad de lo mínimo. De los genomas a los átomos. Disponible en: [www.etcgruop.org/es/](http://www.etcgruop.org/es/) Los cuatro pasos que a continuación se presentan son un resumen de la sección dos de dicho documento.

<sup>90</sup> De hecho el debate básico entre las “dos culturas de nanotecnología consiste en la pregunta básica ¿qué es una máquina? De ahí el hecho de que se piense a los organismos vivos como maquinarias complejas. Bensaude-Vincent, Bernadete. *op. cit.*

auto ensamblaje y auto reparación”<sup>91</sup>

Todos estos pasos son atravesados por una característica, el que en ellos converjan diversas ramas tecnológicas empezando con la Nanotecnología como la herramienta clave, seguida de la Biotecnología, la Tecnologías de la Informática y las Ciencias Cognitivas.

El Grupo ETC también llama a este proceso la *Teoría del Little BANG*<sup>92</sup>, debido a las siglas de las unidades operativas de las tecnologías que convergen; Bits para la Informática, Átomos para la Nanotecnología, Neuronas para las ciencias cognitivas y Genes para la Biotecnología (aunque hay que tener en cuenta también el carácter segmentado y en apariencia homogéneo al que se hace alusión, por lo que ETC ironiza al llamarlo de esta forma).

<b>Tecnología de la información</b>	<b>controla</b>	<b>Bits</b>
<b>Nanotecnología</b>	<b>Controla y manipula</b>	<b>Átomos</b>
<b>Cinecias Cognitivas</b>	<b>Posibilitan el control de la mente al manipular</b>	<b>Neuronas</b>
<b>Biotecnología</b>	<b>Controla y manipula la vida, diseñando</b>	<b>Genes</b>

**Figura 28.** Esquema de la Teoría del Little BANG. Fuente: Grupo ETC. Manual de Bolsillo en tecnologías nanoescalares. Página 9

El horizonte es entonces una convergencia total como se describe en el paso cuatro *el átomo y Eva* en el que en la nanoescala la diferencia entre lo vivo y lo no vivo se complica y las diferencias entre las tecnologías se difuminan, con todas las complicaciones éticas, ecológicas, políticas, económicas e ideológicas que ello representa.

Uno de los factores determinantes del desarrollo de estas tecnologías es que los principales actores que las impulsan, sean privados o públicos, mantienen la línea de la tecnología como inversión en el estricto sentido económico de la palabra. Por ello es

<sup>91</sup> Grupo ETC, *Ibíd.* página 23.

<sup>92</sup> Grupo ETC (2005) Documento “Manual de bolsillo en tecnologías nanoescalares y la teoría del little BANG” del Grupo ETC. Disponible en [www.etcgrupop.org/es/](http://www.etcgrupop.org/es/)

necesario llevar a cabo una muestra general de la inversión en nanotecnología antes de pasar a revisar, en el capítulo 2, nuestro caso particular de estudio en los Estados Unidos.

### 1.2.2. Características generales de la Inversión global en nanotecnología.

Antes de comenzar de lleno con las cifras es necesario aclarar que incluso las instituciones internacionales como la OCDE han estimado la inversión en nanotecnología como un tema especialmente difícil de diferenciar<sup>93</sup>. Los números que a continuación se presenten deben ser tomados más como una tendencia que como una exactitud. En algunos casos se encontrará que hay diversas metodologías para medir el mismo aspecto, como en el caso de las patentes, cuando nos ha parecido pertinente, hemos incluido aquí las distintas cifras y explicamos en qué consiste la diferencia.

Existen diversos ejemplos de cómo la nanotecnología es aplicable en diversos campos con el fin de elaborar productos para el consumo o como nuevas herramientas y materias primas para la producción. Algunos de estos ejemplos pueden ser:

- a) En la electrónica y comunicaciones. Dispositivos de almacenamiento de datos de alta capacidad, tecnologías para la elaboración de pantallas planas de alta definición, nuevos materiales semiconductores que incrementan la rapidez de procesamiento, prototipos de aparatos electrónicos moleculares o biomoleculares así como en computación cuántica.
- b) En materia y construcción. Uso de nanopartículas y recubrimientos para reforzar materiales y partes de maquinaria, brocas de alta resistencia al igual que herramientas de corte, fluidos magnéticos *inteligentes* para sellados de vacío y lubricantes, superficies repelentes al agua o contra rayones, material de construcción antibacterial, ventanas que se *auto-limpian* y reaccionan *ecológicamente* al ambiente.
- c) En productos farmacéuticos y del cuidado de la salud. Por ser quizá uno de los más controversiales, la mayoría de los productos se encuentran en proyecto

---

<sup>93</sup> “R&D investment data on nanotechnology are incomplete due to the lack of commonly agreed definitions and statistical frameworks, while publication and patent data only can provide a limited picture of the variegated nature of technological change and innovation” OECD, Directorate for Science, Technology and Industry (DSTI), (2009). Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics. STI working paper 2009/7. Página 4.

como aplicaciones potenciales, incluyen diagnóstico miniaturizados que podrían implantarse y utilizarse en el diagnóstico precoz y el seguimiento de las enfermedades, las capas de nanoescala para mejorar la bioactividad y biocompatibilidad de los implantes, sistemas nanoestructurados ultra-precisos de suministro de dosis en el organismo, chips y sensores para laboratorios, nuevos materiales para regeneración ósea. Además de que hay también otros productos que están ya en el mercado y que utilizan nanotubos y otros componentes nanoescalares sin que el consumidor lo sepa como maquillajes, bloqueadores solares, etc.

- d) En el campos de la maquinaria y las herramientas en general. Nanopolvos sintetizados en materiales a granel para obtener propiedades especiales, sensores extremadamente sensibles para la detección y reparación de fallos, sustancias químico-mecánicas para el pulido a través de nanopartículas, estructuras auto-ensambladoras a nivel molecular, así como materiales inspirados en organismos biológicos y bio-estructuras.
- e) En el aspecto energético. Nuevos tipos de baterías, fotosíntesis artificial para energía *limpia*, celdas solares fotovoltaicas eficientes a un menor costo (como las descritas a través del método ADL), almacenamiento de hidrógeno para su utilización como combustible, etc.
- f) Ambiente y agua. Membranas mejoradas para filtrar el agua, filtros nanoestructurados para remover contaminación de efluentes industriales, mejoramiento de los métodos de remediación como las técnicas fotocatalíticas.<sup>94</sup>

En la figura 30 pueden mostrarse 6 ejemplos de productos nanotecnológicos aplicables a un automóvil pequeño, su finalidad y la empresa que los fabrica. Los ejemplos ahí mostrados son productos que ya se venden actualmente.

---

<sup>94</sup> *Ibidem*, página 26.

Mark Bünger, director de investigaciones de Lux Research Inc. clasifica una generalidad de productos pertenecientes a distintos mercados de acuerdo con dos aspectos principales, su preparación necesaria para salir al mercado y el nivel del impacto que pueden posibilitar en el mismo. De este modo pueden cruzarse am-

bos aspectos para obtener tanto la vanguardia de los productos nanotecnológicos como aquellos que se encuentran relativamente a la zaga. De este modo podemos ver en

la figura 31 algunos de los campos de acuerdo a su nivel de preparación y su impacto. Aquellos productos que requieren de una baja preparación relativa y tienen un bajo impacto pertenecen, por ejemplo, al mercado de minoristas especializados o concesionarios de autos. Manteniéndose en el mismo nivel de bajo impacto pero mayor preparación, están los mercados de la construcción y del software.

Por otro lado tenemos los que podrían estar listos y serían de

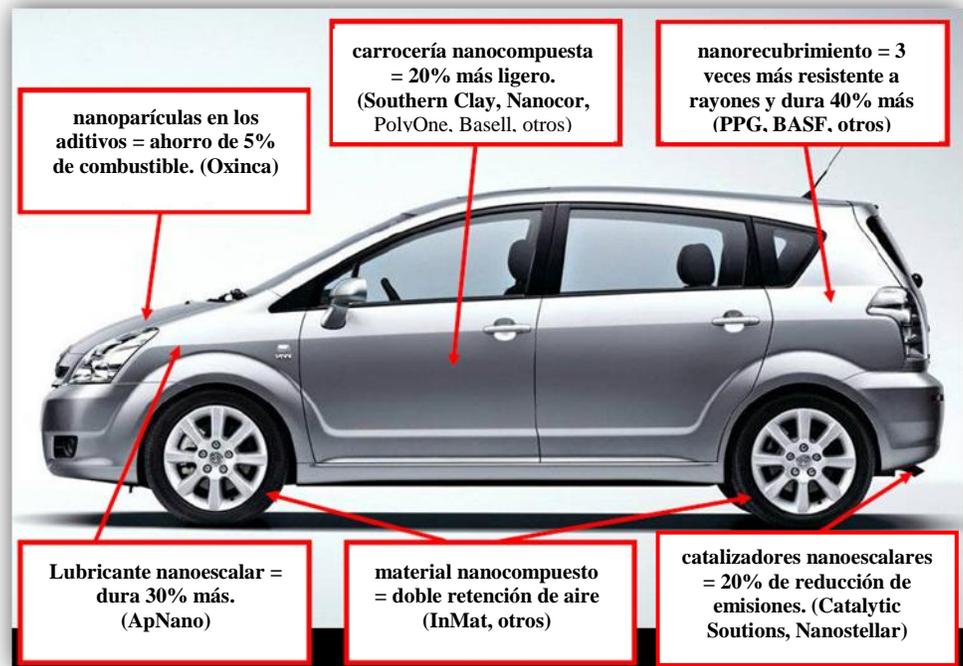


Figura 30. Ejemplo de 6 aplicaciones nanotecnológicas en un automóvil pequeño. Fuente: Bünger, Mark (2007) "Forecasting Impact of science based Innovation". Lux Research".

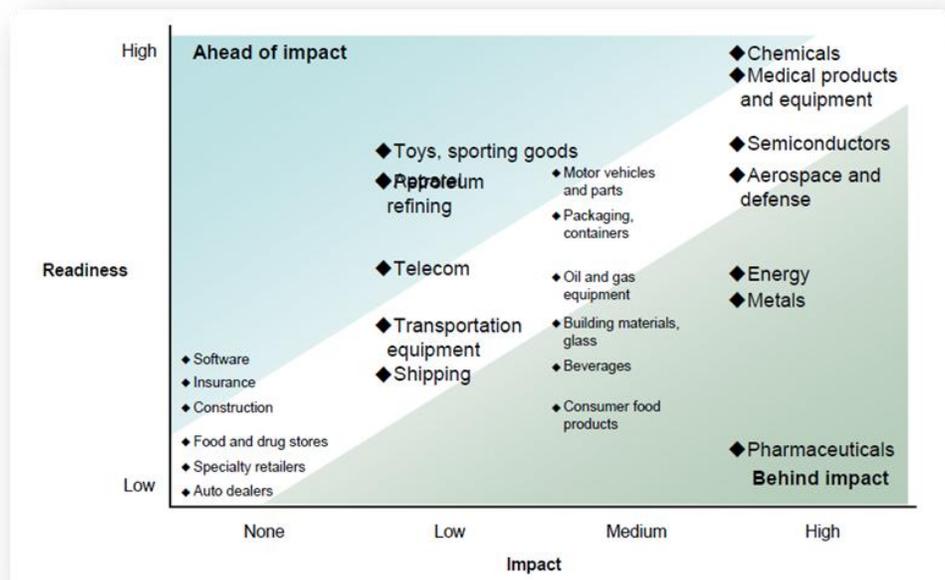
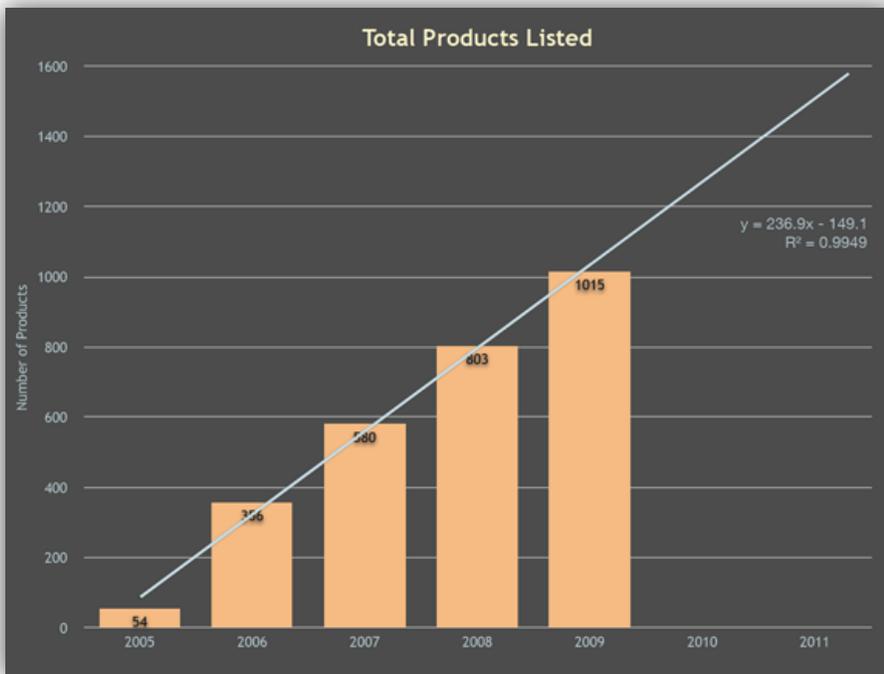


Figura 30. Mercados para productos nanotecnológicos de acuerdo con su preparación e impacto. Fuente: Bünger, *op cit.*

gran impacto como los fármacos. Una combinación de niveles bajos de preparación e impacto medio, pueden encontrarse en las telecomunicaciones, equipos de transporte terrestre y marítimo. Los equipos para la construcción y algunos otros basados en gas y petróleo pertenecen a niveles medios en ambos aspectos.

**Gráfica 1.** Número de productos nanotecnológicos en el listado global del Proyecto de tecnologías Emergentes. 2005-2009.



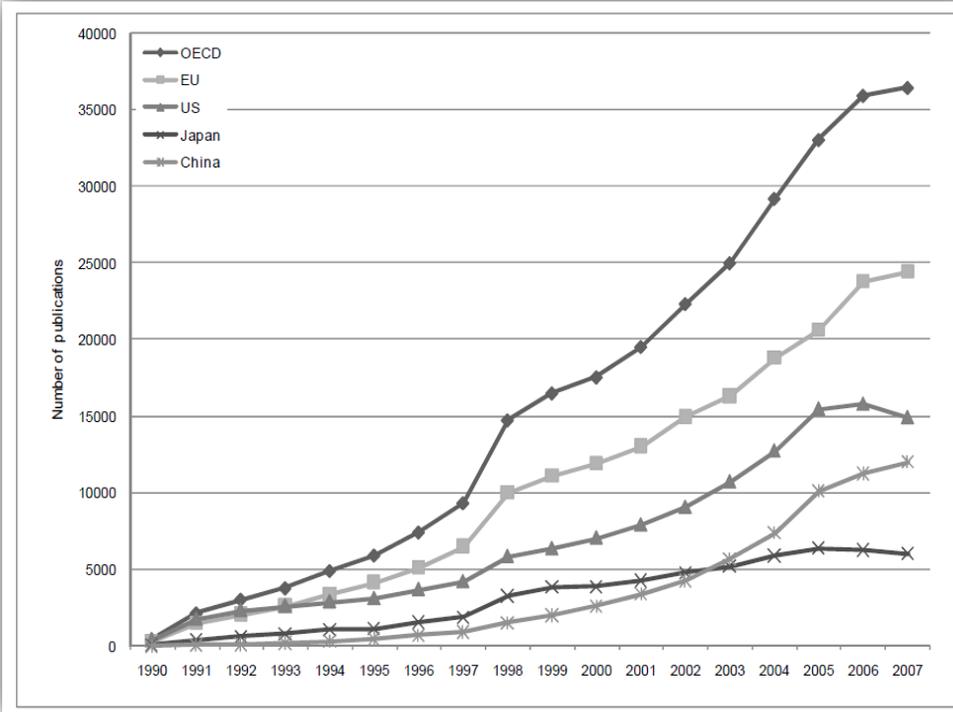
Fuente: Project of Emergent Nanotechnologies, PEN.

sostenida a un alto crecimiento en la aparición de productos nanotecnológicos en el mercado global, a un ritmo aproximado de 236 productos nuevos cada año, contando hasta 2009 con 1015, como puede observarse en la Gráfica 1.<sup>95</sup>

Otro de los aspectos que es necesario mencionar es el número de publicaciones académicas relacionadas con la nanotecnología y nanociencias. De acuerdo a la OCDE, el comportamiento del número de publicaciones puede observarse igualmente como un crecimiento sostenido en el mediano plazo, al menos desde 1990 y hasta 2007.

El Proyecto de Tecnologías Emergentes (Project of Emerging Technologies, PEN) realiza desde hace 5 años un monitoreo de las empresas e instituciones que tienen que ver con el desarrollo nanotecnológico. En el primer inventario que hizo público el año pasado, mostró las principales tendencias respecto a dicho monitoreo. Por el momento nos interesa mostrar que en el inventario hay una clara tendencia

<sup>95</sup> Project of emerging technologies (PEN). (2009). "First publicly available on-line inventory of nanotechnology-based consumer products" disponible a través de: [http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis\\_draft/](http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis_draft/)

**Gráfica 2.** Publicaciones relacionadas a la Nanotecnología 1990-2007.

Fuente: OCDE, *op. cit.* página 36

miembro de dicho organismo. Aunque hay publicaciones relacionadas de años anteriores, el conteo de la OCDE comienza en 1990 y por tanto todas parten de cero en ese año. En el periodo que va de 1990 a 1994 hay un incremento de las publicaciones que llega hasta 500 por año en el total de la OCDE, mientras que en los siguientes cuatro años creció a un ritmo dos veces mayor llegando a un total de 1,500 publicaciones por año en 1998, a 2,500 en 2003 y 3,600 en 2007. La Unión Europea es el conjunto con mayor actividad en este campo llegando a un total de 2500 en 2007, seguida por Estados Unidos con 1,500 y China con 1,250 (cifras redondeadas).

Por otro lado tenemos el análisis de Rafols<sup>96</sup> respecto al número total de publicaciones acumulado en el mismo periodo clasificándolos de acuerdo a las principales categorías temáticas que abordan. En la Tabla 1 podemos observar que para 2005 los campos más activos son la ciencia de materiales con un 14%, física aplicada con 11%, química con 10%, física de materia condensada con 9%, química multidisciplinaria con 7% y ciencia aplicada a polímeros con 5%.

<sup>96</sup> Rafols, I y Porter, A. (2008), "Mapping nanotechnology (1991-2007)". Manuscrito. Citado a su vez en OCDE, *op.cit.* página 37

En la Gráfica 2 se presenta tal tendencia tomando en consideración el total de publicaciones en países de la OCDE, la Unión Europea (EU) incluyendo países que no se encuentran dentro de la OCDE, Estados Unidos (US) Japón y China, ésta última tampoco es país

**Tabla 1.** Publicaciones de nanotecnología por campo científico 1991-2005.

Subject categories of publications	1991	1995	2000	2005
Materials Science, Multidisciplinary	9%	14%	12%	14%
Physics, Applied	17%	13%	13%	11%
Chemistry, Physical	7%	8%	9%	10%
Physics, Condensed Matter	13%	11%	12%	9%
Chemistry, Multidisciplinary	3%	4%	4%	7%
Polymer Science	3%	5%	4%	5%
Engineering, Electrical & Electronic	7%	5%	3%	3%
Physics, Multidisciplinary	2%	3%	3%	3%
Physics, Atomic, Mol. & Chemical	3%	2%	2%	3%
Optics	2%	2%	3%	2%
Electrochemistry	1%	2%	1%	2%
Biochemistry & Molecular Biology	1%	1%	1%	2%
Engineering, Chemical	0%	1%	2%	2%
Chemistry, Analytical	2%	2%	2%	2%
Materials Science, Ceramics	0%	1%	1%	2%
Materials Science, Coatings & Films	3%	1%	2%	1%
Metallurgy & Metallurgical Engineering	1%	2%	2%	1%
Crystallography	2%	1%	2%	1%
Biophysics	1%	1%	1%	1%
Chemistry, Inorganic & Nuclear	1%	1%	1%	1%
Engineering, Multidisciplinary	0%	0%	0%	1%
Multidisciplinary Sciences	2%	1%	1%	1%
Instruments & Instrumentation	1%	1%	1%	1%
Materials Science, Biomaterials	0%	1%	1%	1%
Engineering, Mechanical	0%	0%	1%	1%
Environmental Sciences	0%	0%	0%	1%
Biochemical Research Methods	0%	0%	1%	1%
Chemistry, Organic	0%	0%	1%	1%

Fuente: OCDE, *op. cit.* página 37

de que las iniciativas nacionales en desarrollo nanotecnológico constituyen a su vez, cada vez más una transferencia de fondos a una infraestructura general para posibilitar la inversión nanotecnológica como inversión estrictamente capitalista.

Pues bien, aunque existen diversos pronósticos respecto a qué tanto impactará la nanotecnología y antes de pasar a ellos, haremos una breve anotación. La importancia de la nanotecnología como negocio es aún más notoria en la medida en que puede observarse que la mayoría de las estadísticas al respecto parten de dos aspectos principales: en primer lugar se encuentra cuánto se invierte y de qué magnitud son sus mercados, y en segundo

La razón de la introducción de las publicaciones académicas se toma en cuenta en esta sección de inversión capitalista en la medida de dos tendencias que serán descritas más a detalle en los capítulos 2 y 3; por un lado tenemos el hecho de que cada vez una mayor parte de dichas publicaciones es realizada a partir de financiamiento corporativo o por fondos públicos de iniciativas nacionales en desarrollo nanotecnológico, y por otro lado el hecho

lugar cuál es la tendencia respecto a la *propiedad* en los negocios futuros, principalmente respecto a las patentes. En la mayoría de los análisis se encuentran estos rubros y queda de lado tanto el trasfondo de implicaciones, así como los efectos presentes causados en los campos de la salud, el medio ambiente y el trabajo en general (éste último se ha encontrado sólo marginalmente bajo el tema de *empleos que generará la nanotecnología*). Cabe decir por ejemplo, que los nanotubos de carbono son tan diminutos que pueden traspasar la membrana celular sin que el sistema inmune pueda actuar al respecto. En tanto primer acercamiento, y en la misma medida en que han sido abordados los demás temas en este primer capítulo, aquí nos disponemos a generar un piso mínimo siguiendo algunos lineamientos generales en la *discusión pop* de la nanotecnología desde la economía, principalmente en este apartado de inversión. Los aspectos de salud, medio ambiente y trabajo serán abordados en el capítulo 3 en tanto relaciona la nanotecnología con el *proceso de trabajo* como un todo, desde la crítica de la economía política.

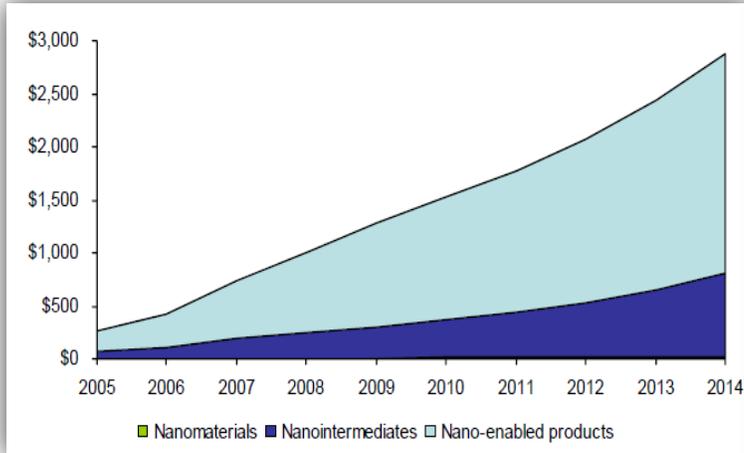
De acuerdo con Lux Research, que es hasta ahora la empresa de monitoreo más grande sobre el negocio de la nanotecnología, el pronóstico de impacto de esta tecnología en la cadena de valor será de hasta \$2.9 billones de dólares –aquí usamos la acepción del idioma español como millón de millones a diferencia del inglés en donde los billones son miles de millones– de los cuales la mayoría los constituirán bienes de consumo final. Dicho pronóstico fue elaborado a partir de la metodología de cadena de valor desarrollada por la misma Lux Research, investigación en fuentes secundarias, así como más de cien entrevistas con ejecutivos y académicos de las principales empresas e instituciones en desarrollo nanotecnológico a nivel mundial durante 2006.<sup>97</sup> Así mismo, Angela Hullman, siguiendo el análisis de la misma empresa reporta que el impacto en los empleos relacionados con nanotecnología podrían alcanzar la cifra de 10 millones también para el 2014, constituyendo el 11% de los ocupados en las manufacturas en el total de países con desarrollo nanotecnológico.<sup>98</sup> Ambas tendencias pueden observarse en las gráficas 3 y 4 que a continuación se presentan.

---

<sup>97</sup> Bünger, Mark, Lux Research Inc. (2007) “Forecasting Impact of science based Innovation”. Conferencia del director de investigaciones de Lux Research. Universidad del Estado de Arizona. Estados Unidos, 13 de abril de 2007.

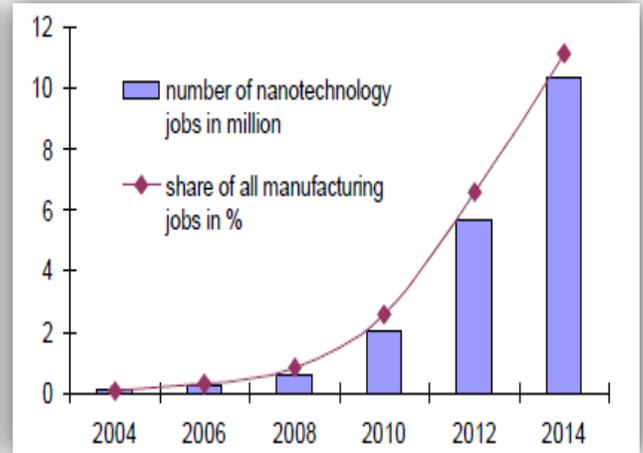
<sup>98</sup> Hullmann, Angela. Comisión Europea, DGRU (2006) “Nano S&T - Convergent Science and Technologies” Versión del 28 de noviembre de 2006. Página 17. Disponible en Internet: <http://cordis.europa.eu/nanotechnology>

**Gráfica 4.** Pronóstico de ventas de productos con nanotecnología incorporada 2005-2014. (Miles de millones de USD)



Fuente: Bünger, *op. cit.*

**Gráfica 3.** Número de empleos relacionados a la nanotecnología y porcentaje de los manufactureros 2004-2014



Fuente: Hullmann *op. cit.* Página 17

Pero al no ser los únicos, la OCDE realizó una selección de diversos pronósticos como se presenta en la siguiente Tabla 2.

**Tabla 2.** Selección de pronósticos para el mercado global de productos nanotecnológicos en miles de millones de dólares (USD) para distintos años

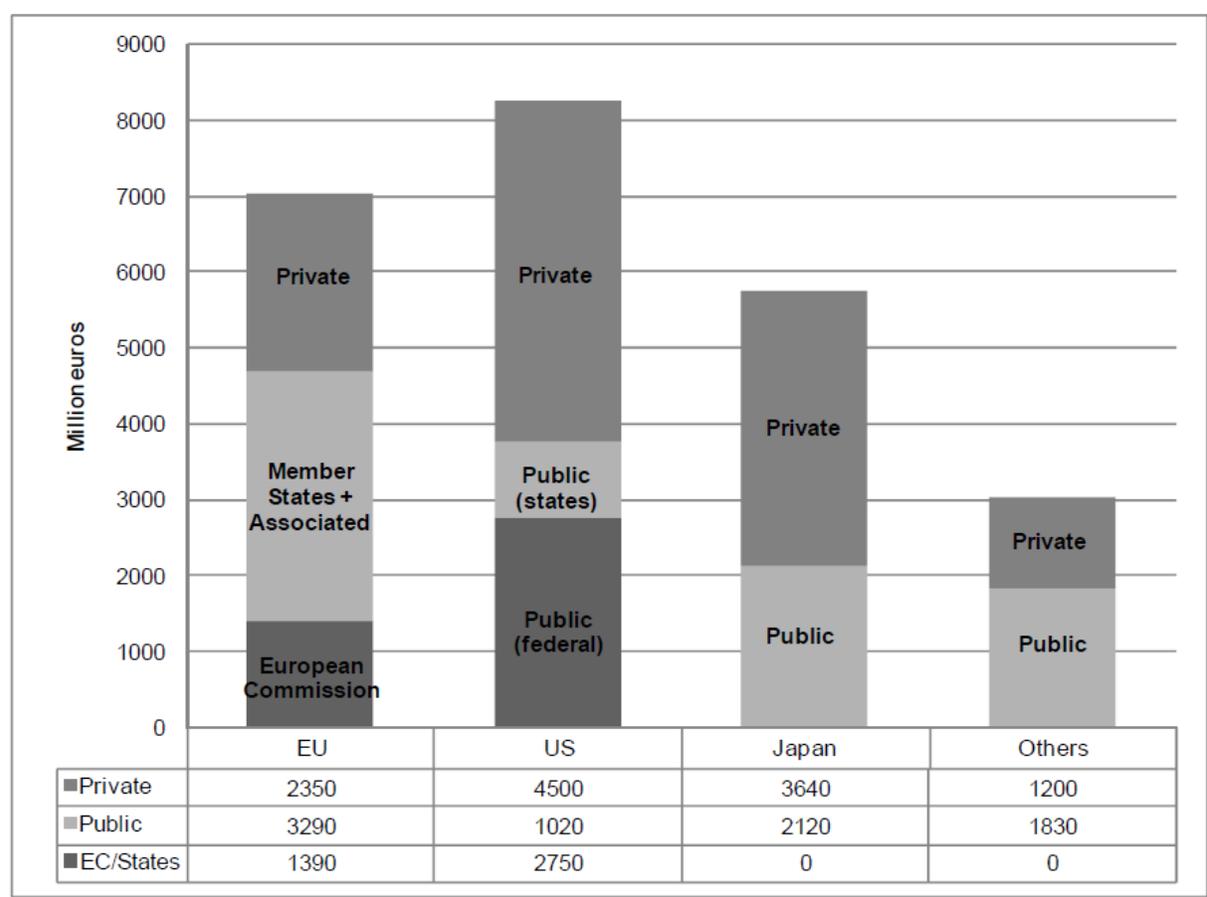
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
LuxResearch (2006, 2008)	30		147							2600	3100
BCC (2008)			12	13			27				
Cientifica (2008)				167				263			1500
RNCOS (2006)						1000					
Wintergreen (2004)											750
MRI (2002)	66					148					
Evolution Capital (2001)	105					700					
NSF (2001)	54										1000

Fuente: OCDE, *op. cit.* página 22.

Por otro lado tenemos que si bien el impacto en la cadena de valor para esos años es un pronóstico, algo a lo que las cifras pueden aproximarse más certeramente es la inversión en Investigación y Desarrollo (I&D o R&D por sus siglas en inglés), así como los sectores que intervienen, sean desde las empresas privadas o bien desde los gobiernos.

Por ejemplo, para el monto acumulado de inversión en I&D en Estados Unidos, la Unión Europea y Japón de 2004 a 2006. Su estructura fue la que se muestra en la siguiente gráfica 5.

**Gráfica 5.** Estructura del monto acumulado de Inversión en I&D en Nanotecnología por sector institucional en el periodo 2004-2006.



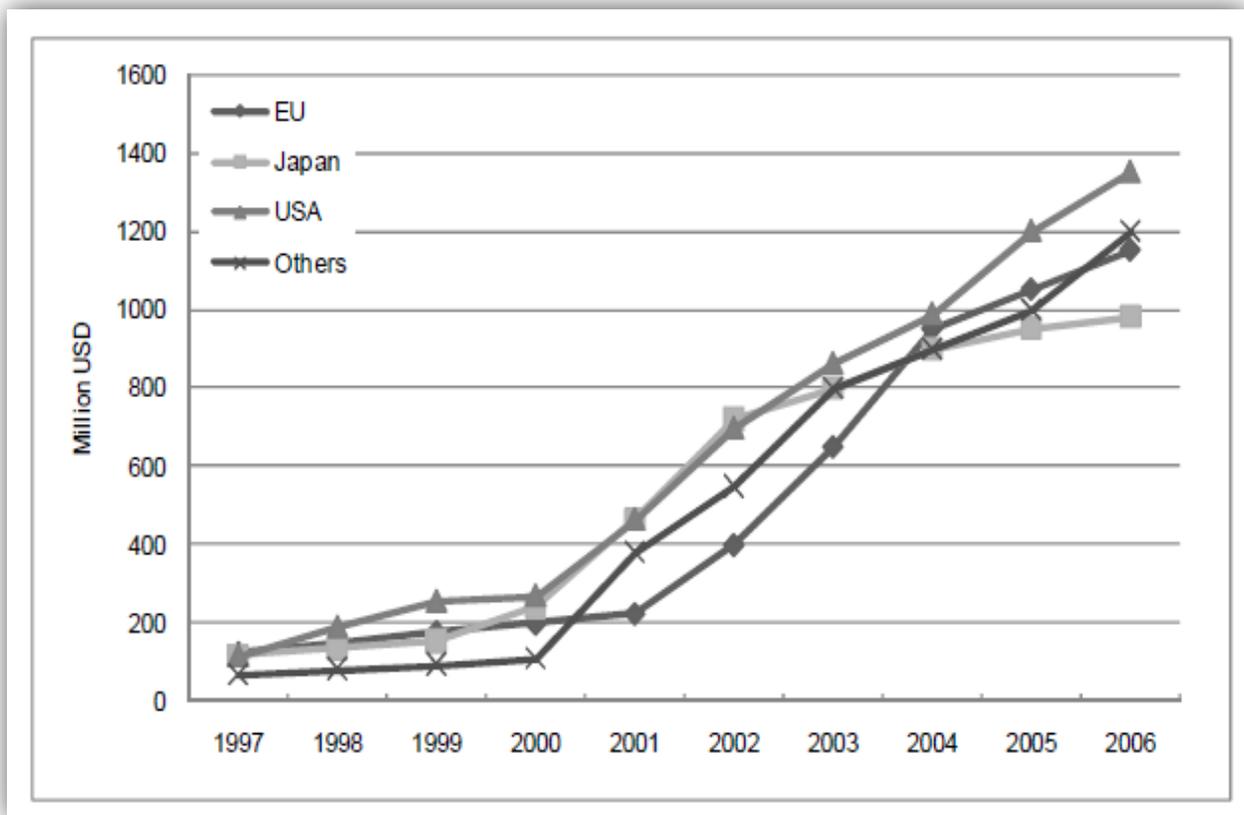
Fuente: OCDE, *op. cit.* página 33.

Cabe mencionar aquí que en los países mostrados en la gráfica 5, la inversión privada constituye entre una tercera y dos terceras partes en cada caso. Sin embargo, el peso relativo del sector privado es en el total del conjunto ligeramente menor que el público. Si se resta el capital de riesgo, la participación de los gobiernos en el financiamiento del desarrollo nanotecnológico es mayoritaria. Desde la última década del siglo pasado, este campo se ha declarado como estratégico por diversos gobiernos y los esfuerzos por participar en la competencia global se ha visto reflejado en cada vez una mayor afluencia de recursos

públicos en torno a la nanotecnología.

Esta tendencia ha sido uno de las estadísticas con mayor seguimiento en el tema. A continuación mostramos en la gráfica 6 la serie elaborada por Mihail Roco para el rubro de inversión pública en nanotecnología de 1997 a 2006.<sup>99</sup> En seguida, para los años 2005-2010 presentamos la gráfica 7 con estimaciones de la OCDE,<sup>100</sup> mismas que han comenzado a tener un seguimiento continuo por el Grupo de trabajo en Nanotecnología (WPN por su siglas en inglés) de dicho organismo.

**Gráfica 6.**  
Inversión pública global en I&D de nanotecnología 1997-2006.  
(Millones de USD)



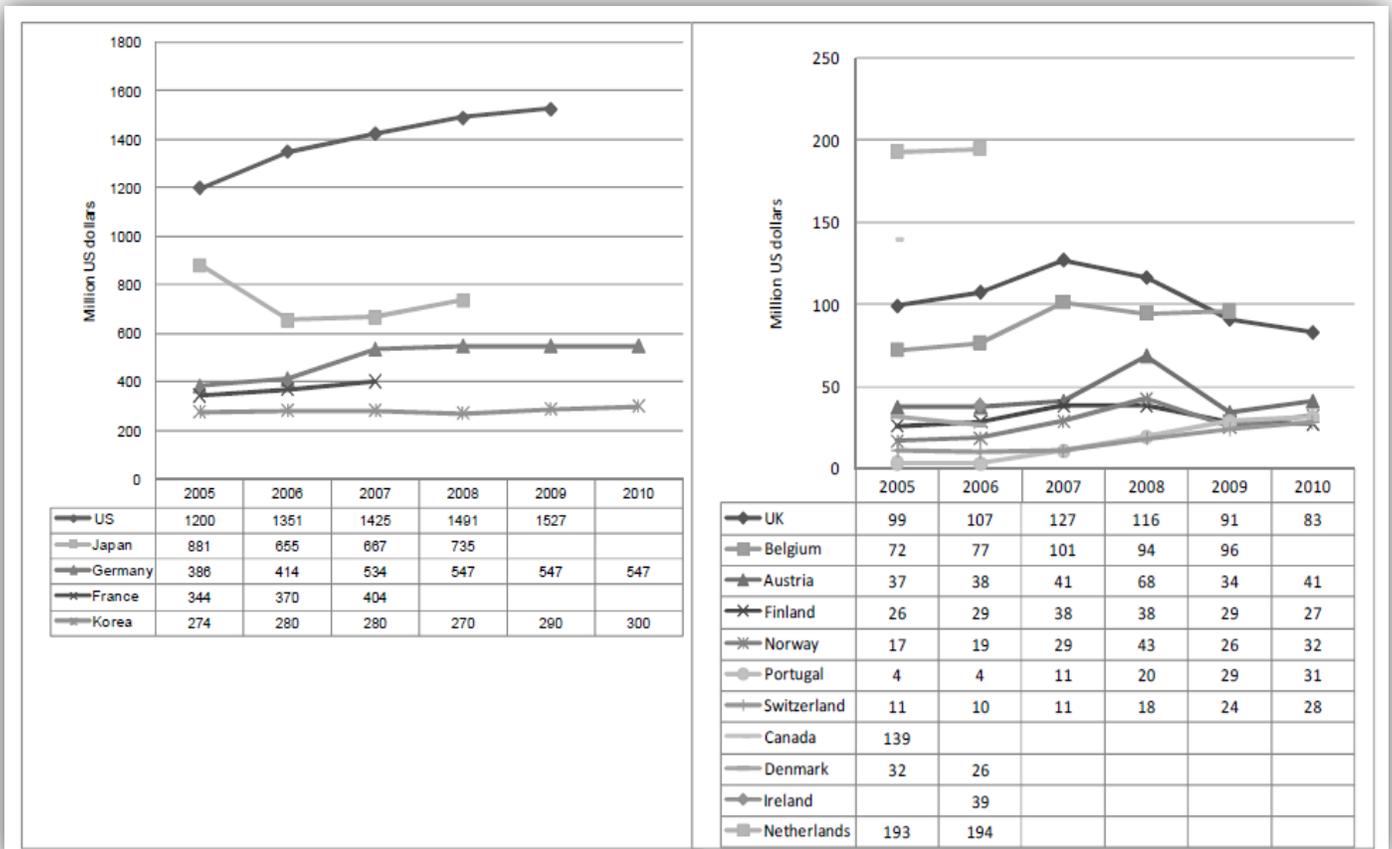
Fuente: Roco, *op. cit.*

<sup>99</sup> Roco, M.C. (2007). The NNI: Past, Present and Future. In Goddard, W.A et ál. Handbook on Nanoscience, Engineering and Technology. CRC, Taylor and Francis, Boca Raton y Londres. 2007, página 3.

<sup>100</sup> OCDE, *op.cit.* página 31.

**Gráfica 7.**

Inversión pública en I&D de nanotecnología por países 2005-2010. Para 2008 a 2010 son estimaciones.  
(Millones de USD)

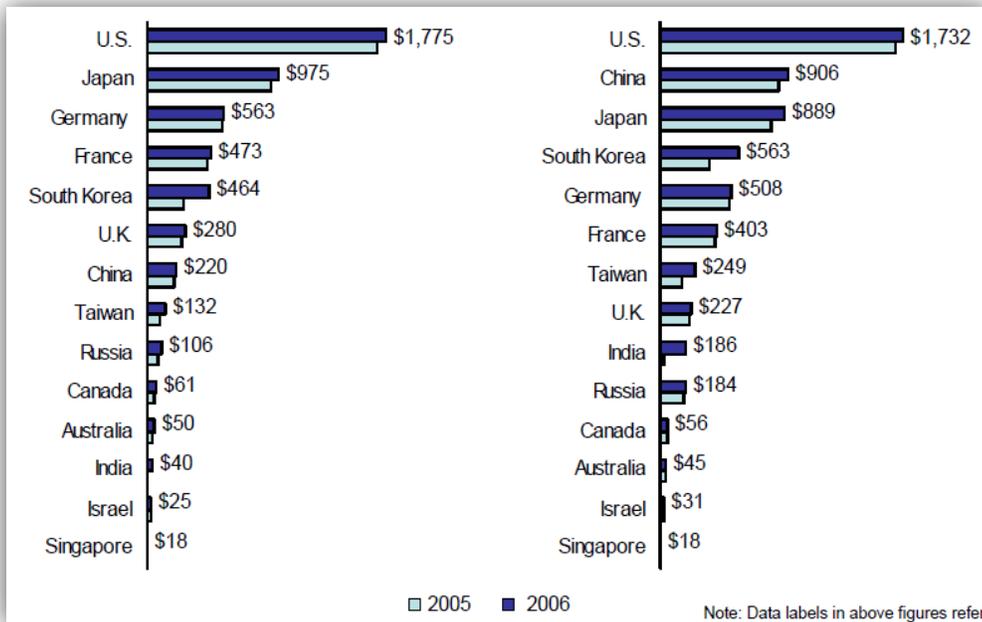


Fuente: WPN de la OCDE, *op. cit.* página 31.

Hasta aquí se ha podido notar un acento en las cifras presentadas respecto a Estados Unidos, la Unión Europea y Japón. Esta tendencia a poner un cuidado especial en este grupo de países se debe al notorio despliegue de recursos que tanto el capital privado como los gobiernos de esos países han podido poner en el terreno de la competencia global en nanotecnología.

**Gráfica 8.**

Financiamiento gubernamental para nanotecnología por países. 2005-2006. Millones de USD a tasas de cambio corrientes (izquierda) y Millones de USD a paridad de poder adquisitivo (PPP) (derecha)



Fuente: Burns, Rob (2007). "International Nanotechnology Initiatives: Measuring Progress"

Otro de los aspectos en que se pone mucho énfasis en la generalidad de la comparación de estadística económica, es la cantidad de dinero que los distintos gobiernos del mundo han invertido. Para mostrar estos datos y su tendencia puede acudirse tanto a la gráfica 7 anterior como a la gráfica 8 que viene enseguida, en donde Rob

Burns,<sup>101</sup> vicepresidente de Lux Research, hace la comparación sólo para dos años además de realizarla sopesando la paridad de poder adquisitivo (PPP) en función de cada país.

Y para apreciar el destino de las inversiones hasta aquí mencionadas podemos observar en la gráfica 9 un comparativo realizado para 2005 por Mark Bünger<sup>102</sup> respecto a algunas de las áreas principales de la nanotecnología (según Lux Research) según el origen de la inversión, ya sea capital privado, fondos públicos y un rubro que se ha mantenido sin presentación hasta aquí debido a que en las metodologías de las distintas instituciones no siempre es incluido, las inversiones en capital de riesgo. En ella podemos observar que mientras el gobierno y el capital de riesgo mantienen una proporción medianamente homogénea entre los sectores más grandes en que Lux Research clasifica los sectores destino –materiales, electrónica y *ciencias de la vida*– las corporaciones invierten

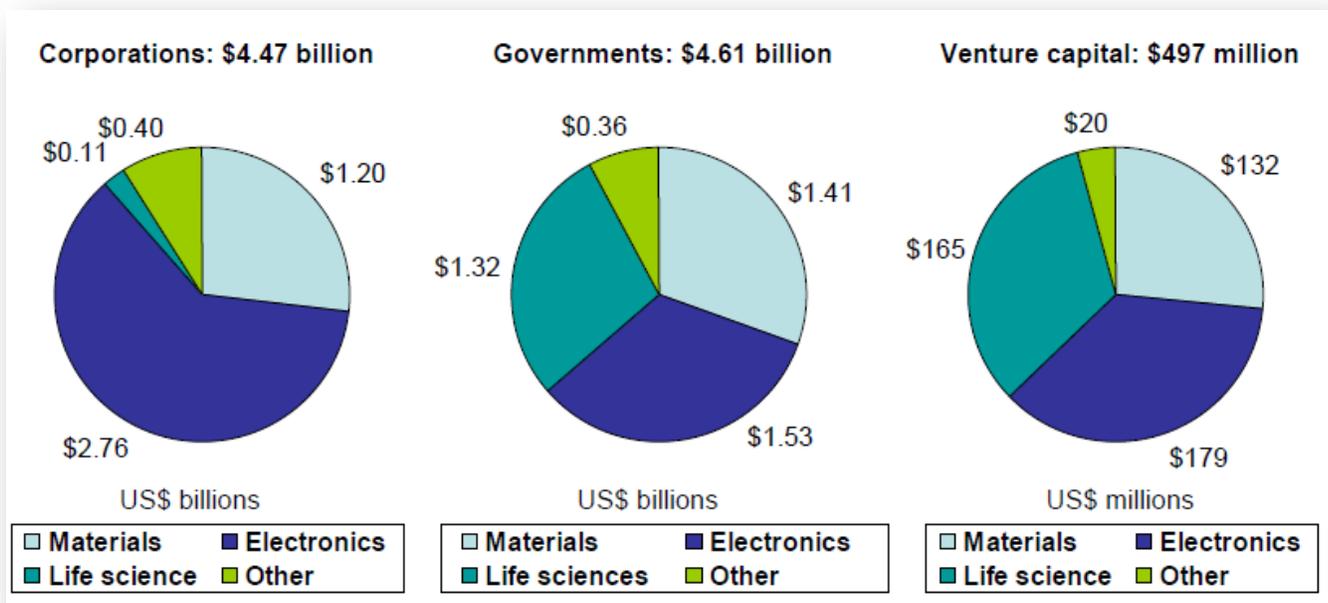
<sup>101</sup> Burns, Rob (2007). "International Nanotechnology Initiatives: Measuring Progress" Lux Research Inc. Nueva York, Estados Unidos. 29 de Marzo de 2007.

<sup>102</sup> Bünger, *op. cit.*

principalmente en electrónica y después en materiales, con una relativa baja participación de las *ciencias de la vida*, por lo menos bajo las clasificaciones de Lux Research.

**Gráfica 9.**

Financiamiento nanotecnológico a nivel mundial por sector destino de acuerdo a origen de la inversión. 2005.



Fuente: Bünger, *op. cit.*

La OCDE, por otro lado, tiene una clasificación distinta, a la cual llama *sub-áreas de la nanotecnología*: Nanomateriales, Nanoelectrónica, Instrumentos (STMs y ATMs, por ejemplo), Nanobiotecnología, Nano-óptica y Nanomagnetismo. Esta clasificación nos parece más pertinente en la medida en que permite hacer algunos análisis de forma desagregada.

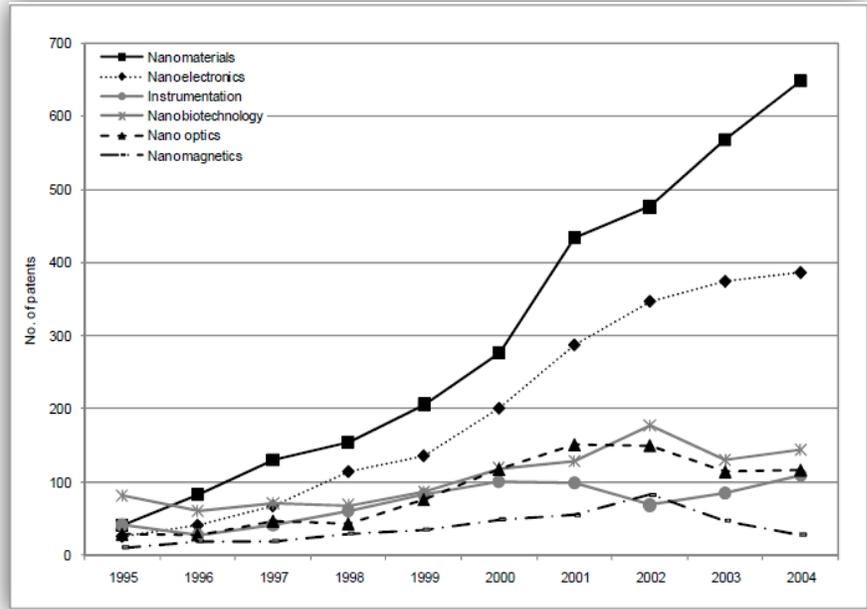
Si bien los montos de inversión son un referente general, un aspecto que puede arrojar un panorama no sólo respecto al presente, sino a cómo se prepara el terreno futuro en la competencia capitalista de la nanotecnología, es el tema de las patentes. Al igual que el mencionado interés por generar una infraestructura sobre la cual hacer crecer una industria nanotecnológica, el tema de la *propiedad intelectual* corre al paralelo mostrando cómo en el futuro cercano, la entrada estará limitada a quien pague por derechos de propiedad sobre una industria que fue reclamada incluso años antes de que se conocieran sus procesos

productivos.

Observamos en la gráfica 10 una serie histórica de las patentes en cada una de las sub-áreas de la nanotecnología a nivel global. Los nano-materiales han sido el área más activa seguida por la nanoelectrónica y la nanobiotecnología. El total de patentes ha tenido en estos años un crecimiento que no tiene referente anterior respecto a nuevas tecnologías, es aún mayor que el ocurrido tanto en el surgimiento de tecnologías computacionales como en los primeros años de la biotecnología. Tenemos también en la gráfica 11 la distribución porcentual de las patentes de acuerdo con la sub-área a la que pertenecen en el total acumulado de 1995 a 2010. La concentración de las patentes en el área de materiales nos da una tendencia también respecto al estado de desarrollo de las nanotecnologías, con lo que

**Gráfica 10.**

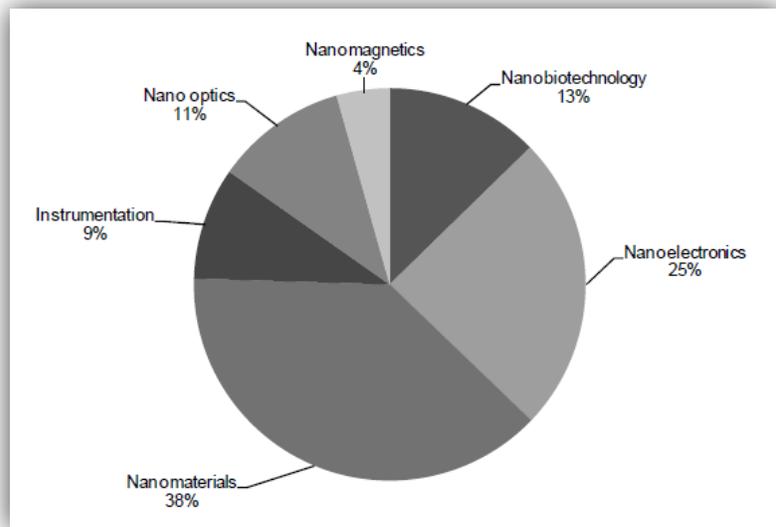
Número de patentes nanotecnológicas por sub-áreas. 1995-2004.



Fuente: Base de datos de Patentes de la OCDE y OCDE, op. cit. página 57.

**Gráfica 11.**

Porcentaje de patentes por sub-área nanotecnológica. 1995-2005.



Fuente: Base de datos de Patentes de la OCDE y OCDE, op. cit. página 56.

podríamos decir de manera general, que se encuentra en la etapa 1 de las descritas por el Grupo ETC, pero a juzgar por las sub-áreas que le siguen en importancia, un terreno de juego futuro se está preparando desde nuestros días.

Sin embargo, y volviendo al tema de las estadísticas y las metodologías para organizarlas, si bien es cierto que los países con mayor actividad en estos rubros pertenecen a la OCDE y en la base de datos de la misma puede hacerse un análisis general, también han existido diversos esfuerzos por hacer comparativos más detallados. Xin Li, Yiling Lin,

**Tabla 3.**

Campos de datos de las patentes en la USPTO, EPO y JPO

	USPTO	EPO	JPO
Patent ID	✓	✓	✓
Publication date	✓	✓	✓
Inventor name	✓	✓	✓
Assignee (applicant) institution name	✓	✓	✓
Assignee (applicant) country	✓	✓	N/A
Patent classification code	IPC USPC	IPC EPC	IPC EPC
Patent citation information	✓	✓	N/A
Title	✓	✓	✓
Abstract	✓	✓	✓
Claim	✓	✓	✓
Description	✓	✓	✓

Fuente: Li, Xin, *et ál.* página 981.

Hsinchun Chen y Mihail C. Roco publicaron en 2007 un análisis comparativo entre las patentes nanotecnológicas de la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de los Estados Unidos (U.S. Patent and Trademark Office, USPTO) la Oficina Europea de Patentes (European Patent Office, EPO) y la Oficina Japonesa de Patentes (Japan Patent Office, JPO)<sup>103</sup>, para lo cual evaluaron los campos disponibles en las diferentes bases de datos, mismos que pueden encontrarse esbozados en la tabla 3. Considerando los campos que les son comunes a los tres, se realizó un banco de datos de patentes en

base los resultados de la búsqueda de un grupo de palabras clave. Dichos resultados pueden clasificarse además de acuerdo a tres criterios; el primero contempla una búsqueda sobre la totalidad de los campos disponibles en cada caso, “búsqueda por texto completo” (o “*full-text search*”), el segundo parte de una “búsqueda título y resumen” (“*title-abstract search*”) y el tercero contempla los campos de título, resumen y petición, “búsqueda título-petición” (“*title-claim search*”). Además hay que tomar en cuenta que los datos de la USPTO parten del año 1976, en tanto el de las otras dos oficinas comienza en 1978. Debido a la heterogeneidad de las bases, la que arroja resultados pertinentemente comparables es la “búsqueda título y resumen”, en base a lo cual se presentan los siguientes datos.

<sup>103</sup> Li, Xin, *et ál.* (2007). “Worldwide nanotechnology development: a comparative study of USPTO, EPO, and JPO patents (1976–2004)” en *Journal of Nanoparticle Research* número 9, 2007. Páginas 977–1002.

**Tabla 4.**  
Número de patentes recolectadas bajo la búsqueda “título y resumen”  
en la USPTO, la EPO y la JPO para cada año.

Year	Nanotechnology patents		
	USPTO	EPO	JPO
1976	9	0	0
1977	18	0	0
1978	23	0	0
1979	11	0	1
1980	15	3	1
1981	25	3	0
1982	25	5	1
1983	24	6	1
1984	25	7	4
1985	33	7	1
1986	27	9	8
1987	46	10	0
1988	39	23	8
1989	65	24	6
1990	57	47	13
1991	85	35	29
1992	121	28	46
1993	123	42	45
1994	128	67	70
1995	160	73	65
1996	205	71	66
1997	238	93	51
1998	297	112	54
1999	367	125	78
2000	422	141	86
2001	524	235	78
2002	582	308	83
2003	739	364	78
2004	930	478	50

Fuente: Li, Xin, *et ál.* página 982.

embargo pertenecer a instituciones o empresas de Europa, Japón, o algún otro país. Su periodo de estudio termina en el año 2003 y parte también desde 1976, sin embargo se utilizaron tanto la búsqueda “texto completo” como la “texto-petición”, a pesar de las

Primeramente tenemos el número de patentes registradas en cada año en cada una de las oficinas antes mencionadas (ver tabla 4). La que primeramente comienza su actividad es la USPTO manteniéndose por encima del número de patentes registradas tanto en la EPO como en la JPO, hasta llegar a constituir de forma ininterrumpida desde 1991 un número que es mayor en cada año a la suma de las otras dos. Durante los últimos 10 años del periodo de estudio, la proporción en que se han incrementado las patentes es de 1 a 6 en la USPTO y de 1 a 7 en la EPO. Por otro lado en la JPO su punto más alto de producción de patentes por año fue en el año 2000.

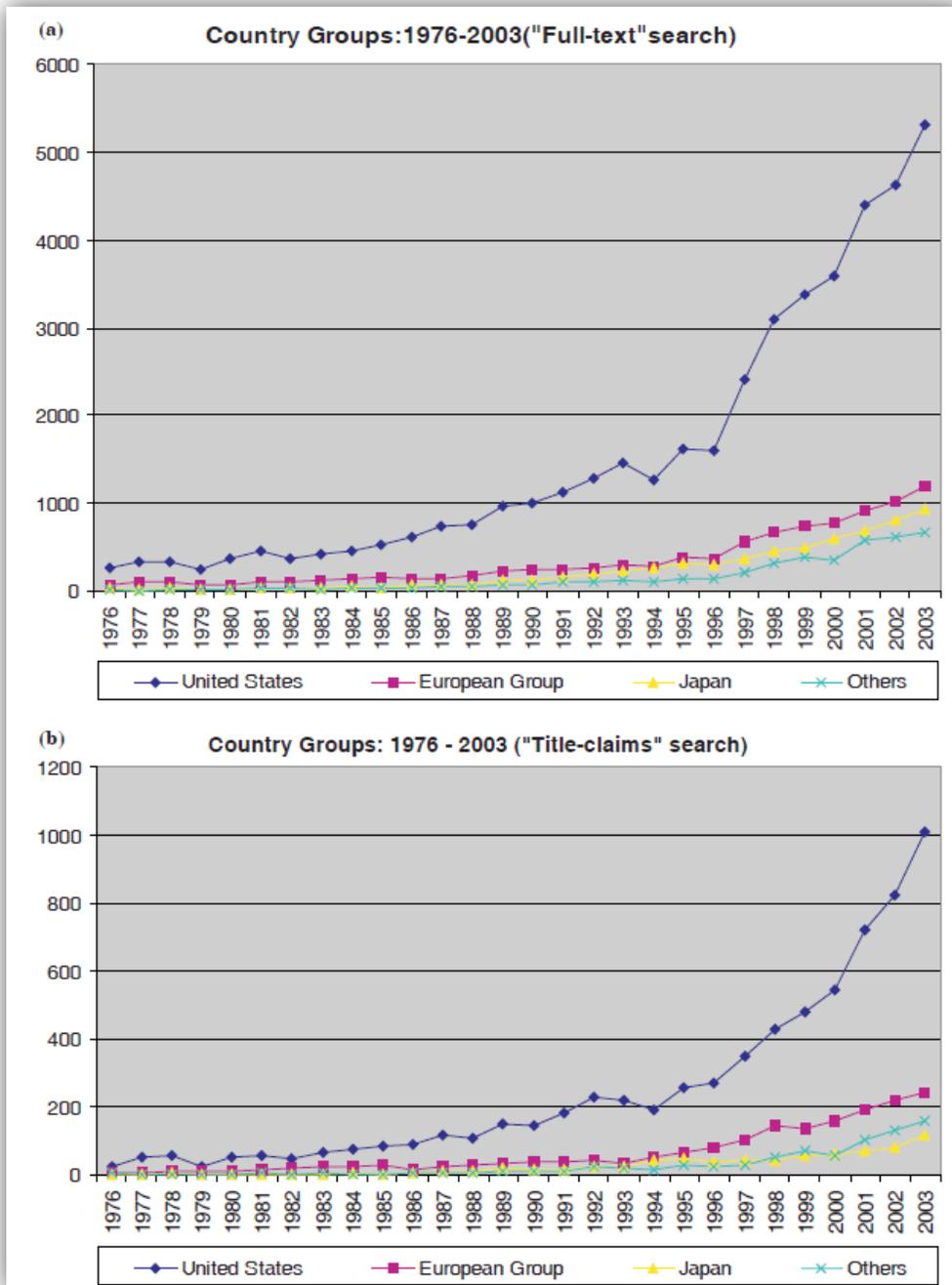
Otro estudio, ésta vez aplicado sólo para la USPTO por Zan Huang, Hsinchun Chen, Zhi-Kai Chen y Mihail C. Roco <sup>104</sup> revela otro tipo de tendencias importantes, particularmente en lo que se refiere a los países de origen de los propietarios de las patentes, ya que pueden ser patentes de las oficinas de Estados Unidos y sin

<sup>104</sup> Huang, Zan, *et ál.* (2004). “International nanotechnology development in 2003: Country, institution, and technology field analysis based on USPTO patent database” en *Journal of Nanoparticle Research* número 6, 2004. páginas 325–354.

diferencias que supone cada una la tendencia es casi la misma por ambos métodos. Si bien el número de patentes adjudicadas por Estados Unidos fue mayor desde un inicio, desde 1995 puede observarse una clara tendencia a dejar a la zaga por una buena diferencia al resto de países (ver gráfica 12).

**Gráfica 12.**

Número de patentes por año según grupo de países propietarios. 1976-2003.  
(a) búsqueda "texto completo" (b) búsqueda "título-petición"



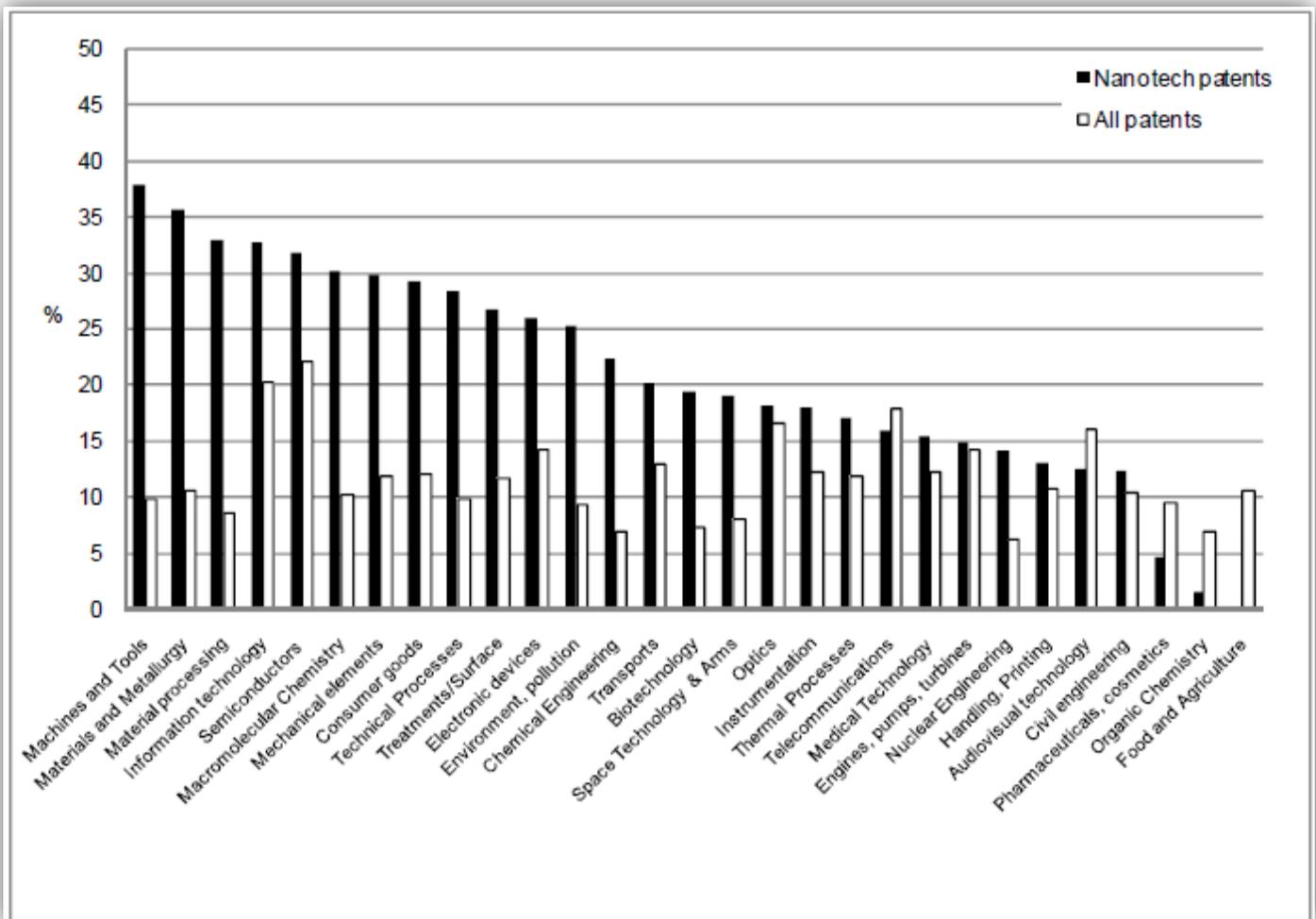
Nos parece también significativo en este primer acercamiento, mencionar al menos dos aspectos más sobre la generalidad de la competencia capitalista en nanotecnología.

El primero de ellos es el ritmo de crecimiento de las patentes nanotecnológicas en comparación con el ritmo de crecimiento del resto de las patentes en general. Tal y como ocurre en la clasificación por subáreas de la nanotecnología, la OCDE dividió el total de patentes en 29 áreas distintas –desde las

máquinas y herramientas, pasando por las tecnologías de la información, semiconductores, procesos técnicos, transportes, biotecnología, óptica, ingeniería civil y hasta la comida y la agricultura— y a partir de ellas evaluó la tasa de crecimiento promedio anual de 1995 hasta 2004 en cada una, separando las patentes nanotecnológicas del resto. El resultado puede apreciarse en la gráfica 13, en la que el ritmo de crecimiento de las patentes nanotecnológicas supera por mucho la tasa promedio de crecimiento anual en 24 de los 29 campos de aplicación, siendo precisamente el de maquinaria y herramientas el campo más activo con una tasa promedio de 38% en comparación con el 10% de las demás patentes.

**Gráfica 13.**

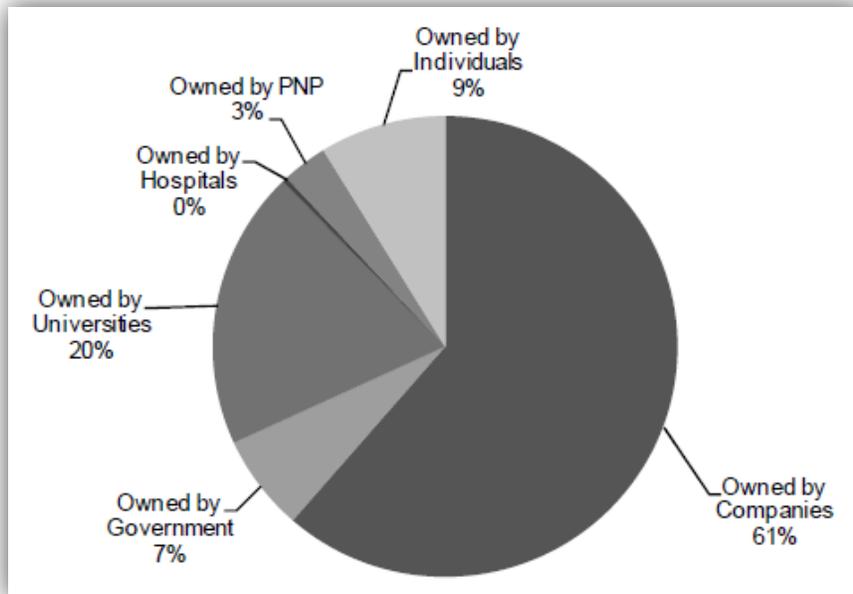
Tasa promedio de crecimiento anual de las patentes nanotecnológicas y de todas las patentes según campo de aplicación. 1995-2004.



Fuente: OCDE, *op. cit.* página 60.

**Gráfica 14.**

Porcentaje de patentes nanotecnológicas por sector institucional en el total acumulado hasta 2005.



Fuente: OCDE, *op. cit.* página 61.

se clasifican las patentes de acuerdo al porcentaje del *sector institucional* al que pertenecen, ya sean individuos, empresas, gobiernos, universidades, hospitales u organizaciones privadas sin fines de lucro (PNP). El resultado es muy claro. La gran mayoría de las patentes son propiedad de empresas (61%), seguidas por el 20% que es de universidades y el 9% que es propiedad de individuos, el gobierno, por su parte, tiene apenas el 7% y las organizaciones privadas no lucrativas el 3%, además de que, redondeando, los hospitales no alcanzan ni el 1%.

Pero ¿cuáles son tales empresas? ¿A qué se dedican y cómo han operado? La respuesta a preguntas como éstas es de importancia fundamental para poder realizar un análisis sobre el presente y el futuro del desarrollo nanotecnológico. *Para muestra un botón.* La lista que presentamos a continuación son las 30 instituciones con mayor número de patentes nanotecnológicas durante el 2003 al 2005 en la base de datos de las patentes de la OCDE.

El segundo aspecto es en cuanto a los *actores institucionales*, ya que en los diversos análisis sobre patentes no podría contemplarse un panorama más asentado sólo tomando en cuenta el país de origen de los propietarios de las mismas, ya que también ocurre que hay instituciones que no pertenecen a un solo país y que sin embargo acaparan la mayoría de las patentes. En la gráfica 14

**Tabla 5.**  
Top 30 de propietarios de patentes nanotecnológicas  
con mayor número en el periodo 2003-2005.

Assignee	No. of nanotech patents
Philips Electronics	85
Japan Science and Technology Agency	82
The Regents of the University of California	81
Hewlett-Packard Development Company	69
Commissariat a l'energie atomique (CEA)	52
NEC Corporation	41
Intel Corporation	39
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	39
3M Innovative Properties Company	36
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	32
Nantero, Inc.	32
William Marsh Rice University	32
Matshushita Electric Industrial Corporation	31
International Business Machines Corporation (IBM)	29
Canon	27
Esatman Kodak Company	27
TDK Corporation	25
Agency for Science, Technology and Research	25
CNRS	24
Evonik Degussa GmbH	23
California Institute of Technology	23
Molecular Imprints	22
Nanosys, Inc.	21
Du Pont de Nemours and Company	20
Infineon Technologies	19
Kyoto University	19
Pioneer Corporation	19
Philips Intellectual Property & Standards GmbH	18
Bussan Nanotech Research Institute Inc.	18

Fuente: OCDE, *op. cit.* página 63.

Entre el top 30 podemos encontrar que 24 de ellas son empresas, algunas ya reconocidas como HP, Philips, IBM o Intel.

En la medida en que son empresas capitalistas los principales actores en el desarrollo nanotecnológico, el desempeño presente y futuro del mismo quedará marcado y determinado en su funcionamiento general por la dinámica capitalista. El gran ausente en la mayoría de los análisis sobre nanotecnología es precisamente su carácter capitalista.

Estudios como los de ETC son un ejemplo

de excepción de aquella mayoría, pero éstos no son en definitiva una generalidad. De este modo parece que sólo importa si hay o no estudios sobre salud y medio ambiente, o si existe

la posibilidad o no de la generación de nanobots, y se pasa peregrinamente por el hecho de que independientemente de si se llega a tal o cual punto, desde el presente asume su desarrollo conducido por empresas que lo conciben como estratégico en la generación de ganancias. ¿y acaso puede esperarse algo diferente de IBM, Canon o Du Pont?

El punto aquí es entonces pasar a analizar el desarrollo nanotecnológico como un proceso que es efectivamente novedoso, pero que sin embargo no puede desligarse de la dinámica general que le da origen; la de la relación del desarrollo tecnológico y el desarrollo económico capitalista, que se inscribe por tanto bajo la Ley general de acumulación capitalista y la Ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia, debate que hemos de comenzar en el siguiente capítulo.

---

## Capítulo 2. El desarrollo nanotecnológico estadounidense enmarcado por el desarrollo económico capitalista.

---

**“Si bien la ciencia y la tecnología estadounidenses benefician al mundo entero, es vital reconocer que la superioridad tecnológica es la base fundamental de la prosperidad económica y la seguridad nacional de los Estados Unidos”**

***National Science Foundation (USA).  
Converging Technologies for improving human performance.***

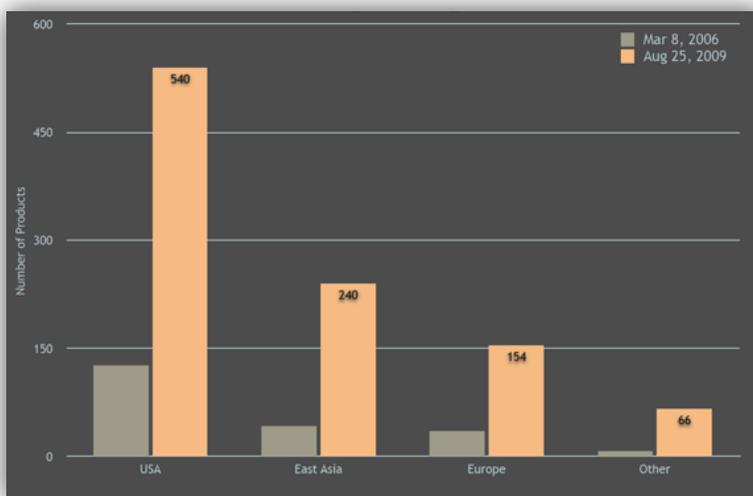
Corresponde a este capítulo segundo juntar elementos particulares del desarrollo nanotecnológico en Estados Unidos con elementos generales del desarrollo tecnológico capitalista. El objetivo principal aquí es que esta conjunción pueda ser estudiada como un proceso singular inmerso en la dinámica de acumulación capitalista.

En el capítulo anterior hemos mostrado algunas tendencias de la inversión tanto pública como privada a nivel mundial. En dichas tendencias podía notarse el gran peso relativo que mantiene el papel de *Estados Unidos*. En este capítulo se argumentará cómo los inversionistas estadounidenses van a la vanguardia del negocio nanotecnológico, pero a la vez, cómo ese *liderazgo* presenta características que permiten situarlo en una dinámica más general: la de la relación que guardan el desarrollo tecnológico actual con el desarrollo económico capitalista. Para ello básicamente hemos dividido este capítulo en 3 partes. La primera se encarga de apuntar en forma general el papel predominante de Estados Unidos en la competencia internacional capitalista en nanotecnología, así como mostrar la conjunción del Estado y el Capital como una de las piedras angulares en que se apoya esta tendencia. La segunda parte aborda críticamente la relación entre *Estado* y *Capital*, mostrando que la mancuerna presentada en Estados Unidos respecto al desarrollo nanotecnológico, no escapa de un *proceso histórico de largo plazo*, en el que dicha relación es pieza fundamental del desarrollo económico capitalista. Para ello será necesario primero

encontramos elementos comunes en el largo plazo. Particularmente se abordará la relación que existe entre el desarrollo tecnológico con la *ley general de acumulación capitalista* y con la *Ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia*. En el capítulo 0 hemos explicado qué elementos de dichas *leyes* consideramos necesarios previamente a la argumentación de este capítulo. Finalmente, en la tercera parte postularemos que la competencia nanotecnológica presentada como *inter-nacional* es más una competencia *inter-capitales* –en la que el capital estadounidense juega un papel *hegemónico*– con un alto grado de centralización y concentración, barreras a la entrada y proteccionismo estatal. Además, llegados a ese punto, podremos afirmar algo a todas luces evidente y que sin embargo es necesario puntualizarlo y darle una base argumental firme; que el desarrollo nanotecnológico estadounidense muestra características suficientes para tomarlo como un caso particular del desarrollo tecnológico capitalista y, por tanto, ni su forma ni sus resultados tendrían por qué estar fuera de los resultados de la ley general de acumulación capitalista, es decir, que a mayor acumulación de capital por un lado le corresponde una mayor acumulación de miseria y pobreza por el otro.

## 2.1. “Estados Unidos” a la vanguardia del negocio nanotecnológico.

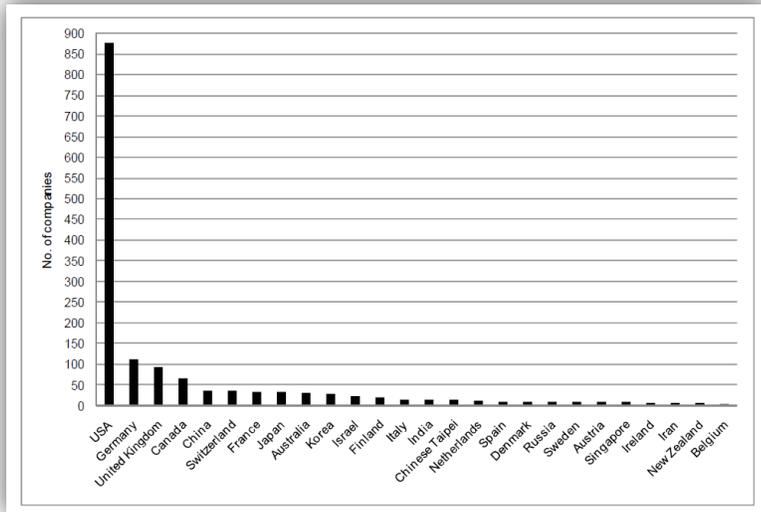
**Gráfica 1.** Número de productos nanotecnológicos por región de origen. Comparativo mayo de 2006, agosto de 2009.



Fuente: PEN *op. cit.*

Además de las tendencias mostradas en el capítulo anterior en el que se mostraba a EUA como el país de origen del mayor porcentaje en inversión, tanto pública como privada, todavía desde un plano superficial de *estrategia empresarial*, pueden mostrarse algunos otros indicadores respecto al mercado presente en nanotecnología. El Proyecto de nanotecnologías emergentes (*PEN*

**Gráfica 2.**  
Compañías de nanotecnología por país. 2008.



Fuente: OCDE *op. cit.* página 24.

Europa (154) para el año 2009 (ver gráfica 1). Por otro lado, como reporta la OCDE,<sup>2</sup> tenemos también una proporción claramente mayor del número de empresas estadounidenses respecto al total a nivel mundial en nanotecnología (ver gráfica 2). Para 2008, en el número de compañías de nanotecnología que tenía registrada la OCDE, si se comparan respecto a cada país, el número de empresas en Estados Unidos es aproximadamente la mitad de las 1680 a nivel mundial en noviembre de 2008.

Otro de los indicadores de actividad nanotecnológica son *mapas de citas cruzadas* entre artículos de nanotecnología. Mostramos a continuación un mapeo peculiar de referencias cruzadas, ya que es realizado entre los textos de patentes. El trabajo fue realizado en 2007 por Xin Li, Yiling Lin, Hsinchun Chen y Mihail Roco.<sup>3</sup> En la figura 1 tenemos las referencias cruzadas en las patentes registradas en la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de los Estados Unidos (U.S. Patent and Trademark Office, *USPTO*).

<sup>1</sup> Project of emerging technologies (PEN). (2009). “First publicly available on-line inventory of nanotechnology-based consumer products” disponible a través de: [http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis\\_draft/](http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis_draft/)

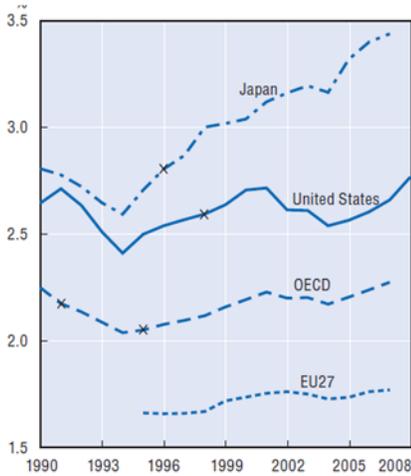
<sup>2</sup> OECD, Directorate for Science, Technology and Industry (DSTI), (2009). Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics. STI working paper 2009/7. Página 24.

<sup>3</sup> Li, Xin, *et al.* (2007). “Worldwide nanotechnology development: a comparative study of USPTO, EPO, and JPO patents (1976–2004)” en *Journal of Nanoparticle Research*. 2007, 9. Páginas 997-998. Aunque algunos de los datos del mismo estudio fueron mostrados en el capítulo anterior, baste recordar aquí que de las varias metodologías para hacer comparaciones de patentes, en la medida en que no todas las oficinas llevan los mismos estándares de registro, los resultados presentados a continuación parten de los parámetros de búsqueda “Titulo-resumen”.

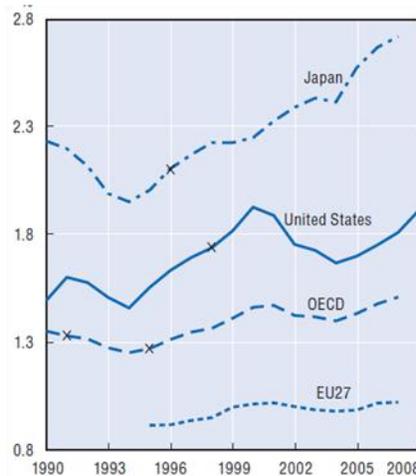
por sus siglas en inglés) a través de un rastreo de productos nanotecnológicos, muestra un comparativo del número de productos por región de origen para mayo de 2006 y agosto de 2009<sup>1</sup>. Tanto en una como en la otra fecha, el recuento muestra claramente cómo la mayor parte de ellos provienen de los Estados Unidos, siendo éstos más del doble (540) que los de la zona que le sigue, que es el este asiático con 240 y más del triple que los de



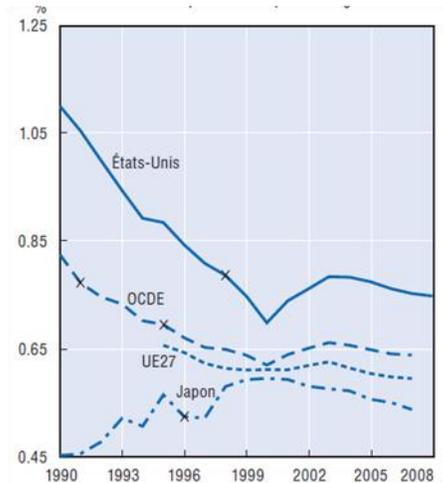
**Gráfica 6.**  
Gasto en I&D como % del PIB. 1990-2008



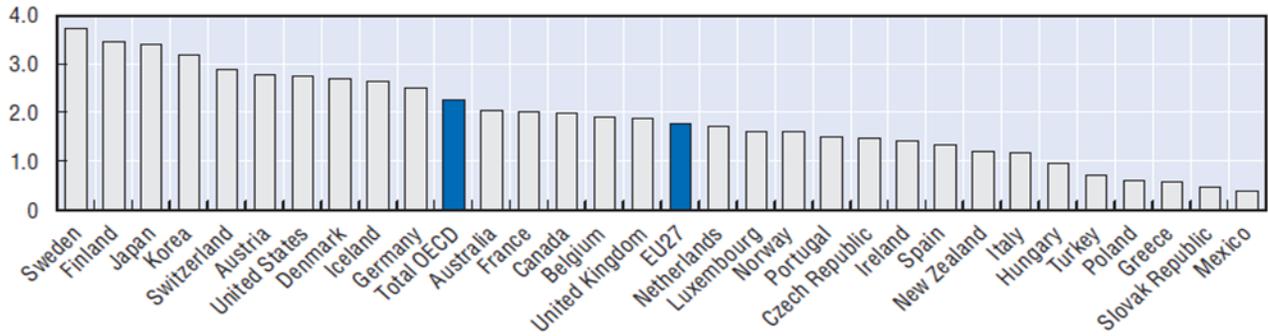
**Gráfica 6.**  
Gasto en I&D financiado por la industria como % del PIB. 1990-2008



**Gráfica 6.**  
Gasto en I&D como % del PIB. 1990-2008



**Gráfica 6.** Gasto interno Bruto en Investigación y Desarrollo como porcentaje del PIB. 2008.



Fuente para las gráfica 3 a la 6: OECD (2010). Main science and technology 20 indicators. Volumen 2009/2.

Pues bien, en la Gráfica 3 tenemos el gasto interno bruto en I&D como porcentaje de PIB, y en la 4 y 5 el gasto financiado por la industria y por el gobierno respectivamente para el periodo 1990-2008. En las tres se muestra al grupo de naciones pertenecientes a la OCDE, más fuerte en lo que a gasto en I&D se refiere: Estados Unidos, Japón, la Unión Europea, además de realizar una comparación con el promedio de los países miembros de la OCDE. Sin embargo este parámetro no es el único utilizado, como podemos ver en la gráfica 6 en donde se hace un comparativo del misma para el año 2008, existen países con un mayor gasto en I&D dentro de la misma OCDE; Japón es el tercer lugar y Estados Unidos el séptimo. A pesar de lo anterior, EUA y Japón son dos de los países con mayor desarrollo tecnológico en general, y particularmente el nanotecnológico, y esto es debido a la influencia de otros factores. En la tabla 1 mostramos una evaluación de Lux Research respecto a la fuerza de desarrollo tecnológico y la actividad nanotecnológica.

**Tabla 1.** Evaluación de *Actividad nanotecnológica* y la *Fuerza de desarrollo tecnológico* por países. 2006

	Percent of GDP from high tech	R&D spending as percent of GDP	Technology and science workforce	Science and engineering Ph.D.'s	Expatriation of highly educated	Infrastructure	Tech development total	Nanotech initiatives	Nanotech centers	Government spending	Risk capital	Corporate nanotech funding	Nanotech publications	Issued U.S. patents	Active companies	Nanotech activity total
	20%	25%	20%	15%	10%	10%		15%	15%	10%	10%	10%	15%	15%	10%	
Australia							2.6									2.0
Canada							2.5									2.5
China							2.0									3.1
France							2.8									3.2
Germany							3.2									4.1
India							1.7									1.7
Israel							3.3									2.4
Japan							3.8									4.8
Russia							2.7									2.0
Singapore							3.5									2.0
South Korea							3.7									3.6
Taiwan							3.4									2.6
U.K.							2.4									3.2
U.S.							3.6									5.0

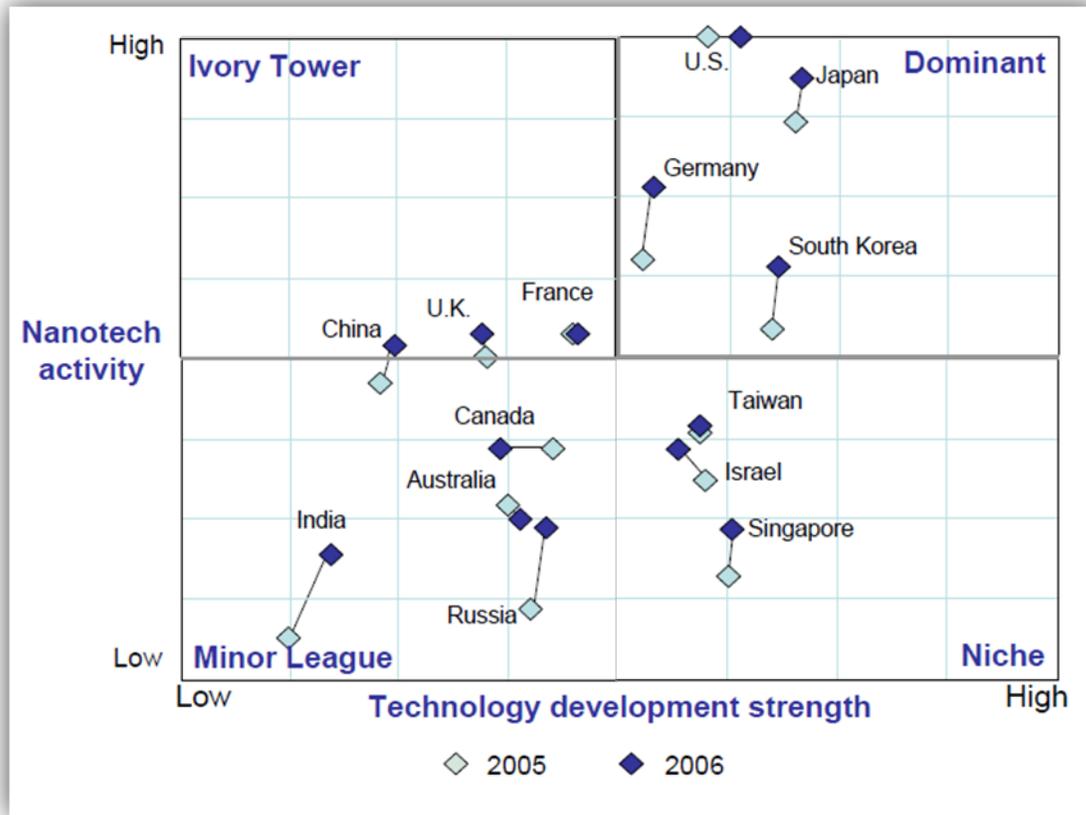
Fuente: Burns, Rob (2007). "International Nanotechnology Initiatives: Measuring Progress" Lux Research Inc. Nueva York, Estados Unidos. 29 de Marzo de 2007.

Para evaluar lo que la empresa Lux Research denomina *Fuerza de desarrollo tecnológico*, la misma utiliza los siguientes porcentajes con sus respectivos parámetros; 1) 20% lo califica a partir del grado de participación de Alta tecnología en el PIB, 2) 25% de acuerdo con el gasto en I&D como porcentaje del PIB, 3) 20% con la Fuerza de trabajo en Ciencia y Tecnología, 4) 15% con la cantidad de doctores en ciencia e ingeniería, 5) 10% por expatriación de profesionistas, y 6) 10% lo evalúa a partir de la infraestructura. En tanto que la evaluación de *actividad nanotecnológica* consta de; 1) 15% debido a las iniciativas nanotecnológicas [tema que veremos aquí más adelante], 2) 15% se califica por centros nanotecnológicos, 3) 10% a partir del gasto gubernamental, 4) 10% por el capital de riesgo, 5) 10% con el financiamiento corporativo en nanotecnología, 6) 15% con las publicaciones nanotecnológicas, 7) 15% por la expedición de patentes en EUA, y 8) 10% por el número de empresas activas. Las calificaciones de cada aspecto para cada país se muestran con el relleno negro de un círculo, yendo desde el totalmente blanco "no competitivo" hasta el

totalmente negro como “superior”. Al final se tiene una calificación total que va del 0 al 5. (Ver tabla 1).

**Gráfica 7.**

Evaluación de *Actividad nanotecnológica* y la *Fuerza de desarrollo tecnológico* por países. 2005 y 2006



Fuente: Burns, Rob *op.cit.*

El análisis compara 14 países inmersos en la competencia nanotecnológica, las puntuaciones más altas en el área de *Fuerza de desarrollo tecnológico* son para Japón, Singapur, y Estados Unidos, en ese orden, mientras que en el área de *actividad nanotecnológica* son para Estados Unidos, Japón y Alemania. De acuerdo con Rob Burns, vicepresidente de Lux Research, ambos aspectos deben combinarse para dar lugar a un panorama auténtico sobre el papel en el desarrollo nanotecnológico jugado por cada país. Ilustramos con la gráfica 7 la combinación de esos dos aspectos, en un eje se tiene la fuerza de desarrollo tecnológico que va de baja a alta, y en el otro tenemos la actividad nanotecnológica. Se divide en 4 cuadrantes de acuerdo con las combinaciones de las

anteriores y se sitúa a cada país de acuerdo con su puntaje mostrado en la tabla 1. Además, en la gráfica 7 se muestra un comparativo de este puntaje entre 2005 y 2006. Con la combinación baja actividad nanotecnológica con baja fuerza de desarrollo tecnológico se genera el cuadrante *ligas menores*, en él están Canadá, Australia, Rusia e India. Con la combinación alta actividad nanotecnológica pero baja fuerza de desarrollo se genera el cuadrante *torre de marfil*, en el que están Francia, Reino Unido y, desde 2006, China. Con la combinación alta fuerza de desarrollo tecnológico pero baja actividad nanotecnológica se genera el cuadrante de *nicho*, en el que encuentran Taiwán, Israel y Singapur. Finalmente, con la combinación de alta fuerza de desarrollo tecnológico y alta actividad nanotecnológica se genera el cuadro *dominante*, aquí tenemos en posiciones ganando terreno a Corea del Sur y Alemania, y liderando el grupo a EUA, seguido muy de cerca por Japón. Con la gráfica anterior puede entonces resumirse buena parte de los argumentos puestos tanto en el capítulo anterior como en el presente respecto al posicionamiento de los Estados Unidos en la competencia del negocio nanotecnológico, sin embargo no es aún suficiente. Primeramente hay que tomar en cuenta que cada uno de los países tiene la combinación tanto de su sector público como privado, aunque se presenten también casos en los que esté más presente uno que otro, o casos en los que incluso el límite que delimita a ambos sea difícil de distinguir. Principalmente nos referimos a las políticas nacionales de inversión en nanotecnología que a continuación abordaremos.

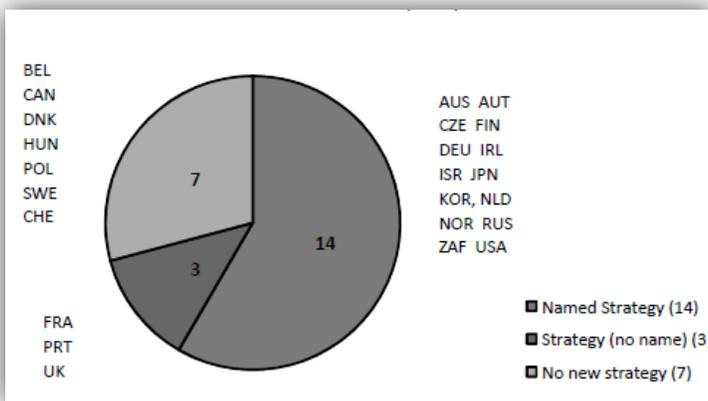
### **2.1.1. Las estrategias nacionales en nanotecnología.**

En tanto comienza el reconocimiento de la nanotecnología como un elemento de importancia en el desarrollo tecnológico, comienzan también el surgimiento de políticas nacionales en el mismo aspecto. Este reconocimiento lo podemos encontrar desde diversos puntos de vista, aunque la más común (que en este trabajo hemos llamado la visión *pop* nanotecnológica) puede hallarse principalmente entre los actores involucrados en dichas iniciativas nacionales. Por ejemplo, en un artículo de la *Military Review* de 2009 podemos encontrar declaraciones como la siguiente: “Los avances en la tecnología suscitan tanto grandes esperanzas como temores, porque los grandes avances tecnológicos tienen impacto en cada aspecto de nuestras vidas. Podemos esperar además, progresos en tecnologías de

la información y nanotecnología, innovaciones en biotecnología e incrementos de inversiones en investigación y desarrollo. Computadoras más rápidas combinadas con elementos de nanotecnología y biotecnología quizás mejoren nuestra habilidad para manejar desafíos tales como la salud humana, cuestiones de medio ambiente y desnutrición.”<sup>5</sup> Esta visión *pop* del desarrollo tecnológico imprime continuamente al menos 3 aspectos: 1) aunque hay quienes puedan encontrarse temerosos ante tal proceso, seguramente traerá beneficios para todos los aspectos de la vida cotidiana, 2) la compañía inseparable del desarrollo tecnológico y la inversión capitalista y, 3) que los grandes problemas de la humanidad, incluyendo aquellos que no son exclusivamente tecnológicos, podrán ser resueltos a través de la vanguardia tecnológica en turno, como la revolución verde en los 50’s, la informática en los 80’s, la biotecnología en los 90’s, o la nanotecnología a inicios de este siglo. Pero independientemente de lo *discursivo*, los sectores públicos e institucionales interesados en nanotecnología, vista como *oportunidad de negocios* o con fines de *seguridad nacional*, se han apresurado en impulsar programas nacionales operados desde sus respectivos primeros niveles de gobierno, para generar un marco de inversiones y desarrollo nanotecnológico. Genéricamente llamamos *estrategias nacionales en nanotecnología* a tales programas.

**Gráfica 8.**

Existencia de una estrategia nacional en nanotecnología en los países de la OCDE, 2008. De acuerdo a la forma en que respondieron la pregunta: ¿Ha sido formulada una estrategia nueva y dedicada para el desarrollo nanotecnológico?



En 2009 la OCDE publicó los resultados de una encuesta llevada a cabo entre sus países miembros para realizar un recuento de las estrategias nacionales en nanotecnología.<sup>6</sup> En la descripción de los resultados enumera entre otras cosas, si existe o no una estrategia nacional en nanotecnología. En la gráfica 8 se señala además si dicha estrategia es una estrategia específicamente dedicada a la

Fuente: OCDE *op.cit.* página 8.

<sup>5</sup> Oh, Paul S. (2009). “Future strategic environment in an era of persistent conflict”. En *Military Review*. Revista mensual del Combined Arms Center (CAC) y el Command and General Staff College (CGSC) del Ejército de los Estados Unidos. Julio agosto de 2009. Página 74.

<sup>6</sup> OCDE. Working Party on Nanotechnology (WPN) (2009). Inventory of national science, technology and innovation policies for nanotechnology 2008. 17 de Julio de 2009.

nanotecnología, como en el caso de 14 países o si se contempla dentro de alguna otra estrategia (3 países) o si simplemente no la hay (7 países).

El primer programa con estos objetivos surgió en Estados Unidos en 2001 –motivo por el cual se delimita el periodo específico de este trabajo– y lleva por nombre Iniciativa Nacional Nanotecnológica (National Nanotechnology Initiative, *NNI*), y después de ella comenzó una escalada de de las mismas en diversos países.

En ellas podemos encontrar varios elementos similares respecto al papel que deben jugar los gobiernos y las instituciones educativas, podemos citar por ejemplo los informes de la iniciativa alemana en donde se menciona: “En 2006 el Gobierno Federal Alemán lanzó el ‘Nano-Initiative Action Plan 2010’ para mejorar las condiciones generales y la realización más eficaz de la nanotecnología en Alemania. Como una de las medidas dentro del marco de la Estrategia de Alta Tecnología del gobierno federal, se propone una ampliación a la red pública, científica, económica y de educación así como nuevos incentivos para la puesta en marcha de recursos. Por primera vez, una estrategia nacional transversal a todos los departamentos fue desarrollada para confirmar y ampliar la posición alcanzada y para conducir a Alemania a la primera posición mundial de los mercados más importantes del futuro”<sup>7</sup>.

Los elementos de la operación entre las diversas instancias de gobierno, tanto horizontal como verticalmente, su coordinación con universidades y la forma en que se vinculan con las empresas para trasladar adecuadamente los conocimientos tecnológicos en aplicaciones mercantiles son tres de las constantes en estos planes y un elemento central a analizar en este capítulo. Esta vinculación no es característica solamente de los planes en desarrollo nanotecnológico, pero si puede observarse un grado de maduración de estas relaciones que se plasma desde el planteamiento del debate institucional. Los matices de tales relaciones pueden ser diversos, además de que el diseño de un plan no tiene por qué ser necesariamente su desempeño. Lo que nos interesa mostrar es simplemente que la relación, en cualquiera de sus formas, es una de las piedras angulares a lo largo y ancho de las propuestas, iniciativas, estrategias y planes de desarrollo nanotecnológico. Podemos observar otro ejemplo en el caso australiano en donde en 2005 se había formado ya un

---

<sup>7</sup> Federal Ministry of Education and Research (2009). Nano.DE-Report 2009. Status Quo of Nanotechnology in Germany. Publicado por el Ministerio de Educación e Investigación. Alemania, 2009. Página 5.

grupo que se proponía asesorar al primer ministro. Una de sus recomendaciones, a la letra dice: “Que una alianza australiana de negocios en nanotecnología sea formada con el apoyo del gobierno, cuya función sea superar la actual fragmentación evidente en los sectores de la nanotecnología, enlazar negocios e investigadores, así como mejorar las aplicaciones industriales de la nanotecnología”<sup>8</sup>

Ponemos a continuación un cuadro que resume algunos de los principales marcos institucionales, mecanismos y en su caso, organización del desarrollo nanotecnológico en cada país (ver tabla 2). Con ello queremos comenzar a apuntar hacia una tendencia general en los países que participan de la competencia en el negocio de la nanotecnología, y es precisamente la intervención del estado. Con el resumen puede observarse cómo los diferentes gobiernos promueven su desarrollo nanotecnológico como podrían hacerlo a partir de cualquier otra política industrial.

**Tabla 2.** Resumen de los marcos institucionales, mecanismos y organización del desarrollo nanotecnológico impulsado desde el gobierno en algunos países de la OCDE, 2009.

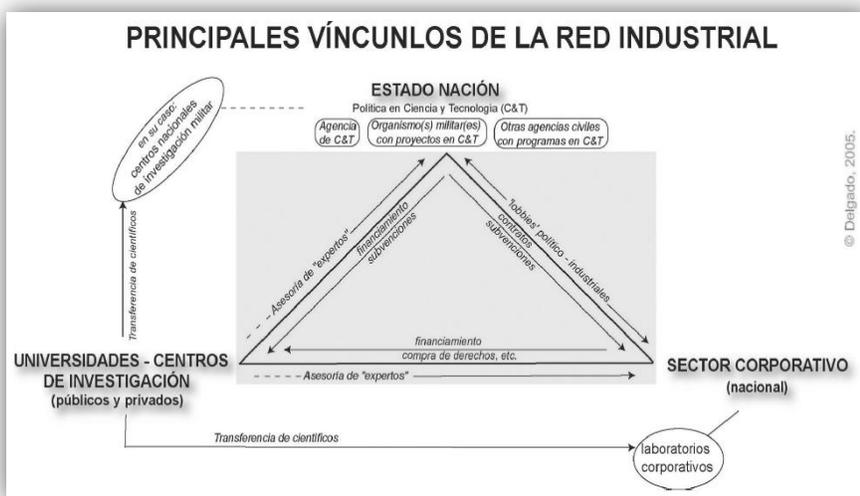
<b>Australia</b>	Una oficina específica (la Oficina Australiana de Nanotecnología) se creó para coordinar la estrategia y garantizar un enfoque integral de la administración gubernamental a las cuestiones de nanotecnología.
<b>Bélgica</b>	Se han establecido clústeres estratégicos dedicados a la nanotecnología
<b>Canadá</b>	Muchos marcos provinciales están en funcionamiento incluyendo el Instituto Nacional de Nanotecnología, la Alianza Nanotech BC; NanoQuebec y la Red de Nanotecnología de Ontario.
<b>Finlandia</b>	Se ha establecido el Centro de Experiencia de Programas [en nanotecnología]
<b>Francia</b>	Se ha establecido el Grupo Interservicios sobre Nanotecnología para coordinar las acciones públicas llevadas a cabo por los diferentes ministerios nacionales en el campo de la nanotecnología, especialmente los nanomateriales.
<b>Alemania</b>	Existe cooperación de organizaciones dentro del "Círculo de Primavera" que se reúne dos veces por año además de tener una plataforma intranet de trabajo.
<b>Hungría</b>	Se ha establecido una Plataforma Tecnológica para los campos de la nanotecnología.
<b>Israel</b>	Opera la Iniciativa Nacional Nanotecnológica de Israel para formular una política nacional y se estableció un conjunto de grupos de la industria y la academia para conducir la I&D. Centros para la nanociencia y la nanotecnología están funcionando y contribuyendo a las actividades coordinadas.
<b>Japón</b>	La nanotecnología está a cargo del Consejo para la Política Científica y Tecnológica fundada en 2001. También existe el Programa Nacional de Coordinación de Proyectos de Ciencia y Tecnología desde 2005.

<sup>8</sup> Prime Minister's Science, Engineering and Innovation Council (PMSEIC) (2005). Nanotechnology. Enabling technologies for Australian innovative industries. Australia, 11 de marzo de 2005. Página 6.

<b>Países Bajos</b>	Un observatorio de riesgo fue establecido en 2007. El Foro Interdepartamental sobre Nanotecnología (ION) es responsable de las comunicaciones con los Ministros de los avances nacionales en nanotecnología.
<b>Polonia</b>	Se puso en marcha la Plataforma Nanotecnológica de Polonia.
<b>Portugal</b>	Una estructura se creó dentro de la Fundación para la Ciencia y la Tecnología (FCT) para articular cuestiones de política nanotecnológica entre los organismos nacionales.
<b>Rusia</b>	Está en funcionamiento bajo la observación de la Federación Tecnológica Rusa.
<b>Reino Unido</b>	El Consejo de Estrategia Tecnológica fue establecido en 2007.
<b>EE.UU.</b>	Se fundó la Subcomisión para la Ciencia, Ingeniería y Tecnología Nanoescalar (NSET) dentro del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (NSTC) y la Oficina de Coordinación Nacional Nanotecnológica (NNCO). La NSET y la NNCO sirven como lugar para la comunicación, cooperación y colaboración entre Agencias con fondos en nanotecnología o que puedan participar en la Iniciativa Nacional de Nanotecnología de todas sus demás misiones de la agencia.
<b>Fuente:</b> Elaboración propia con datos de la OCDE. Working Party on Nanotechnology (WPN) (2009). Inventory of national science, technology and innovation policies for nanotechnology 2008. 17 de Julio de 2009.	

En los casos anteriores existe una interrelación entre el estado, las instituciones educativas y las empresas. Corrientes teóricas diversas han interpretado esta relación. Nuevamente como panorama, mencionamos brevemente algunas de ellas, para generar un piso mínimo de discusión, en la medida en que las confrontaremos críticamente en el segundo apartado de este capítulo.

### 2.1.2. Algunas perspectivas teóricas de la relación Estado-Capital en el desarrollo tecnológico.



Por ejemplo, a la interrelación antes mencionada, Gian Carlo Delgado le llama *red industrial*: “Así pues, la red industrial se refiere obligadamente al funcionamiento consolidado y en sinergia de todo el

**Figura 2.** Esquema de los componentes y relaciones en la *red industrial*. Fuente: Delgado-Ramos, Gian Carlo, *ibídem*.

conjunto de las mencionadas relaciones sinérgicas [sic] entre el Estado nación, el sector corporativo y las universidades y centros de investigación públicos y privados”<sup>9</sup> Además, una vez establecidos los tres polos de dicha red, caracteriza las relaciones entre ellos (ver Figura 2). Del lado las universidades y centros de investigación puede salir asesoría de expertos tanto para el Estado como para el sector corporativo o en su caso la *transferencia de científicos*, recibiendo de éstos, subvenciones, financiamientos o compra de derechos. Del lado del Estado –elemento que en dicho autor es más bien el conjunto de instituciones gubernamentales– tenemos tanto la política en ciencia y tecnología como sus agencias involucradas, sean éstas militares o civiles o bien, la agencia encargada de coordinar dicha política. Particularmente se agrega una relación como “lobbies” [grupos de presión] político-industriales entre el Estado y el sector corporativo. Pero si bien es cierto que este autor muestra esta relación para el caso de la nanotecnología, otros también pueden encontrarlo en un marco general de desarrollo industrial como los son los Sistemas Nacionales de Innovación (SNI).

De acuerdo a María del Carmen del Valle,<sup>10</sup> el esquema analítico básico de un Sistema Nacional de Innovación (SNI) tiene dos estructuras: 1. La estructura de producción, sobre la cual se produce aprendizaje tecnológico de los actores, y 2. La estructura interinstitucional entendida como estructura de rutinas, normas, reglas y leyes. Un SNI está constituido por elementos y relaciones que interactúan en la producción, difusión y uso de nuevo conocimiento, o de conocimiento económicamente útil, en el marco de un estado nación. Refiere a instituciones y organizaciones dedicadas a la investigación y a la exploración, tales como departamentos de I&D, centros tecnológicos y universidades, además de incluir las interrelaciones con la estructura económica y todo el conjunto institucional que afecta al aprendizaje, y la introducción y la difusión de nuevos productos y procesos en una economía. A su vez, los elementos constitutivos del SNI son: a) Organización interna de las empresas, b) Relaciones entre empresas, c) el papel del sector público, d) el conjunto institucional del sector financiero, y e) la intensidad de la I&D y su

---

<sup>9</sup> Delgado-Ramos, Gian Carlo (2006) “Alcances y límites del sistema científico tecnológico chino” en Revista *CONfines de Relaciones Internacionales y Ciencia Política* Número 5, año 2006. Editada por el Instituto de Estudios Superiores Monterrey, México. Página 36.

<sup>10</sup> Del Valle Rivera, María del Carmen. “Innovación Tecnológica. Intensidad”. Exposición presentada para el diplomado “El Mercado de trabajo en México” del Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM, 26-27 de febrero de 2010.

organización.

Ahora bien, en el contexto de esta teoría, hay dos términos que es importante diferenciar, uno es el de innovación tecnológica y otro es el de cambio tecnológico. “El primero abarca tanto los cambios en los procesos de producción como la introducción de un nuevo producto en el mercado”<sup>11</sup> Aunque teóricamente diferentes, varias teorías económicas han confluído al poner estos aspectos como elementos centrales de sus estudios. Es el caso de las teorías evolucionistas sobre la innovación.

A pesar de que existe un enfoque microeconómico de la innovación, las teorías señaladas aquí se refieren más a las que estudian la interrelación entre las dinámicas de innovación y las características del entorno socioeconómico en el largo plazo, ya sea desde la perspectiva histórica con autores como Rosenberg, “o de las ondas largas de la acumulación y los sistemas tecnológicos” con autores como Freeman o Carlota Pérez, “y a partir del análisis de los paradigmas y su evolución a través de trayectorias tecnológicas” como en autores como Nelson y Winter.<sup>12</sup>

Puesto al centro este proceso, se abre también una sutil diferencia respecto al modelo tradicional de las ventajas comparativas: “Un fuerte contraste ha sido ahora establecido entre el modelo tradicional y el nuevo enfoque de ventajas comparativas, que son creadas dinámicamente por empresarios y gobiernos a través de un conjunto de acciones y estrategias empresariales, políticas públicas y relaciones interinstitucionales que buscan optimizar el valor agregado. En efecto, ahora es reconocido que la principal fuente de riqueza de las países miembros de la OCDE proviene de la creación del capital intelectual, principalmente a través de la educación y la investigación, y esto supera con creces a las fuentes relacionadas con los recursos naturales de los países e incluso la existencia de capital físico”<sup>13</sup> [!]

En este terreno se mueve la mayor parte de los debates institucionales y de políticas públicas respecto al desarrollo tecnológico, y, como se podrá ver en el siguiente párrafo,

---

<sup>11</sup> Vence Deza, Xavier (1995). *Economía de la innovación y del cambio tecnológico*. Siglo XXI Editores de España. Madrid 1995. Página 2.

<sup>12</sup> *Ibidem*. Capítulo 7 “Las teorías evolucionistas de la innovación”. Página 216.

<sup>13</sup> Solleiro, José Luis y Castañón, Rosario “Competitiveness and innovation systems: the challenges for Mexico’s insertion in the global context” en *Technovation #25*, 2005. Disponible a través de la dirección electrónica: <http://www.sciencedirect.com/>

del desarrollo nanotecnológico. Más adelante, en este mismo capítulo discutiremos cada uno de estos conceptos, ya que los enumerados hasta aquí nos servirán como un piso a la discusión posterior, principalmente en el punto 2.3. de este capítulo, por lo que aquí dejamos solamente señalada esta discusión y algunos autores, con los que no necesariamente estamos de acuerdo, que la tratan en sus investigaciones. Baste mientras tanto ponerlos como antecedente y trasfondo teórico oficial de la forma en que, de acuerdo también a las visiones predominantes de las ciencias sociales, estos temas *deberían* discutirse. Pero al hacer después, en el apartado 2.2. un recuento histórico de estas relaciones entre el estado, la tecnología y el capital, veremos que son producto en realidad de una serie de fenómenos de mayor profundidad y más largo alcance, que tienen que ver principalmente con el proceso de acumulación de capital. Pasemos entonces a la descripción de nuestro caso particular de estudio en su dimensión gubernamental: la Iniciativa Nacional Nanotecnológica de los Estados Unidos.

### **2.1.3. The National nanotechnology Initiative (NNI).**

En septiembre de 1999 el Grupo Interagencia de Trabajo en Nanociencia, Ingeniería y Tecnología (IWGN de acuerdo a sus siglas en inglés), que fue a su vez creado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (NSTC) de los Estados Unidos (EUA), dio a conocer un documento llamado *Líneas de investigación en nanotecnología: reporte del taller del IWGN. Visión para la Investigación y Desarrollo en Nanotecnología en la próxima década*. En dicho documento se encuentran, entre otras cosas, las principales conclusiones de un taller llevado a cabo por miembros del IWGN en los que se muestra y justifica la necesidad de la implementación de lo que después sería la NNI:

“Los participantes del taller, coincidieron en que los beneficios de la nanotecnología podrían ser obtenidos de mejor forma a través de un programa de cooperación nacional que involucre universidades, industria, agencias gubernamentales a todos los niveles y los laboratorios nacionales/gubernamentales. Para direccionar los desafíos científicos y tecnológicos y cosechar los beneficios sociales y económicos de la nanotecnología, los participantes del taller recomiendan una iniciativa nacional con los siguientes objetivos: 1) Apoyar a largo plazo la nanociencia e investigación en ingeniería, que conduzcan a descubrimientos fundamentales de nuevos fenómenos, procesos y herramientas, 2) Mejorar

las estructuras institucionales para que puedan fomentar y nutrir los desarrollos, 3) Alentar la cooperación transdisciplinaria y multi-institucional necesaria en esta nueva área (y con necesaria en realidad se alude, como veremos más adelante, a las necesidades del capital), 4) Proporcionar nuevos tipos de oportunidades educativas para capacitar a los nanotecnólogos y empresarios del futuro, y 5) Crear la infraestructura física que permita investigación de primera clase, la exploración de aplicaciones, desarrollo de nuevas industrias y rápida comercialización de innovaciones.”<sup>14</sup>

Puesto en otras palabras, la lógica del argumento anterior estriba en que dado un potencial *benéfico* de la *nanotecnología*, debe mejorarse un marco institucional que permita el desarrollo de la *nanociencia* para que los conocimientos generados por ésta, puedan aplicarse para la producción y comercialización de mercancías. Si de la idea anterior se elimina el prefijo *nano*, se tendrá entonces la visión capitalista de lo que la ciencia y la tecnología *deben* ser, al igual que la lógica por la que día a día se operan transformaciones en ambas con el propósito de acotar a aquella como su único campo de acción.

La visión citada como producto del IWGN, pasó a ser la forma general de la Iniciativa Nacional Nanotecnológica de los Estados Unidos (y de hecho, también de muchos programas elaborados como copias, hasta en el nombre, en otros países). Cuando se hizo pública la entrada en operación de la NNI se mencionaba que con el incremento de 225 millones de dólares (sumados a la base de 270 millones que se habían aprobado y ejercido para el mismo propósito en el año 2000) destinados para la nanotecnología en el año fiscal 2001, la administración federal del gobierno de Clinton respondía a la necesidad de poner el tema nanotecnológico como una de las altas prioridades científicas y tecnológicas para los Estados Unidos.

En el plan inicial existen tres ejes; la administración de la iniciativa, la estrategia de inversión y los objetivos a alcanzar. En cuanto a la administración citamos a continuación su estructura operativa: “La NNI se administrará en el marco del Comité de Tecnología (CT) del

---

<sup>14</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA) Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology (IWGN) (1999). Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report. Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade. Estados Unidos, Septiembre de 1999. Página iv. Puede seguirse también una descripción discursiva detallada del contexto de aparición de la NNI en: Delgado-Ramos, Gian Carlo (2008). Guerra por lo invisible: Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología. Editado por el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México 2008. Página 121.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (NSTC). El Comité, compuesto por representantes de alto nivel de Agencias y Departamentos Federales de investigación y desarrollo, brinda la dirección de políticas y orientación en el presupuesto para este y otros programas de tecnología multi-agencia. El subcomité de Ciencia, Ingeniería y tecnología a Nanoescala (NSET) del CT, coordinará los programas multi-agencia de I&D a nanoescala del Gobierno Federal, incluyendo la NNI. El subcomité NSET coordinará la planificación, presupuesto, implementación y revisión de la NNI para garantizar una iniciativa amplia y equilibrada.”<sup>15</sup>

En cuanto a la estrategia de la inversión de la NNI y siguiendo la lógica del planteamiento del NSET, se tienen cuatro pilares enunciados por ellos:

1) *La nanociencia básica y la investigación en ingeniería*, que construirán a largo plazo una comprensión fundamental y conducirán a descubrimientos de los fenómenos, procesos, y herramientas necesarias para controlar y manipular la materia a nano escala. Esta inversión proporcionará un apoyo sostenido a los investigadores individuales y pequeños grupos haciendo investigación básica, estimulará las asociaciones universidad-industria-laboratorios federales, y fomentará la colaboración interinstitucional.<sup>16</sup> 2) *Los Centros y Redes de Excelencia* impulsarán las redes de investigación y compartirán facilidades con los usuarios académicos. Estos centros de investigación en nanotecnología jugarán un papel importante en el desarrollo y la utilización de herramientas específicas, y en la promoción de asociaciones en los próximos años. 3) *Las infraestructuras de investigación*, que incluyen financiamiento para metrología (ciencia de la medición), instrumentación, modelismo y simulación, así como facilidades para los usuarios. El objetivo es desarrollar un sistema flexible y que permita la infraestructura para que la industria de los EUA pueda comercializar rápidamente los nuevos descubrimientos e innovaciones. 4) *Las implicaciones éticas, legales, y sociales, así como la educación de la fuerza de trabajo y los esfuerzos de*

---

<sup>15</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2000). National Nanotechnology Initiative. The Initiative and its Implementation Plan. Estados Unidos, julio de 2000. Páginas 15-16. Aquí cabe aclarar que existen puntos de vista que señalan que si bien la NNI no se financia de forma centralizada, tiene más la forma de una agregación de los recursos provistos a las agencias para llegar a los requerimientos de sus misiones, por lo que su plan de gestión no sería propiamente la de una iniciativa (Sargent, John F. (2008). “Nanotechnology and U.S. Competitiveness: Issues and Options”. Congressional Research Service, Report to Congress. May 15, 2008.).

<sup>16</sup> No está por demás decir que esta forma en que el presupuesto público se asigna a investigaciones de determinado tipo implican un papel activo del Estado en encaminar plusvalor social hacia el financiamiento de requerimientos del capital y que por lo demás, constituye una de las evidencias básicas de la subsunción real del trabajo científico al capital. Este punto lo desarrollaremos a detalle en el apartado 3.4. y 3.5. del tercer capítulo.

*capacitación*, en la medida en que éstos promoverán una nueva generación de trabajadores calificados con perspectivas multidisciplinarias necesarias para un rápido progreso en la nanotecnología.<sup>17</sup>

En tercer lugar tenemos los objetivos planteados a corto y mediano plazo, mismos que prudentemente se plantearon sólo hasta 2005. Mostramos a continuación un resumen de los mismos en la Tabla 3.

**Tabla 3.**  
Resumen de objetivos del plan estratégico de la NNI de acuerdo al año en que serían alcanzados por primera vez

Objetivo por alcanzar	Año
Comienzo de la investigación y desarrollo en las áreas de investigación básica, grandes desafíos, infraestructura, educación e impactos sociales de la nanotecnología en respuesta a solicitudes abiertas y competitivas además de revisiones periódicas del programa	2001
Comenzar a trabajar en equipos y centros para la consecución de objetivos por agencia	
Establecer diez nuevos centros y redes de trabajo con toda la gama de medición a nanoescala e instalaciones para la fabricación	2002
Desarrollar aproximaciones microfabricadas, estandarizadas y reproducibles, para la nanomanipulación y los nanodispositivos	2003
Desarrollar nuevos materiales de referencia estándar para nanoestructuras de semiconductores, nanomagnetismo, así como la calibración y análisis de control de calidad de los nanosistemas	
Desarrollar métodos de medición cuantitativa de nanodispositivos, nanomanipulación, nanocaracterización y nanomagnetismo; Desarrollar métodos de medición 3-D para el análisis de comportamientos físicos y químicos en o cerca de la resolución espacial atómica.	2004
Asegurar que el 50% de las universidades e instituciones de investigación docente y los estudiantes tengan acceso a una amplia gama de instalaciones de investigación a nanoescala	
Permitir el acceso a la nanociencia y la enseñanza de la ingeniería para los estudiantes en al menos 25% de las universidades de investigación	2005
Catalizar la creación de varios nuevos mercados comerciales que dependen de nanoestructuras tridimensionales	
Desarrollar modelos tridimensionales de nanoestructuras con mayor velocidad y precisión que permita un sistema práctico y de diseño de arquitectura	
<b>Fuente: Elaboración propia con datos de NSTC, NSET (2000). National Nanotechnology Initiative. Página 18.</b>	

<sup>17</sup> NSTC-NSET Subcommittee (2000). *op. cit.* páginas 14-15

Para el año 2004 el desempeño del plan de 2000 se calificaba como un éxito en cuanto había logrado acelerar descubrimientos y desarrollos nanotecnológicos que habían traído consigo “beneficios económicos responsables y sustentables, para mejorar la calidad de vida y promover la seguridad nacional”.<sup>18</sup>

A partir del mismo año los 4 objetivos de la NNI se definían como sigue: 1) Sostener un programa de investigación y desarrollo de clase mundial encaminado a llevar a la realidad el potencial completo de la nanotecnología, 2) Facilitar la transferencia de nuevas tecnologías a productos para el crecimiento económico, generación de empleos y otros

**Tabla 4.**

Relación entre las áreas componentes del programa (PCA) y los principales objetivos de la NNI.

PCA	GOAL			
	Goal 1: Advance a world-class nanotechnology research and development program	Goal 2: Foster the transfer of new technologies into products for commercial and public benefit	Goal 3: Develop and sustain educational resources, a skilled workforce, and the supporting infrastructure and tools to advance nanotechnology	Goal 4: Support responsible development of nanotechnology
Fundamental Nanoscale Phenomena & Processes	Secondary	Primary	Primary	Secondary
Nanomaterials	Secondary	Primary	Primary	Secondary
Nanoscale Devices & Systems	Secondary	Primary	Primary	Secondary
Instrumentation Research, Metrology, & Standards	Secondary	Primary	Primary	Secondary
Nanomanufacturing	Secondary	Primary	Primary	Secondary
Major Research Facilities & Instrumentation Acquisition	Secondary	Primary	Primary	Secondary
Environment, Health, & Safety	Secondary	Primary	Primary	Secondary
Education & Societal Dimensions	Secondary	Primary	Primary	Secondary

beneficios públicos, 3) Desarrollar recursos educativos, mano de obra calificada, la estructura de soporte y herramientas para el avance nanotecnológico, 4) Mantener un desarrollo responsable de la nanotecnología.<sup>19</sup> Además de definir las áreas fundamentales en las se dividirían en adelante las investigaciones de la NNI: a) procesos y fenómenos básicos a nanoescala, b) nanomateriales, c) sistemas y dispositivos nanoescalares, d) investigación instrumental, metrología, y estándares para la nanotecnología, e) nanomanufactura, f) instalaciones para la investigación principal y adquisición de instrumentos, g) Medio ambiente, Salud y seguridad, h) implicaciones sociales.<sup>20</sup> La relación en cómo se conjugan los objetivos

con las áreas componentes del programa pueden verse en la tabla 4.

Respecto al último inciso, implicaciones sociales, en el marco de la NNI se reconoce

Fuente: NSTC-NSET Subcommittee (2007). National Nanotechnology Initiative. Strategic Plan. Estados Unidos, Diciembre de 2007. Página 8

<sup>18</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2004). National Nanotechnology Initiative. Strategic Plan. Estados Unidos, julio de 2004. Página i.

<sup>19</sup> *Ibidem*

<sup>20</sup> *Ibidem*, página ii

simplemente que “la NNI debe apoyar la investigación encaminada a comprender las implicaciones sociales (incluidas las éticas, económicas y jurídicas) y deben trabajar activamente para informar al público acerca de la nanotecnología. Ahora más que nunca, los que están desarrollando los nuevos conocimientos científicos y tecnologías deben ser conscientes del impacto que sus esfuerzos pueden tener sobre la sociedad”<sup>21</sup> Sin embargo, es éste uno de los aspectos en los que existe una mayor ausencia de trabajos publicados y temáticas tratadas dentro de la NNI.<sup>22</sup>

**Tabla 5.**

Relación de agencias participantes en las áreas componentes de la NNI de acuerdo a sus propios objetivos y necesidades. 2007.

Agency*	PCA							
	Fundamental Nanoscale Phenomena & Processes	Nanomaterials	Nanoscale Devices & Systems	Instrumentation Research, Metrology, & Standards	Nanomanufacturing	Major Research Facilities & Instrumentation Acquisition	Environment, Health, & Safety	Education & Societal Dimensions
BIS (DOC)	□	■	■	■	□			
CPSC	□	□	■	■	□		■	□
CSREES (USDA)	□	■	■	□	□		□	■
DOD	■	■	■	□	■	□		□
DOEd							□	■
DOE	■	■	□	□	□	■	□	□
DHS	■		■	■		□		
DOJ			■					
DOL		□			□		■	■
DOS	□	□	□	□	□	□	■	■
DOT	■	□	■		■		■	
DOTreas		■	■					
EPA	□	■	■	□	■		■	□
FDA (HHS)	□	□	■	□	□		■	
FS (USDA)	□	■	■	□	■		□	
IARPA	□	■	■		□			
ITC		■	■		■			
NASA	□	■	■		□	□		
NIH (HHS)	■	□	■	□			■	□
NIOSH (HHS)		□			□		■	□
NIST (DOC)	■	■	□	■	■	□	□	
NRC				■				
NSF	■	■	□	□	■	■	■	■
USGS (DOI)	■			■			■	
USPTO (DOC)		■	■	■	■			

Nota: los acrónimos pueden consultarse en la tabla 6.

Fuente: NSTC-NSET Subcommittee (2007) *op. cit.* página 9

Otro de los aspectos relevante es el conjunto de agencias del gobierno de los EUA que participan en la NNI. Si bien, antes se han mencionado a las directamente responsables de administrar la NNI, la particularidad de sus objetivos hace necesaria la colaboración entre diversas dependencias, en la medida en que cada una de las áreas componentes del programa (PCA), consta de diversos participantes.

Por ejemplo, en el área de nanomanufactura participan de manera principal, el Departamento de Defensa (DOD), el Departamento de Transporte (DOT), la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura (FS, USDA), la Comisión de Comercio Internacional (ITC), el Instituto Nacional de estándares

<sup>21</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2005). The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel. Estados Unidos, Mayo de 2005. Página 4.

<sup>22</sup> Todas las publicaciones referentes a la NNI pueden encontrarse en la página oficial de la misma, en la sección Recursos, a través de la dirección electrónica: [http://www.nano.gov/html/res/home\\_res.html](http://www.nano.gov/html/res/home_res.html)

y Tecnología del Departamento de Comercio (NIST-DC), la Fundación nacional para la Ciencia (NSF) y la Oficina Estadounidense de Patentes y Marcas Registradas (USPTO), además de otras 10 instituciones de manera secundaria (ver tabla 5).

Pero en la medida en que los proyectos en cada área de la NNI fueron creciendo, del mismo modo como se consolidaron también varios de ellos a lo largo de ya casi una década, también se incrementaron el número de agencias gubernamentales participantes.



Es así que al inicio de la NNI en 2001, sólo participaban 7 agencias; la Fundación nacional para la Ciencia (NSF), el Instituto Nacional de estándares y Tecnología del Departamento de Comercio (NIST-DC), el Instituto Nacional de Salud (NIH), la NASA, la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el Departamento de Transporte (DOT), el Departamento de Energía (DOE) y el Departamento de Defensa (DOD) (ver Figura 3). Para 2008 la cantidad de agencias gubernamentales que se tenían trabajando coordinadamente en la NNI era ya de 25, de las cuales, 13 tenían un presupuesto federal específico para el desarrollo de programas dentro de la NNI, el resto participa de acuerdo a la consecución de los objetivos y misiones que por sí mismas tienen.

**Figura 3.** Agencias participantes en la NNI según su año de incorporación.  
Fuente: NSTC-NSET Subcommittee (2007) *op. cit.* p 9

desarrollo de programas dentro de la NNI, el resto participa de acuerdo a la consecución de los objetivos y misiones que por sí mismas tienen.

En el marco de la NNI, existe a su vez el fomento de iniciativas locales y regionales

que les corresponde hacer lo propio en esos niveles; la participación del gobierno para la articulación y coordinación de transferencia de conocimiento científico a la producción mercantil. Así, operan programas como la Virginia Nanotechnology Initiative, o la Texas Nanotechnology Initiative, etc.<sup>23</sup> En el caso de las iniciativas locales, aparece como un punto comúnmente coordinado a este nivel, la implementación de instalaciones para la investigación y desarrollo. Éstas operan con la participación principal de una instancia federal y una universidad o empresa, o simplemente a partir de un marco que fomente la inversión por privados en las formas de inversión descritas como *Modelo de asociación Estado-Corporación*, *Modelo de asociación Estado-Universidad* y *Modelo de asociación corporativa*, respectivamente.<sup>24</sup> Este es el marco oficial de participación gubernamental. Es muy importante señalar que, aunque existen contadas excepciones, en ninguno de los reportes de los primeros años de la NNI figura alguna indicación crítica sobre su propio desempeño y las consecuencias que pueda generar. Por ejemplo, los productos que al paso de casi una década se encuentran ya en el mercado y las repercusiones que tienen sobre la salud pueden ser ya evaluados en términos reales más que sólo teóricos, y sin embargo, lo único que se menciona es el descuido que en este aspecto ha tenido la NNI: “Sigue habiendo una necesidad urgente de la nación a construir, sobre la base de investigación actuales relacionadas con las implicaciones EHS [Medio ambiente, Salud y Seguridad] de la nanotecnología –incluida la investigación con apoyo federal [...]– el desarrollo de un plan estratégico nacional que contemple la investigación de las repercusiones de la nanotecnología en el medio ambiente, la salud, y la seguridad [de sus productos]”.<sup>25</sup> En el capítulo tercero abordaremos el contraste que este tipo de declaraciones tiene respecto a los productos que se han introducido al mercado en la completa ausencia de regulación.

Finalmente tenemos los montos de gasto gubernamental en la NNI, mismos que han pasado de ser \$464 millones de dólares para el año fiscal 2001 (a precios corrientes) a \$1,797.6 millones de dólares para el año fiscal 2009 (ver tabla 6), lo cual es bastante considerable en la medida en que tal ritmo de crecimiento no tiene comparación con ningún

---

<sup>23</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2003). Regional, state, and local initiatives in nanotechnology. Reporte del taller de la National Nanotechnology Initiative (NNI), Estados Unidos, septiembre-octubre de 2003. Página 5-7.

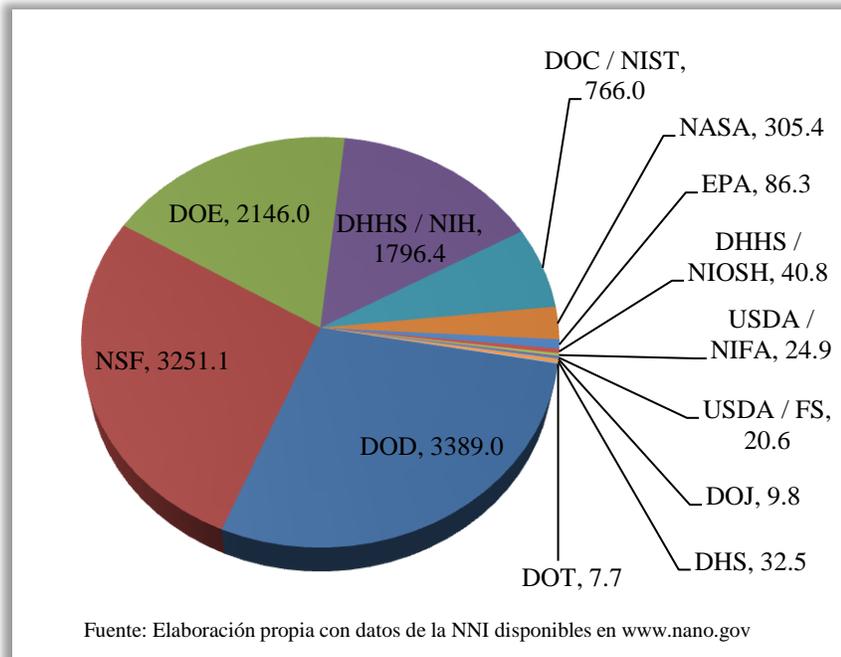
<sup>24</sup> *Ibidem*, página 14-15.

<sup>25</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2010). The National Nanotechnology Initiative. Research and Development leading to a revolution in technology and industry. Estados Unidos, Febrero de 2010. Página 55.

otro programa tecnológico del gobierno de EUA. En la Tabla 6 se encuentra desagregado el presupuesto según la agencia a la que fue asignado así como el total de la suma para cada año.

<b>Tabla 6.</b>											
<b>National Nanotechnology Initiative (NNI). Inversión por Agencia en millones de USD. 2001-2010</b>											
Agencia - AÑO	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009 <sup>††</sup>	2010 <sup>†††</sup>	Total <sup>†</sup>
DOD	125	224	220	291	352	423.9	450.2	460.4	464.0	378.5	3389.0
NSF	150	204	221	256	335	359.7	388.8	408.6	505.0	423.0	3251.1
DOE	88	89	134	202	208	231	236.0	244.7	361.9	351.4	2146.0
DHHS / NIH	40	59	78	106	165	191.6	215.4	304.5	311.3	325.6	1796.4
DOC / NIST	33	77	64	77	79	77.9	87.6	85.6	94.4	90.5	766.0
NASA	22	35	36	47	45	50	19.8	17.4	16.6	16.6	305.4
EPA	5	6	5	5	7	4.5	7.6	12.1	16.4	17.7	86.3
DHHS / NIOSH					3	3.8	7.3	6.9	7.4	12.4	40.8
USDA / NIFA				2	3	3.9	3.9	5.5	3.3	3.3	24.9
USDA / FS						2.3	2.9	4.6	5.4	5.4	20.6
DOJ	1	1	1	2	2	0.3	1.7	0.1	0.3	0.4	9.8
DHS		2	1	1	1	1.5	2.0	3.2	9.1	11.7	32.5
DOT						0.9	0.9	0.9	2.5	2.5	7.7
<b>Total<sup>†</sup></b>	<b>464</b>	<b>697</b>	<b>760</b>	<b>989</b>	<b>1200</b>	<b>1351.3</b>	<b>1424.1</b>	<b>1554.5</b>	<b>1797.6</b>	<b>1639.0</b>	<b>11876.5</b>
<b>Notas</b> <sup>†</sup> Los totales pueden no coincidir debido al redondeo. <sup>††</sup> Estimado. <sup>†††</sup> Solicitado.											
Acrónimos de las agencias:											
DOD	Department of Defense										
NSF	National Science Foundation										
DOE	Department of Energy										
DHHS / NIH	Department of Health and Human Services, National Institutes of Health										
DOC / NIST	Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology										
NASA	National Aeronautics and Space Administration										
EPA	Environmental Protection Agency										
DHHS / NIOSH	Department of Health and Human Services, National Institute of Occupational Safety and Health										
USDA / NIFA	US Department of Agriculture, National Institute of Food and Agriculture (formerly CSREES)										
USDA / FS	US Department of Agriculture, Forest Service										
DOJ	Department of Justice										
DHS	Department of Homeland Security										
DOT	Department of Transportation										
Fuente: Elaboración propia con datos de la NNI disponibles a través de <a href="http://www.nano.gov/">http://www.nano.gov/</a>											

**Gráfica 9.**  
National Nanotechnology Initiative (NNI).  
Inversión por Agencia en millones de USD.  
Acumulado 2001-2010



Igualmente podemos encontrar en una última columna, el agregado para el total acumulado, ya sea para cada agencia en su respectiva fila, o para el presupuesto total de 2001 a 2010, que constituye 11 mil 876.5 millones de dólares. Es muy importante señalar que en la desagregación de los totales acumulados salta inmediatamente una peculiaridad, ya que si bien, existen muchas alusiones a los usos militares que puedan hacerse de la

nanotecnología, también es cierto que discursivamente, la NNI es primordialmente civil. Sin embargo, la suma asignada al Departamento de Defensa (Department of Defense, DOD) es el presupuesto más grande de todos los asignados por agencia, tanto en el acumulado como en la mayor parte de los años del periodo, alcanzado apenas por el asignado a la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF) que queda aún por debajo en 138 millones de dólares (ver Gráfica 9).

Antes mencionamos que de acuerdo al área componente del programa, podían haber varias agencias participantes, entre las cuales se hallaban además tanto las que tenían un presupuesto asignado federalmente para esta tarea específica, como aquellas que no. Pues bien, la NNI publica los suplementos que prepara para sus informes de presupuestos anuales. Sólo como un ejemplo, ponemos en la siguiente Tabla 7 el presupuesto solicitado para el año 2010 desglosado de acuerdo a cada área componente del programa en millones de dólares.

**Tabla 7.** NNI. Inversión por agencia y ámbito de los componentes del programa. En millones de USD. 2010

Ámbito de los componentes del programa	Procesos y fenómenos nanoescalares fundamentales	Nanomateriales	Dispositivos y Sistemas Nanoescalares	Investigación para la instrumentación, medición y estándares	Manufactura nanoescalar	Principales instalaciones para la investigación y adquisición instrumental	Medio ambiente, salud y seguridad	Educación y aspectos sociales	Total <sup>†</sup>
DOD	174.8	61.6	100.6	4.6	14.2	21.0	1.7		378.5
NSF	154.7	80.4	43.8	18.5	22.5	38.5	29.9	34.7	423.0
DOE	103.2	82.4	12.8	35.1	4.9	109.6	2.9	0.5	351.4
DHHS / NIH	48.8	45.2	169.3	5.5	0.7	38.2	17.3	0.6	325.6
DOC / NIST	21.1	7.5	14.4	19.4	10.7	11.4	6.0		90.5
NASA	1.8	9.5	5.3						16.6
EPA	0.2	0.2	0.2				17.1		17.7
DHHS / NIOSH							12.4		12.4
USDA / NIFA*	0.4	0.6	1.5		0.1		0.4	0.3	3.3
USDA / FS	2.0	1.4	0.7	1.1	0.2				5.4
DOJ	0.1		0.1		0.1				0.4
DHS		6.5	4.9		0.3				11.7
DOT		1.5	1.0						2.5
<b>Total<sup>†</sup></b>	<b>507.1</b>	<b>296.8</b>	<b>354.6</b>	<b>84.2</b>	<b>53.7</b>	<b>218.7</b>	<b>87.7</b>	<b>36.1</b>	<b>1639.0</b>

<sup>†</sup> Los totales pueden no coincidir debido al redondeo.

Fuente: Elaboración propia con datos de la NNI disponibles a través de <http://www.nano.gov/>

De acuerdo con los datos de la Tabla 7, son las áreas de procesos y fenómenos básicos, nanomateriales, y la de dispositivos y sistemas nanoescalares las que concentran el 70.68% (\$1,158 millones) del presupuesto de la NNI para 2010, lo cual también nos da un panorama del estado de desarrollo de los programas de inversión pública. A su vez, de esas dos terceras partes, el 70.28% es asignado al Departamento de Defensa, a la Fundación Nacional para la Ciencia y al Departamento de Energía. Por otro lado podemos también anotar que el área que recibe menos presupuesto es la de educación y aspectos sociales con el 2.2% del presupuesto correspondiente al total para las 8 áreas.

Con los datos anteriores, podemos afirmar que si bien hay una gran cantidad de agencias involucradas en los diversos programas, al menos desde lo que se refiere al presupuesto, hay una actividad mayor en un grupo reducido de las mismas. Sin embargo esto no puede en lo absoluto minimizar el grado de participación tanto desagregada como

interinstitucional por parte del gobierno de los EUA para el desarrollo nanotecnológico con los propósitos que se describieron al inicio de esta sección. Por estas razones, la NNI no tiene punto de comparación con ninguna otra estrategia nanotecnológica gubernamental en alguna otra parte del mundo.

Y sin embargo es característico que las mismas se mantengan en un plano discursivo absolutamente *empresarial* cuando sus implicaciones económicas y sociales son claras hasta para quienes no son economistas, los militares por ejemplo. Así, encontramos una muestra más verosímil sobre el futuro de la nanotecnología, aunque aún desde su perspectiva de *seguridad nacional*, en el manual FM 3-0 de operaciones y adiestramiento militar del ejército estadounidense: “La revolución y la proliferación de los beneficios derivados de la integración multidisciplinaria de nanotecnologías y biotecnologías con materiales inteligentes, prometen potencialmente mejorar las condiciones de vida. Sin embargo, estos productos no siempre estarán disponibles en el ritmo y en las cantidades necesarias para que, tanto ellos como sus beneficios, sean universalmente disponibles como se desea. Esta disparidad puede crear otra fuente de fricción entre los ricos y los pobres. Por otra parte, la proliferación, los bajos costos, y la disponibilidad de productos de tecnología avanzada –especialmente tecnologías de la información expandidas usando redes móviles y la ampliación del uso de redes inalámbricas y redes de fibra óptica mundial– permite a adversarios no estatales, adquirirlos.”<sup>26</sup> Los *beneficios* traídos por las nuevas tecnologías no tienen por qué, como puede corroborarse desde hace varios siglos, corresponderse con un mejoramiento generalizado de la calidad de vida de la *humanidad* ¿Qué podría hacer pensar que la nanotecnología solucionará estos problemas? Aquel argumento aparece en la mayoría de las iniciativas nacionales, pero hasta la fecha, en ningún lado se ha dejado claro el cómo.

Para cerrar estos puntos, quepa señalar que el funcionamiento hasta aquí descrito no podría ser posible sin la maduración de todo un proceso de interrelaciones entre el Estado y el Capital. Y es precisamente esta relación la que queremos resaltar y estudiar a partir de su perspectiva histórica, particularmente en las relaciones que corresponden al desarrollo tecnológico y el desarrollo económico capitalista con la actuación del Estado. Antes de llevar

---

<sup>26</sup> Headquarters, U.S. Army Training and Doctrine Command. (2008) Operations FM 3-0. Estados Unidos. Febrero de 2008. Página 2.

a cabo una *reconstrucción crítica* del papel del capital estadounidense en el desarrollo nanotecnológico, es necesario abordar, al menos marginalmente, tendencias en el largo plazo del proceso histórico por el cual las modificaciones en los procesos industriales acompañaron el surgimiento de los Estados Nación.

## 2.2. El papel del desarrollo tecnológico en el desarrollo económico capitalista

Vamos a argumentar aquí, la importancia que tiene la relación del surgimiento paralelo de transformaciones en la vida material, la capacidad productiva y algunas configuraciones sociales que han sido soportadas materialmente por el desarrollo tecnológico, pero más aún, por el *desarrollo de las fuerzas productivas*. Tal argumentación será un señalamiento sobre algunos *momentos* particularmente significativos a esta relación, que por razones de no ser el tema a profundizar en esta tesis, sólo se señalarán dando por sentado un proceso de *larga duración*<sup>27</sup> en el nacimiento, desarrollo y tendencias del modo de producción capitalista.

Las manifestaciones significativas de la relación entre desarrollo de las fuerzas productivas y maduración del modo de producción capitalista que señalamos brevemente aquí, son principalmente cuatro; la Revolución industrial y las revoluciones burguesas; la división internacional del trabajo en el siglo XIX y el surgimiento de los estados nación;

---

<sup>27</sup> “Todo trabajo histórico descompone al tiempo pasado y escoge entre sus realidades cronológicas según preferencias y exclusivas más o menos conscientes. La historia tradicional, atenta al tiempo breve, al individuo y al acontecimiento, desde hace largo tiempo nos ha habituado a su relato precipitado, dramático, de corto aliento. La nueva historia económica y social coloca en primer plano de su investigación la oscilación cíclica y apuesta por su duración: se ha dejado embaucar por el espejismo –y también por la realidad– de las alzas y caídas cíclicas de precios. Esta forma, existe hoy, junto al relato (o al recitativo) tradicional, un recitativo de la coyuntura que para estudiar al pasado lo divide en amplias secciones: decenas, veintenas o cincuentenas de años. Muy por encima de este segundo recitativo se sitúa una historia de aliento mucho más sostenido todavía, y en este caso de amplitud secular: se trata de la historia larga, incluso de muy larga, duración. [...] el término acontecimiento, por lo que a mí se refiere, me gustaría cerrarlo, a presionarlo, en la corta duración. Testimonia a veces sobre movimientos muy profundos; y por el mecanismo, facticio o no, de las causas y de los efectos, a los que tan aficionados eran los historiadores de ayer, se anexiona un tiempo muy superior a su propia duración. Extensible hasta el infinito, se une, libremente o no, a toda una cadena de sucesos, la realidad de subyacentes, inseparables aparentemente, a partir de entonces, unos de otros [...] el pasado está, pues, constituido, en una primera aprehensión, por esta masa de hechos menudos, los unos resplandecientes, los otros oscuros e indefinidamente repetidos [...] pero esta masa no constituye toda la realidad, todo el espesor del historia, sobre el que la reflexión científica puede trabajar a sus anchas. La ciencia social casi tiene horror del acontecimiento. No sin razón: el tiempo corto es la más caprichosa, la más engañosa de las oraciones.” Braudel, Fernand (1968). *La Historia y las ciencias sociales*. Traducción de Josefina Gómez Mendoza. Alianza Editorial. España, 1968. Páginas 64-66.

algunas incorporaciones *tardías* al capitalismo con una fuerte participación del Estado, y; más recientemente y en la que nos concentraremos durante la exposición de este apartado: la flexibilización productiva y laboral en la globalización y su manifestación en el neoliberalismo. Al abarcar esta serie de aspectos, se deja de lado el *detalle* para concentrarse en las *tendencias*, por lo que no será un señalamiento continuo, además de enfocarse a su vez en *la forma en que el desarrollo de las fuerzas productivas actúa en el desarrollo económico capitalista y el papel que en ese proceso tiene la relación Estado-Capital*. Una vez que hayamos manejado esta relación como proceso histórico en este apartado, entonces corresponderá al siguiente el análisis de nuestro caso particular, mostrando cuáles de sus características son comunes con el proceso antes descrito y cuáles no lo son, de manera que nos permita enmarcarla para su estudio.<sup>28</sup> Ahora bien, el significado de algunas categorías se ha dejado implícito en el contexto, por lo que las aclararemos a continuación debido a la forma en que las utilizaremos a partir de este punto. Éstas, deben ser agregadas a las expuestas en la Introducción de esta tesis.

Primeramente diremos, en base a Marx, que a las *relaciones sociales* en las que los humanos producen, esto es, la *forma* en que se relacionan unos con otros, las llamamos *relaciones sociales de producción*.<sup>29</sup> Definidas de este modo, a la vez contenidas las últimas en las primeras, al cambiar la *forma* de producir, cambia también la *forma* en que los seres humanos se relacionan en la producción. El estadio de la producción determina así el estadio de las relaciones sociales de producción al interior del mismo, transformado a su vez por el desarrollo de las *fuerzas productivas*.<sup>30</sup> La sociedad burguesa, por ejemplo, tiene su propio conjunto de relaciones sociales de producción –como el trabajo asalariado–, conjunto que se presenta de forma predominante, aunque no en forma única en el capitalismo.

Ahora bien, dicho de otra forma, más sencilla, “el capitalismo es un sistema social, o

<sup>28</sup> Al igual que en una nota al pie del capítulo anterior, puede apreciarse aquí que la forma particular de investigación no tiene por qué ser necesariamente la forma de exposición de los resultados, de hecho aquí, estamos procediendo de una manera muy distinta del camino que nos llevó a las conclusiones que presentamos al final.

<sup>29</sup> “En la producción, los hombres no actúan solamente sobre la naturaleza, sino que actúan también los unos sobre los otros. No pueden producir sin asociarse de un cierto modo, para actuar en común y establecer un intercambio de actividades. Para producir los hombres contraen determinados vínculos y relaciones, y a través de estos vínculos y relaciones sociales, y sólo a través de ellos, es cómo se relacionan con la naturaleza y cómo se efectúa la producción” Marx, Karl (1849). Trabajo asalariado y capital. Editorial Progreso. Moscú, Rusia, 1977. Páginas 162-163.

<sup>30</sup> “Las relaciones sociales en las que los individuos producen, las relaciones sociales de producción, cambian, por tanto, se transforman, al cambiar y desarrollarse los medios materiales de producción, las fuerzas productivas. [...] La sociedad antigua, la sociedad feudal, la sociedad burguesa, son otros tantos conjuntos de relaciones de producción, cada uno de los cuales representa, a la vez, un grado especial de desarrollo en la historia de la humanidad” *Ibidem*.

sea una forma como en una sociedad están organizadas las cosas y las personas, y quien tiene y quien no tiene, y quien manda y quien obedece. En el capitalismo hay unos que tienen dinero o sea capital y fábricas y tiendas y campos y muchas cosas, y hay otros que no tienen nada sino que sólo tienen su fuerza y su conocimiento para trabajar; y en el capitalismo mandan los que tienen el dinero y las cosas, y obedecen los que nomás tienen su capacidad de trabajo”.<sup>31</sup> Al igual, en el capitalismo todo tiende a convertirse en mercancía, y son las mercancías, las unidades básicas donde podemos encontrar todas las contradicciones de la sociedad burguesa. Cabe también decir que las mercancías son importantes en el capitalismo, no porque con ellas se responda a las necesidades, sino por la *forma* en las que se producen, proceso en el que se origina la explotación y con ello, lo que permite precisamente el acomodo de los que mandan y los que obedecen.

Por ello también aclararemos lo que entendemos aquí por capital, ya que en muchos lugares podemos encontrar referencia al *capital* industrial, al *capital* financiero, al *capital* usurario, al *capital* bancario, al *capital* constante, al *capital* variable, etc., y también hay quienes se refieren al capital como si fueran cosas, un edificio, una fábrica, una máquina, ¿qué es entonces lo que hace que todos ellos puedan ser llamados *capital*? Lo que diremos es simplemente que “el capital no es una cosa, sino determinada relación social de producción perteneciente a determinada formación histórico-social”<sup>32</sup> y como relación social puede o no estar representada en cosas, incluso en personas, en tanto las mismas jueguen ese papel en determinado momento. Si se nos permite una paráfrasis, diremos por ejemplo que, *un programa de computadora es un programa de computadora, sólo en determinadas condiciones se convierte en capital. Arrancado a estas condiciones, no tiene nada de capital, del mismo modo que una transferencia electrónica no es de por sí dinero, ni el petróleo el precio del petróleo.*<sup>33</sup> Esta forma en que las cosas pueden adquirir configuraciones comunes es una pieza clave, ya que la locomotora fue por igual *capital* durante muchas décadas, tal como ahora lo puede ser un acelerador de partículas, o el *código fuente* del algoritmo de

---

<sup>31</sup> Ejército Zapatista de Liberación Nacional, EZLN (2005) Sexta Declaración de la Selva Lacandona. México, junio de 2005. Disponible a través de la dirección electrónica: <http://enlacezapatista.ezln.org.mx/sdsl-es/>

<sup>32</sup> Marx, Karl (1867). El Capital. Crítica de la Economía Política. Traducción de Pedro Scaron. Vigésimo séptima edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2007. Tomo III, sección séptima, Capítulo 48 “La fórmula trinitaria”, páginas 1037-1038

<sup>33</sup> “Una máquina de hilar algodón es una máquina para hilar algodón. Sólo en determinadas condiciones se convierte en capital. Arrancada a estas condiciones, no tiene nada de capital, del mismo modo que el oro no es de por sí dinero, ni el azúcar el precio del azúcar.” Marx, Karl (1849). *Ibid.*

búsqueda de google, del mismo modo que también, un acelerador o un código fuente pueden no tener que ver con el capital en otras circunstancias. La ausencia de esta analogía hace creer, por ejemplo, que en cuanto la eficiencia de un motor de combustión interna es superada, desaparece junto con el motor, aquella relación que materializaba, aunque dicha relación aparezca ahora en una forma tecnológica aún más adaptada al *capital*.

Otro lugar común es identificar al capital sólo en tanto aparece como materialización de una relación social de producción, pero esto también dista de ser así: “El capital no es la suma de los medios de producción materiales y producidos. El capital son los medios de producción transformados en capital, medios que en sí distan tanto de ser capital como el oro o la plata, en sí, de ser dinero. Son los medios de producción monopolizados por determinada parte de la sociedad, los productos y las condiciones de actividad de la fuerza de trabajo viva automatizados precisamente frente a dicha fuerza de trabajo, que personifican en el capital por obra de ese antagonismo.” [...] “O sea que aquí tenemos determinada forma social, muy mística a primera vista, de uno de los factores de un proceso social de producción históricamente fabricado.”<sup>34</sup> En la misma línea argumental, Marx agrega que no serán sólo los productos del obrero autonomizados, sino también las *fuerzas sociales* y las futuras *formas* de ese trabajo las que se le enfrentarán como *capital*. Un marco institucional, una ley, un jurado de personas, una determinada forma de organización industrial, una norma en el lugar de trabajo, un estándar que obedecer, etc., pueden también, bajo ciertas circunstancias, la forma que adopta el *capital*.

En el estudio de todo aquello que trae consigo el surgimiento de nuevas tecnologías, es muy común encontrar el concepto de *cambio tecnológico*, el cual no debe confundirse con el de *desarrollo de las fuerzas productivas*. “En primer lugar porque aquel [el cambio tecnológico] es un componente de estas últimas [las fuerzas productivas], que engloba entre otras las fuerzas productivas naturales, la magnitud, salud y cualificación de la población, la división del trabajo y las relaciones de cooperación dentro de las unidades de producción, la división en ramas del sistema productivo y las relaciones interindustriales, etc. Y en segundo lugar, porque aunque normalmente el cambio tecnológico va acompañado de un desarrollo de esas otras componentes, ello no tiene por qué ocurrir necesariamente sino que puede

---

<sup>34</sup> Marx, Karl (1867). *El Capital. Crítica de la Economía Política*. Traducción de Pedro Scaron. Vigésimo séptima edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2007. Tomo III, sección séptima, Capítulo 48 “La fórmula trinitaria”, páginas 1037-1038.

incluso afectar negativamente a alguna de esas fuerzas en particular o, en general, sobre las condiciones de producción y reproducción”<sup>35</sup>

Finalmente, también en el aspecto teórico, es de nuestro interés posicionarnos respecto a las *teorías del desarrollo*, diferenciando aquellas que utilizan como sustento una concepción histórica del mismo, de aquellas cuya base se encuentra sólo en el aspecto discursivo.<sup>36</sup> Es decir, vemos la teoría del desarrollo económico, no como el discurso *de lo que debería ser*, sino como el proceso *de lo que históricamente ha sido*.<sup>37</sup> Más aún, cuando nos referimos desde este punto en adelante al concepto de *desarrollo económico*, nos referimos al *desarrollo económico capitalista*.

### 2.2.1. La relación entre Revolución Industrial y Revolución burguesa

En su ensayo *En torno a los orígenes de la Revolución industrial*<sup>38</sup>, Eric Hobsbawm apunta el surgimiento de la misma en un contexto de crisis general del modo de producción feudal en Europa, crisis que llega a su máximo en el siglo XVII. Tal contexto de crisis tiene consecuencias diferenciadas para lo que él llama la *Europa occidental* y la *Europa oriental*. Si bien las condiciones de un amplio mercado venían consolidándose desde mucho tiempo atrás, las consecuencias que tuvo dicha crisis para el mediterráneo no fueron menores, las condiciones adversas reposicionaron determinados papeles en la producción de toda esa área que trajo consigo condiciones suficientes para la acumulación de capital en un primer sector mercantil que tiempo después se volcaría hacia la industria. En este punto primordial de aparición del capital en el contexto anterior Hobsawm es coincidente con Marx cuando éste último afirma que “históricamente, el capital, en su enfrentamiento con la propiedad de la tierra, se presenta en un comienzo y en todas partes bajo la forma de dinero, como

---

<sup>35</sup> Vence Deza, Xavier (1995). *Economía de la innovación y del cambio tecnológico*. Siglo XXI Editores de España. Madrid 1995. Capítulo 1 “Cambio tecnológico y acumulación del capital: el modelo básico de Marx” Página 2.

<sup>36</sup> Para una reseña breve de las diversas teorías del desarrollo tomamos como referencia a: Rodríguez-Ferrera Massons, Juan Claudio (1997). *La Economía Mundial y el Desarrollo*. Madrid. Acento Editorial, 1997. Capítulos 1 “Conceptos, medición y límites del desarrollo” y capítulo 2 “Causas del Desarrollo económico: algunas teorías”.

<sup>37</sup> En la medida en que aquí sostenemos el método del materialismo histórico, tenemos también que señalar que dentro de la teoría marxista del desarrollo hay también diversas aportaciones y corrientes. Al respecto se puede revisar: Preston, P.W. (1999) “La obra crítica de la teoría marxista del desarrollo”. En *Una introducción a la teoría del desarrollo*. México. Siglo XXI Editores, 1999.

<sup>38</sup> Hobsbawm, Eric J. (1971). *En torno a los orígenes de la Revolución Industrial*. 9ª edición en español. Traducción de Ofelia Castillo. Editorial Siglo XXI. México 1977.

patrimonio dinerario, capital comercial y capital usurario”<sup>39</sup>

Por otro lado, para el surgimiento del capital industrial es necesaria, en la medida del papel primordial del trabajo asalariado, una cierta suma de capital que ponga bajo su mando el trabajo ajeno. Para toda esa transformación como condición general, no puede partirse, por ejemplo, de un mercado inexistente, fue de hecho éste sobre el que aparecen las condiciones necesarias para las primeras formas históricas del capital como se ha señalado apenas. Una doble condición secular aparece por tanto; por un lado la extensión de dominio colonial de los imperios europeos como terreno propicio de expansión mercantil, y por el otro la existencia de un amplio mercado alcanzando ya dimensiones intercontinentales.

Lo anterior se contrapone a una visión segmentada de la aparición de la revolución industrial como un suceso aislado a Inglaterra, visión que corrió al paralelo con la concepción de que el desarrollo económico puesto en términos de industrialización, podía también pensarse sólo en términos nacionales. Pero de hecho fue precisamente la aparición de las profundas transformaciones productivas la base material que permitió el surgimiento de los Estados Nación, ya sea en el sentido de unificación de provincias, ya sea como modificación en la configuración social, política y económica de territorios consolidados ya bajo una misma identidad de conjunto, pero ahora bajo la forma capitalista de los estados burgueses.

Primeramente podemos analizar el contexto mencionado más arriba con el caso emblemático de la revolución industrial: Inglaterra. Las modificaciones que trajo consigo la automatización del trabajo, su división para la producción en serie como la mencionada por Smith o la manera en que la introducción de la maquinaria traería fuertes consecuencias para la producción y la clase obrera como señalaría Ricardo una generación después, no pudieran haber sido operados simplemente si no hubiese existido antes un mercado, que con mucho excedía ya las dimensiones de la propia Inglaterra, donde pudieran realizarse las mercancías producidas. De hecho, el ejemplo de la acumulación originaria de capital expuesto por Marx para el caso de Inglaterra,<sup>40</sup> sostiene también que uno de los factores que dispara el despojo sobre la tierra a los campesinos, es precisamente a partir de la mayor redituabilidad que poseía el tener tierras para el pastoreo en vez de para la agricultura, tierras ocupadas por

---

<sup>39</sup> Marx, Karl (1867). *El Capital. Crítica de la Economía Política*. Traducción de Pedro Scaron. Vigésimo séptima edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2007. Tomo I, Capítulo IV “Transformación de dinero en capital”

<sup>40</sup> *Íbidem*, Capítulo XXIV “La llamada acumulación originaria”.

ovejas en lugar de gente, ya que las primeras permitían la producción de lana, indispensable para la industria textil y primera de las industrias que serían radicalmente transformadas por la revolución industrial.

Este hecho, si bien no es el único determinante, desencadena violentamente, a partir del despojo coercitivo a los campesinos de sus tierras, la separación del productor directo de sus medios de producción, condición necesaria para la formación de un mercado interno de fuerza de trabajo. Sin otra forma de sobrevivir, los campesinos expulsados a las ciudades son además enfrentados por el Estado vía leyes de criminalización de la pobreza como las emitidas contra el vagabundaje. Si bien el primer marco regulatorio (las *leyes de pobres*, también conocidas como las leyes de Speenhamland<sup>41</sup>) concedía un cierto margen de tolerancia al mismo –e incluso pudieron asentarse sobre la idea de que ningún inglés sería abandonado al hambre, ya que si no se tenía un salario suficiente para subsistir o se carecía incluso de trabajo, el Estado se encargaría de dar un subsidio correspondiente a una cantidad suficiente para cubrir las necesidades básicas– éste terminó por abolirse a principios del siglo XIX por las consecuencias negativas que trajo para la formación de un mercado de fuerza de trabajo que demandaba la industria. Aquellos que, luego de haber sido despojados de sus tierras y expulsados a las ciudades, se dedicasen al vagabundaje, podrían ser encarcelados y marcados con la misma técnica que se marcaba el ganado. Si reincidían, podrían ser obligados a prestar servicios como esclavos a aquellas personas que los hubiesen denunciado, o bien mutilados como medida punitiva. Si reincidían nuevamente, podían ser sancionados con la pena de muerte. Esta forma de actuación del Estado incide directamente en la acumulación originaria de capital acotando las posibilidades de participación de la fuerza de trabajo como trabajo asalariado para poder subsistir.

Como un proceso paralelo se encuentra la creación de un mercado interno de bienes de consumo. Éste es por decirlo de algún modo, un proceso que puede realimentarse, aunque no de una forma poco discontinua. Sin embargo alimentan también a su vez con fuerza de trabajo, a la vez con una masa ingente que presiona los salarios a la baja, al capital industrial naciente. También ocurre entonces que las tierras antes bajo diversas formas de propiedad, operan bajo la forma de propiedad privada con lo que también nacen los arrendatarios capitalistas. De este modo, tanto la forma de *despojo* en el campo como la

---

<sup>41</sup> Polanyi, Karl (1975). *La Gran Transformación*. Editorial Juan Pablos, México 1992. Capítulo VII “Speenhamland”.

*explotación* en la ciudad son promovidas, aprobadas y en muchos casos supervisadas por el Estado vía la *discriminación* y la *represión*. Estos son elementos que se repiten en las formas clásicas de formación de los Estados nación. La separación de la fuerza de trabajo de los medios de producción vía el despojo violento, principalmente la tierra, la creación de un mercado interno de fuerza de trabajo que permita la explotación de la misma, la forma en que toman ventaja y aparecen el capitalista industrial y el arrendatario capitalista así como sus relaciones con el Estado que permite un marco jurídico discriminante y represor para asegurar que el proceso tenga cómo *marchar bien*.<sup>42</sup>

Regresando al campo de actuación del capital industrial inglés Hobsbawm apunta: “El árbol de la expansión capitalista moderna creció en una determinada región de Europa, pero sus raíces extrajeron su alimento de un área de intercambio y acumulación primitiva mucha más amplia, que incluía tanto las colonias de ultramar ligadas por vínculos formales como las ‘economías dependientes’ de Europa Oriental, formalmente autónomas. La evolución de las economías esclavistas de ultramar, y de las basadas en la servidumbre de la gleba, de Oriente, fueron tan partícipes del desarrollo capitalista como la evolución de la industria especializada y de las regiones urbanas del sector ‘avanzado’ de Europa. Comienza a quedar en claro, además, que eran necesarios los recursos de todo este universo económico para abrir una brecha industrial en *cualquier* país del sector económicamente avanzado”<sup>43</sup>

Esta dimensión extraterritorial permite por un lado ver que si bien las formaciones de Estados nación, se estudian principalmente como un proceso *interno*, por otro lado y al mismo tiempo, la delimitación de su campo de acción y acomodo en un mercado mundial en formación da al proceso, una dinámica que va más allá de sus fronteras.

El señalar al siglo XVIII como aquel en el que la Revolución industrial hace sentir su peso, mientras que la agudización de la crisis feudal sucede en el siglo XVII, se entiende principalmente a partir de que las condiciones de la relación entre producción y mercado y a su vez la relación misma de los mercados entre sí, confluyendo hacia un mercado mundial, no era tal que permitiera la velocidad de cambios a la que estamos acostumbrados hoy en

---

<sup>42</sup> “Entonces, como quien dice que resumiendo, el capitalismo de la globalización neoliberal se basa en la explotación, el despojo, el desprecio y la represión a los que no se dejan. O sea igual que antes, pero ahora globalizado, mundial.” Ejército Zapatista de Liberación Nacional, EZLN, *op. cit.*

<sup>43</sup> Hobsbawm, *op. cit.*, página 110.

día. Los cambios que opera la burguesía en tanto clase que se irá consolidando en los distintos ámbitos del espectro productivo y político corren al paralelo, al igual que las determinaciones de ambos. No puede en lo absoluto afirmarse que fue la transformación traída con la Revolución Industrial lo que de manera unilineal trajo a su vez al Estado burgués en tanto dicha clase tomara el poder. Pero en definitiva *no puede concebirse la toma del poder de la burguesía sin la capacidad de control de la producción que materialmente le permite la Revolución industrial.*

Queda también por comentar uno de los cambios históricos operados en forma silenciosa pero poderosamente transformadora. La *ciencia* y la *tecnología* andan caminos distintos en la historia, uno de los puntos que servirán a largo plazo para el capital en tanto tiende a poner bajo su lógica el desarrollo de las fuerzas productivas, es lograr conjugar a las primeras de una manera práctica en la revolución industrial. Al utilizar tácticamente a la ciencia y a la tecnología, resulta uno de los despojos más importantes constituyentes de la acumulación de capital: “Como el trabajo vivo –dentro del proceso de producción– está ya incorporado al capital, todas las *fuerzas productivas sociales del trabajo* son presentadas como *fuerzas productivas* del capital, como propiedades inherentes al mismo”.<sup>44</sup> Tal vinculación no podría haber sucedido, al grado en el que en el capitalismo ocurre, en un momento diferente de la humanidad; en primer lugar porque el grado de desarrollo tecnológico no había sido alcanzado sino hasta que aquella clase que se beneficiase primordial y proporcionalmente al incremento de la productividad, se encargara de gestionar las modificaciones necesarias para que tal base tecnológica se volviese a tal grado importante; y en segundo lugar porque aquello que llamamos *ciencia* es también un producto histórico, que nace precisamente en el mismo contexto mundial en el que a largo plazo nacerían los Estados modernos y la burguesía tomara el poder, antes de ello, si bien existen muchas configuraciones de conocimiento, no puede hablarse propiamente de *ciencia*. Sin embargo será éste un tema que abordaremos en el capítulo 3. Coincidimos finalmente aquí en la aseveración de que para la burguesía, la Revolución francesa en lo político es lo que la Revolución industrial en lo económico, esto es, su ascenso.<sup>45</sup>

---

<sup>44</sup> Marx, Karl. El capital. Capítulo VI Inédito. Siglo XXI Editores. Décimo sexta edición. México 2001. Página 93.

<sup>45</sup> Sunkel, Oswaldo y Paz, Pedro (1976). El subdesarrollo latinoamericano y la teoría del desarrollo. 9ª edición, Siglo XXI editores. México, 1976.

### 2.2.2. Algunas incorporaciones *tardías* al capitalismo y el papel que en ellas tuvieron sus respectivos Estados.

Cuando nos referimos a incorporaciones *tardías* lo hacemos en referencia a las formas y tiempos como el capitalismo tomó cuerpo en Inglaterra y Francia, las cuales podrían ser clasificadas como los casos clásicos. Las incorporaciones tardías actúan en un contexto en el que ya existen aquellas naciones que dominan el mercado capitalista, en este caso Inglaterra, y que su campo de acción tiene que considerarse relativamente a ésta. En tanto el escenario al que se anexan y arriban es el mercado mundial en constante crecimiento tanto extensivo como intensivo, es por decirlo de algún modo, el mismo terreno de juego, por lo que es un solo capitalismo. Sin embargo, exponemos casos de esta tardía incorporación que son representativos de la actuación del Estado –entendiendo por éste al poder político organizado– tanto en el nacimiento del Estado nación burgués, como en la conformación de sus respectivos mercados internos y su participación en el comercio internacional. En tales casos tenemos el nacimiento de Italia, Rusia, Alemania y Japón, como países en el sentido moderno de la palabra. Expondremos a continuación sobre los últimos 2.

#### 2.2.2.1. El caso de Alemania.

En su libro *La revolución industrial en la Europa del siglo XIX*,<sup>46</sup> Tom Kemp desarrolla el proceso por el cual, de ser un conjunto de estados económicamente atrasados, Alemania se unifica bajo la hegemonía de Prusia y en el transcurso de una sola generación consolida un imperio que se posiciona peligrosamente ante Inglaterra. En el mismo sentido Alemania, toma la delantera en la competencia capitalista de Europa en base a una industria altamente centralizada y tecnológicamente avanzada. Dicha competencia abriría desde lo político el escenario hacia la primera y segunda guerra mundial.

Si bien en el periodo de Federico el Grande comenzaron a operarse cambios que participaron de la acumulación de capital –como una abolición de la servidumbre, que era en realidad un pago al equivalente de 25 años del servicio que normalmente se prestaba a los *junkers*, y que podría ser visto como una reforma agraria *desde arriba* para contener el descontento campesino más que una vía efectiva de emancipación de las relaciones

---

<sup>46</sup> Kemp, Tom (1974). *La revolución industrial en la Europa del siglo XIX*. Editorial Fontanella. Barcelona, España. 1974. Capítulo 4 “El nacimiento de la Alemania industrial”. Páginas 117-166.

feudales— fue a partir de la unificación de las más de treinta provincias de la confederación germana con lo que el capitalismo comenzó a poner en marcha una transformación radical hacia la industrialización alemana. Antes de ella las *barreras* existentes no lo hubieran permitido. Antes de ella también, no puede hablarse de *Alemania*, el país que hoy conocemos se constituye a partir de la mencionada unificación.

La participación de una clase terrateniente y militar contribuyó a una acción encaminada por el Estado con el fin de modernizar la estructura productiva en Alemania, aún a pesar de no ser quizá uno de sus propósitos claros. Dos elementos claves son necesarios para estudiar la unificación: en lo físico, el ferrocarril que permitía la interconexión de territorios, y en lo político, el Zollverein, eliminando aranceles y restricciones al tránsito entre las provincias a partir de 1834. De este modo, Kemp señala: “Para posibilitar la realización de todas las potencialidades contenidas en el Zollverein, debían mejorarse los transportes internos. [...] Por esto la posibilidad de utilización del ferrocarril tuvo una importancia decisiva en esta etapa. El ferrocarril era el producto de una tecnología industrial avanzada, pero podía ser introducido en países relativamente subdesarrollados como Alemania, de forma práctica y directa, con financiación extranjera y utilizando materiales técnicos importados. En este sentido, Alemania se encontraba en situación de quemar etapas.”<sup>47</sup>

La condición clave referida sobre *quemar etapas*, es otro elemento que puede ser presentado como una de las características del proceso de industrialización alemán. Una vez en marcha la revolución industrial, los aspectos de diseño y mejoramiento de las instalaciones y funciones industriales mejoran en intervalos de tiempo cada vez más breves – aunque nuevamente cabe acotar aquí, que no en la intensidad que podemos encontrar en nuestros tiempos– y sin embargo las instalaciones tampoco eran diseñadas para ser remplazadas en el ritmo equivalente. Ese proceso generó, en el caso de Inglaterra, que una parte de su planta industrial permaneciera aún en funcionamiento relativamente atrasado respecto a mejoramientos introducidos en la maquinaria y procesos de diversas industrias. Por otro lado, en el proceso de generación de la planta industrial alemana, el factor tiempo juega a favor de los recién generados capitalistas industriales al poder participar en la adquisición del equipo más avanzado para su época, permitiendo niveles de productividad de vanguardia.

---

<sup>47</sup> *Ibidem*, página 138.

El proceso anterior no fue, por lo demás, automático o que se llevase poco tiempo, en el terreno de preparación tuvo que haber antes todo un proceso de reacción ante el periodo de crisis de los 40's, hubo de formarse una clase capitalista de un carácter industrial que fuese capaz de tomar las riendas del aparato productivo, y en lo político, hubo también de consolidarse el dominio de Prusia sobre el resto de provincias y ganar la posición delantera respecto a la clase terrateniente en Austria que se había propuesto desde un principio bloquear el Zollverein en tanto que Austria como Prusia pudieron poner bajo su control al conjunto de la confederación germánica y sin embargo, los resultados fueron la exclusión de la primera en el Zollverein. Un proceso que corrió en paralelo fue la influencia de la revolución francesa y la competencia con Francia misma, que tuvo un desenlace en la guerra franco-prusiana en 1870 y que culminó con la derrota de Francia y una contención de Austria, con lo que el dominio prusiano del Zollverein devino en la unificación alemana en 1871 bajo los cañones de Bismarck.

Ahora bien, en el transcurso de la industrialización alemana, influyó también de manera fundamental lo que a menudo se describe como una dotación exacta de los recursos naturales explotables en función de las necesidades de una planta industrial avanzada. Si bien no tenía en su territorio la dotación completa de recursos necesarios, como fue claro a partir de la importación de grandes cantidades de algodón para la industria textil, ésta fue compensada con creces a partir de una inmensa cantidad de yacimientos de hierro, y carbón mineral para alimentar no sólo a la industria textil, sino también y sobre todo, a la emergente industria pesada del acero y la implementación masiva de líneas de ferrocarril. Además de ser suficientes para convertir la industria nacional, en una potencia de la producción de las mismas, al grado de que en el transcurso del periodo de 1875 a 1913, Alemania pasó de tener un lugar marginal en la producción de dichos minerales, a una situación en la que producía poco más del doble de hierro y acero que Inglaterra, lo cual también da un indicador del tamaño en que creció su planta industrial.<sup>48</sup>

Las repercusiones que trajo consigo el incremento abrumador de la industria pesada debe ser visto desde varias aristas: “Desde un punto de vista económico, la industrialización alemana puede parecer un éxito ilimitado. Llevada a cabo en un periodo de tiempo

---

<sup>48</sup> Barnes, Harry Elmer (1967). Historia de la Economía del mundo occidental. Unión tipográfica Editorial Hispano Americana (UTEHA), México, 1967. Página 411.

comparativamente corto, pronto dotó al país de una industria pesada muy concentrada y tecnológicamente avanzada. El énfasis que este ejemplo de incorporación tardía puso en la educación, en el conocimiento científico y en la organización, dio sus frutos en el desarrollo de nuevas ramas de la producción entre las que sobresalían la industria química y la electricidad, y que contribuyeron a dar a su estructura industrial un aspecto altamente moderno”<sup>49</sup> Como se hace notar en la cita anterior, no es sólo el elemento temporal clave en la adquisición de maquinaria más avanzada, sino el aprovechamiento oportuno de esa ventaja respecto a un siguiente paso que era la incorporación de investigación científica en el desarrollo industrial que permitiera, una vez inserto en la dinámica de competencia, mantener una posición de avanzada. Por lo que una de las promociones fundamentales del nuevo régimen bajo el dominio político y militar de Prusia, consistió igualmente, en la modernización de la educación y la investigación científica con aplicaciones tecnológicas: “Se puso, por tanto, un gran énfasis en el adiestramiento específico para la industria y se utilizó cada vez más a personas educadas en ciencias básicas y aplicadas, al tiempo que los mismos dirigentes industriales adquirían adiestramiento científico y tecnológico. Este énfasis, surgido de los inicios relativamente tardíos de la industrialización en Alemania, estableció hábitos y costumbres que armonizaban con las necesidades de una era cada vez más tecnológica [...] Pudo sacarse mucha delantera en los nuevos procesos metalúrgicos que exigían control científico. El laboratorio se convirtió en parte integrante del gran complejo industrial, la invención pasó a ser parte una actividad organizada y la patentización de nuevos métodos se hizo parte de la actividad empresarial”<sup>50</sup>

Cabe decir también que los señalamientos hasta este punto no hubieran podido realizar industrialización alguna si no se hubiese comenzado desde décadas atrás un proceso igualmente violento de despojo del campesino y siervo de sus conexiones anteriores con la tierra para incorporarlo en el mercado de fuerza de trabajo. Son también dos correlatos los que hacen de antiguos terratenientes los capitalistas hegemónicos en el nuevo imperio alemán (el segundo *Reich*) como aquel que del campesino explotado bajo las relaciones feudales lo convierte en un proletariado *moderno y educado*. Dicho proceso no ocurre sin contratiempos y oposición por parte del naciente proletariado, baste recordar que el siglo XIX es también el siglo en el que se inaugura precisamente la lucha proletaria por el

---

<sup>49</sup> *Ibidem*, página 150.

<sup>50</sup> *Ibidem*, página 161.

socialismo en Europa. De este modo, el surgimiento del imperio alemán combina la generación de una industria tecnológicamente avanzada a la altura de desafiar la posición de Inglaterra, con una estructura política *arcaica*, dominada por una clase ligada aún a los valores preindustriales, además de altamente militarista.

#### 2.2.2.2. El caso de Japón.

Hasta antes de 1853 cuando el Comodoro Perry, al frente de la flota naval estadounidense, *abriera* con sus cañones al *libre comercio* a Japón, éste había permanecido 1200 años sin invasiones extranjeras. En Japón, una civilización de alto refinamiento cultural y una sociedad extremadamente jerarquizada, se había logrado concentrar en un territorio con menos disponibilidad de tierra fértil que Inglaterra a 35 millones de habitantes. Éstos se abastecían a través de una economía fundamentalmente agrícola y con niveles de productividad que aún seguían siendo difíciles de alcanzar para los países asiáticos de mediados del siglo pasado. Los elementos de una sociedad que nada tenía que ver con la sociedad industrial propia del capitalismo se podían reconocer en cada elemento de su estructura gubernamental. “Hasta noviembre de 1867, la familia Tokugawa, la cual estaba formada por personas que originalmente habían sido funcionarios de la corte, eran los regentes del Japón y dirigían su gobierno (*bakufu*), desde Edo, nombre que entonces recibía Tokio, en tanto que el emperador vivía en Kyoto. El Shogún Tokugawa poseía cerca de un cuarto de la tierra, mientras que el resto estaba dividido entre 270 señores feudales (*daimyo*). [...] los señores feudales vivían en villas amuralladas [a los dominios territoriales de los daimyo se les denominaba *han*] en las que tenían que mantener a 400,000 guerreros (*samuráis*) [...] Los samuráis eran una clase parasitaria a la cual se le prohibía participar en la agricultura o el comercio, aún cuando servían como administradores feudales”.<sup>51</sup> Y sin embargo, fue en Japón en donde tuvo lugar una de las transformaciones capitalistas más rápidas y violentas de las que hubiera antecedentes hasta entonces.

El camino a la apertura y modernización de Japón inició 14 años antes de que fuera depuesto el shagunato Tokugawa, pero una vez depuesto, comenzó de lleno el proceso por el cual, a partir de noviembre de 1867, la revolución Meiji le diera a Japón una versión “último modelo” de las instituciones capitalistas de occidente. Angus Maddison resume del siguiente

---

<sup>51</sup> Maddison, Angus (1971). Crecimiento económico en el Japón y la URSS. Editorial Fondo de Cultura Económica. México 1971. Página 28.

modo este periodo: “las reformas Meiji abolieron el Shogunato y el *han* y establecieron al Emperador en Tokio como cabeza de un estado centralizado dividido en 46 prefecturas. Se estableció la igualdad legal de las diferentes clases sociales y las antiguas distinciones de vestido y derechos de guerreros, campesinos, artesanos y comerciantes fueron abolidas. La occidentalización del vestido y los hábitos sociales fue promovida, y desapareció el corte de pelo cola-de-cerdo. Las personas estuvieron en libertad de escoger su negocio u ocupación y pudieron cultivar cualquier cosa o producir lo que quisieran. Se eliminaron los gremios. Las relaciones de propiedad feudal fueron abolidas y se estableció la propiedad privada de la tierra, en tal forma que ahora podía ser vendida libremente. Los impuestos estatales en dinero reemplazaron los antiguos impuestos feudales en especie y su incidencia fue igualada en todo el país. Los impuestos de peaje al movimiento de mercancías y los puestos de revisión de pasaportes que impedían el libre movimiento de personas fueron abolidos. Las prohibiciones de exportaciones de arroz, trigo, cobre y seda cruda fueron desechadas. Los derechos de propiedad feudal y los estipendios de arroz de los daimyo y los samuráis fueron conmutados por pensiones estatales y bonos gubernamentales. Las funciones de la selecta clase de los guerreros fueron reemplazadas por fuerzas armadas modernas reclutadas sobre la base del servicio militar obligatorio. La educación primaria se hizo obligatoria con una curricula occidental. El calendario fue cambiado y se introdujo la vacunación masiva. El budismo fue desbancado. Se estableció un sistema monetario y bancario nacional. Se promovió el desarrollo agrícola e industrial.”<sup>52</sup>

Todo ello, al igual que el caso de Alemania antes descrito, ocurrió en el paso de una sola generación, periodo de tiempo en el cual Japón pasó de convertirse de una sociedad que en mucho había permanecido bajo el mismo régimen durante siglos, a ser una de las potencias capitalistas dominante en toda Asia y el área del Pacífico, pero a diferencia de Alemania que se disputaba el lugar con Inglaterra, Japón corrió una suerte distinta, ya que tuvo que vérselas, décadas después con el nuevo polo hegemónico a nivel mundial, los Estados Unidos.

Regresando al contexto del periodo Meiji, hemos de decir que la transformación llevada a cabo en Japón –en parte por la presión que significaba la invasión extranjera y sus posibles consecuencias, como podía apreciarse en el resto de Asia en donde Inglaterra se

---

<sup>52</sup> Maddison, *op. cit.*, página 33-34

asentaba como metrópoli ante sus nuevas colonias de ultramar, en parte por la propia conducción indirecta como potencial mercado para diversos capitales externos— fue encabezada localmente por los samuráis de más baja categoría financiados por acaudalados comerciantes de la casa de Mitsui y Sumitomo.

Las transformaciones que habían provocado la abolición de la servidumbre no fueron (al igual que en el resto de casos en donde las reformas agrarias se promovieron *desde arriba*) en definitiva nada favorables para el campesinado que después de tener que sustituir sus impuestos en especie a los daimyo por cantidades crecientes de dinero para el Estado, tendía cada vez más a endeudarse con los nuevos usurarios. Los intereses *afectados* de los daimyo habían sido restituidos vía bonos del gobierno que terminaron por convertir a una parte de los mismos (aquellos que pudieron adaptarse al cambio) en banqueros, industriales y terratenientes. Por otro lado, las transformaciones fueron tan radicales que incluso aquellos que habían pertenecido a la clase parasitaria de los samuráis y que habían no sólo representado sino incluso corporificado lo más autoritario del régimen anterior, vía su aparato militar represor, terminaron por constituir una de las resistencias más fuertes y organizadas contra el avance capitalista. Esta oposición tiene su ejemplo más famoso en la rebelión Satsuma de 1877, que fue una de las luchas más cruentas y que resultó en una devastante derrota de los samuráis.<sup>53</sup>

Un suceso de importancia en el desarrollo del capitalismo en Japón es la guerra chino-japonesa de 1894-1895, misma que le dejó a Japón una indemnización equivalente a una tercera parte de su PIB en 1896, dinero que fue utilizado para agrandar el ejército, extender el ferrocarril, servicios telefónicos y telegráficos, al igual que establecer la siderúrgica de Yawata y adoptar el patrón oro.

Una de las peculiaridades del Estado japonés es que en el transcurso de la industrialización y formación *a modo* de la industria y la educación, se apoyó fuertemente en el asesoramiento externo: “Inmediatamente después de las reformas Meiji, el gobierno envió personas a estudiar a diversos países europeos y trajo extranjeros para que ayudaran a

---

<sup>53</sup> Este periodo sigue siendo un hito en la historia japonesa y es de donde proviene la figura tan trascendida en occidente sobre los samuráis que tanta empatía genera al grado de haberse hecho todo un género literario y cinematográfico al respecto. Del mismo modo que a opinión de expertos, una buena parte del *manga japonés*, también tiene en este periodo su ubicación temporal predilecta.

formar un ejército moderno, la armada, el sistema legal, el servicio de salud pública, la policía y la administración, así como para modernizar la agricultura y la industria.”<sup>54</sup> Hubo asesoría extranjera a todos los niveles del ministerio de educación y entre 1876 y 1895, Maddison estima que el 40% del presupuesto del ministerio de industria fue destinado a asesores extranjeros. En general, la participación activa del Estado podía sentirse también en el gasto del gobierno como porcentaje del PNB, ya que para el caso de Japón es de los más altos hacia finales del siglo XIX y principios del XX, una proporción del doble de EUA y comparable apenas con el de Alemania e Italia.<sup>55</sup>

Mucha de la estructura samurái y de jerarquía de los daimyo, pronto se manifestó en el aparato burocrático japonés al que entraron de inmediato a participar buena parte de los mismos. Si bien hubo intentos por acomodar a los samuráis en las estructuras productivas, en la medida en que el nuevo ejército también cambiaba la formación de los soldados y técnicas de combate a un estilo occidental, parece que aquellos resultaron más eficientes en la administración al igual que algunos de los terratenientes. Pero la sociedad altamente jerarquizada del Japón tuvo un trasplante de dicha jerarquía también hacia el sector empresarial y pronto apareció una forma corporativa que reflejaba por un lado los fuertes intereses que como clases dominantes se habían sabido guardar los terratenientes, samuráis y ahora en el papel principal, los comerciantes. Por otro lado el cómo una red de intereses comunes se presentaban en una extraña especie de monopolio corporativo que le permitía a un mismo grupo de accionistas, tener posesión de las diversas empresas en una rama productiva, mientras que cada una de las antiguas casas de comerciantes (Mitsui, Sumitomo, Mitsubishi, etc.) incorporaban a su vez a una serie de empresas pertenecientes a las más diversas ramas productivas. Con lo anterior resultaba una *identificación de intereses* entre las empresas que les permitía planificar centralmente la producción y el mercado, caso que no dejó de extrañar a extranjeros que creían que existía una extraña mezcla de estructura industrial que permitía a las empresas *dialogar*, en vez de simplemente competir en el mercado como en los países en que el capitalismo se había desarrollado plenamente. Lo que sucedía en realidad, es que la supuesta diversidad de empresas entre las que se sostenía el

---

<sup>54</sup> Maddison, *op. cit.*, página 40.

<sup>55</sup> *Ibidem*, página 37. Por otro lado habría que argumentar también que la agricultura es una de las piezas, ya que en la primera etapa de industrialización y hasta ya bien entrado el siglo XX, fue ésta la que sostuvo a aquella, a partir de grandes incrementos en la productividad y una pauperización masiva de la población agrícola, que fue la que cargó en su mayor parte con los auténticos costos de la modernización y occidentalización japonesa.

diálogo, eran propiedad de los mismos inversionistas, de modo que los intereses del conjunto de empresas, eran los intereses de *un mismo grupo de propietarios*. Un tanto más se acentuaba esta situación con la conformación múltiple de las casas japonesas que hacían las veces de los holdings o Trusts estadounidenses. A todo este entramado de relaciones se les conocía (y conoce aún, ya que siguen operando siglo y medio después) como *zaibatsu*.

Con esos antecedentes, el crecimiento promedio del periodo 1880 a 1913 medido en dólares fue de 8.4% quizá el más grande a nivel mundial. A pesar de ello, el PNB per cápita creció apenas a un 1.7% de 1870 a 1913 comparado con el 4.3% de EUA. Por otra parte, Japón no participó de los combates de la primera guerra por lo que su estructura productiva no fue mayormente afectada. Para el periodo de 1913 a 1938 el mismo parámetro fue de 2.6% para Japón, mientras para EUA fue de 0.8%,<sup>56</sup> con lo que Japón mostraba en poco tiempo una maduración y adaptación el capitalismo muy grande, que consiguió, a un costo muy alto pero sencillo de enunciar: *la negación de su propia cultura al precio que fuera*.



**Figura 4.** Las ciudades japonesas de Hiroshima (arriba) y Nagasaki (abajo) semanas después de que fueran arrasadas por las bombas atómicas de Estados Unidos en agosto de 1945. Fuente: Wikimedia Commons.

Ya para el periodo de la segunda guerra mundial, el despliegue de la capacidad japonesa, tanto económica como militar, despuntaba entre las primeras potencias capitalistas, lo cual, al menos en el plano militar y político, podría reflejarse en el sorpresivo ataque al puerto de Pearl Harbor por aviones y submarinos japoneses asestando un duro golpe a los Estados Unidos en Hawái, así como la culminación del desproporcionado contraataque que llevó a la derrota de Japón y al término del combate abierto en la segunda guerra mundial; las bombas atómicas en

<sup>56</sup> *Ibidem*, páginas 56 a 59.

Hiroshima y Nagasaki que en unos cuantos minutos de ataque entre el 6 y 9 de agosto de 1945 dejaron alrededor de 300,000 mil muertos y otra cantidad igual de heridos (ver Figura 4). El *proyecto Manhattan*, había culminado su labor.

En ambos casos en el de Alemania y Japón, el papel del Estado con el Capital es claro. Y es de hecho uno de los promotores principales de la acumulación, concentración y centralización de capital. Su acción intervencionista y como uno de los grandes participantes de demanda agregada es particularmente importante para entender que el Estado como actor económico (lo cual, dicho sea de paso ocurre décadas antes de Keynes) fue fundamental para el surgimiento del capitalismo y particularmente para promover y en algunos aspectos dirigir el desarrollo tecnológico capitalista en una mancuerna con el Capital, no sólo actuando a favor del mismo, sino también en dirección absolutamente contraria a las masas ingentes, primero de campesinos y luego de proletarios, quienes soportaron realmente las necesidades de expansión de la forma específicamente capitalista de producir y no sólo en su dimensión tecnológica. Esto es una de las dinámicas más grandes que se pueden esconder sutilmente en, por ejemplo, ya sea en el caso de envío de jóvenes japoneses a las universidades europeas a finales del siglo XIX, ya sea en el asesoramiento externo de ingenieros estadounidenses a los Keiretzu nipones.

Otro tanto en la confirmación de esta relación puede decirse en los casos de Rusia e Italia, pero sólo hemos expuesto el caso de Alemania y Japón en la medida en que ambos se convirtieran en los polos capitalistas dominantes para sus respectivos continentes a lo largo del siglo XX, situación que aún mantienen. Es característico en estos casos que la actuación de un Estado fuerte haya derivado en la generación de Estados fascistas, tanto en Alemania, Japón e Italia, pero también en los Estados Unidos.

### **2.2.3. Desarrollo y subdesarrollo**

Hacia el último tercio del siglo XX la estructura interna en cada país y la forma en que se habían insertado (y en otra medida, *habían sido* insertados) en el capitalismo, daba cuenta de grandes diferencias entre unos y otros. Además, el problema de explicar dicha diferencia no era menor, ella estaba involucrada, entre otras muchas cosas, con la postura

que esos Estados nación tomaban respecto a la manera de *planificar y aliar* sus mercados internacionalmente bajo una dirección distinta. Hay que recordar que para tales décadas una tercera parte de los países del mundo se encontraba bajo regímenes que se auto-reivindicaban como socialistas. La respuesta sobre qué es aquello que puede hacer que una nación se desarrolle e industrialice, contaba entonces como un elemento importante de la postura que cada país asumiera. Desde los países de avanzada capitalista se tenía una percepción oficial del desarrollo económico como una simple cuestión de tiempo. El calificativo de países *atrasados* (o el más elegante y reciente de *en vías de desarrollo*) procura dejar implícita la idea de que es sólo una cuestión de esforzarse *un poco más*, y algún día, Grecia, Filipinas o México, serían tan desarrollados como Alemania, Japón o los Estados Unidos. En este sentido, la teoría oficial (ya para entonces fundamentalmente la teoría marginal) hacía la *fantástica* clasificación de que el desarrollo se daba por etapas, y con Rostow a la cabeza, podía afirmarse que ese camino consistía en pasar de una sociedad tradicional a una moderna, recorriendo fases como la de transición, el despegue (*take off*), la maduración y el consumo de masas.<sup>57</sup>

Desde esta óptica, los propios economistas de Estados Unidos podían ver claramente cómo la teoría se correspondía con su mentalidad, pero ¿y cómo explicaba la misma los casos que constituían la mayor parte del mundo que *no eran ni han sido* los países capitalistas dominantes y que durante el transcurso de siglos habían permanecido en el *atraso* incluso después de su industrialización? Quizá la etapa de transición había preparado durante siglos un *take off* que no terminaba nunca por llegar. De este modo, y principalmente desde los países en que esta teoría no servía para explicarse su propia realidad, se puso sobre la mesa de debate una fuerte cantidad de investigaciones históricas que no sólo ponían en total evidencia la falsedad de la teoría clásica del *desarrollo*, sino que además otorgaban elementos suficientes para poder hacer una teoría distinta, que fuese capaz de explicar no sólo los casos de países como Estados Unidos, Inglaterra, etc., sino también el de países como los de América Latina, o la India. Y que apuntaban a que las transformaciones sociales, políticas, económicas, militares, etc., de los siglos anteriores habían apuntalado un proceso que no podía ser estudiado como casos aislados, sino en conjunto, mostrando tanto el poder de unos, como la subordinación de otros, como dos caras

---

<sup>57</sup> Al respecto puede consultarse: Rodríguez-Ferrera Massons, Juan Claudio (1997). *op.cit.*, en especial el capítulo 2 “Causas del Desarrollo económico: algunas teorías”.

de la misma moneda. Vamos explicar algunas de las consideraciones de esta argumentación.

Los resultados de la revolución industrial pueden verse desde varios puntos de vista, sin embargo puede tenerse en algunos indicadores los indicios de procesos aún más esenciales. Oswaldo Sunkel y Pedro Paz, señalan por ejemplo, que para 1750 había poca diferencia entre los territorios de Europa y América (relativamente con la existente hoy) y la población en general vivía en condiciones de subsistencia. Los ritmos anuales de crecimiento de la población entre 1650 y 1750 eran de 0.3%, mientras que en el periodo de 1800 a 1850 fueron de 0.9% en los países europeos en revolución industrial. Aunque sólo sea en una dimensión de dinero, también hacen el cálculo sobre PIB per cápita en distintos países con base en dólares estadounidenses de 1954 y afirman que Estados Unidos llegaba a la cantidad de \$200 dólares per cápita en 1832, Reino Unido en 1837, Francia en 1852, Alemania en 1886, Italia en 1909, mientras que para finales del siglo XIX, en los países subdesarrollados de América Latina, este parámetro alcanzaba apenas los \$100 dólares. Sin embargo, en la segunda mitad del siglo XIX, los ingresos per cápita de los países subdesarrollados respecto a los desarrollados se mantuvieron en promedio en una proporción de 1 a 1.5. Al paso de menos de un siglo, la proporción había cambiado de 1 a 5 para mediados del siglo XX. Los autores atribuyen tal diferencia a la Revolución industrial.<sup>58</sup> Sin duda no es ésta una medición del subdesarrollo, pero sí puede darnos una idea sobre el gran impacto que la Revolución industrial tuvo en las productividades y volúmenes de producción en ambos casos, lo cual podríamos relacionarlo con la brecha citada más arriba con Hobsbawm.

La revolución industrial fue así un condicionante de la producción material no sólo en Europa o los Estados Unidos, sino también en el resto de países que se incorporaban al mercado mundial y por diversas circunstancias, tanto internas como externas, adquirirían una relación subordinada a ese mercado exterior y la actuación de capitales que iban más allá de sus fronteras. Paul Baran, apunta por ejemplo que una de las características de la *morfología del atraso* consistía en condiciones heredadas del pasado colonial en diversos países, pero también en la industrialización que había sido hecha en función, no de la creación de un mercado interno, sino principalmente hacia la exportación, combinado todo esto con bajos

---

<sup>58</sup> Puede seguirse más de cerca estos indicadores en: Sunkel, *op.cit.*, páginas 43-78.

niveles de productividad en la ciudad y el campo y que dejaban además un terreno propicio para el mantenimiento de estructuras aún basadas en los privilegios de las clases terratenientes y el florecimiento del capital usurario. En la misma dirección, argumenta que la colonización actuó ahí como una *interrupción de las condiciones clásicas* de acumulación originaria, lo cual había impedido una industrialización como en los países que sí las tuvieron, además de que para entonces la actuación de la empresa extranjera, proveniente precisamente de esos países, tuvo igualmente una actuación que permitió ahondar dichas condiciones desfavorables.<sup>59</sup> Si bien no lo abordaremos a detalle en esta exposición, sí mencionaremos que esta idea de contraponer condiciones clásicas de acumulación versus condiciones coloniales de saqueo, fue una de las ideas constantes de la explicación del pasado latinoamericano en general, bajo conceptos como *intra-acumulación* y *desacumulación originaria de capital*.<sup>60</sup>

El caso de los países de América Latina es importante en este aspecto no sólo por la forma en cómo se muestra esta inserción, sino también, muy particularmente porque existió una gran gama de aportes críticas a la teoría del desarrollo económico. En este sentido ocurrió que las transformaciones en el mercado mundial podían contribuir para explicar cambios que condicionaron la industrialización en América Latina, como el cambio de polo hegemónico primero de España a Inglaterra, y luego de Inglaterra a Estados Unidos y los cambios que cada uno implicaba.<sup>61</sup>

Las condicionantes del desarrollo latinoamericano, por ejemplo, no podían ser vistas en forma aislada de las transformaciones que acontecían a partir de la dinámica que los

---

<sup>59</sup> Baran, Paul A. (1957). *La Economía Política del crecimiento*. Segunda edición en español. Editorial Fondo de Cultura Económica. México 1987. Capítulo VI “Hacia una morfología del atraso”.

<sup>60</sup> Para el caso de México, puede revisarse por ejemplo: 1) Semo, Enrique (1973). *Historia del capitalismo en México: los orígenes, 1521-1763*. Editorial Era, 14ª edición. México, 1986. Principalmente el capítulo sobre el desarrollo de las fuerzas productivas; en este caso el concepto de desacumulación tiene que ver con el saqueo colonial y presenta una doble cara, porque por un lado está la llegada de inmensas cantidades de metal a Europa, misma que sirve para su acumulación originaria y en el otro lado tenemos el inmenso saqueo en América Latina que de hecho presenta un obstáculo para la acumulación de capital. 2) Argüello Altúzar, Gilberto (1980). *Minas, agricultura y política en la formación del capitalismo mexicano*. Edición electrónica del CEIICH de la UNAM. México 2008. En el caso de la intra-acumulación originaria se refiere a las características particulares de tendencias seculares necesarias para la formación de un estado burgués. Argüello estudió particularmente el caso de México y sitúa esta intra-acumulación en varios periodos que culminan hacia mediados del siglo XIX en la formación de un régimen político capitalista a partir, principalmente, de la Reforma.

<sup>61</sup> Puede encontrarse una argumentación con esta estructura, además de una idea de cómo la relación entre el polo hegemónico y América Latina pueden en determinado momento “heredar” estructuras productivas y en otro simplemente condicionarlas, en: De la Peña, Sergio (1972). *El Antidesarrollo de América Latina*. Siglo XXI Editores, 2ª edición. México 1975. Nos referimos aquí al capítulo “Interpretación histórica del subdesarrollo latinoamericano”

capitales proveniente de los principales países capitalistas, habían generado en el mercado mundial en la medida en que éste, al momento del arribo *más que tardío* de aquellos países, ya se encontraba en buena medida con fuertes *barreras a la entrada* en las principales ramas industriales, una participación activa y proteccionista de sus respectivos Estados, y en general, una *división internacional del trabajo* como consecuencia directa de la Revolución Industrial.

De este modo, Agustín Cueva señala por ejemplo que: “La esencia del subdesarrollo, no es otra cosa que el resultado de un proceso en el cual las burguesías en los Estados más poderosos abusan de la naciones económicamente débiles, aprovechando esta condición, a la vez que esos abusos perpetúan y hasta ahondan tal debilidad, reproduciendo en escala ampliada, aunque en modalidades cambiantes, los mecanismos básicos de explotación y dominación”.<sup>62</sup> Ahora bien, si se parte de esta definición, se sigue de inmediato la pregunta de ¿en qué consistió entonces la debilidad inicial? Y la respuesta tiene que ver con la inserción de América Latina al sistema capitalista mundial en el último tercio del siglo XIX bajo las condiciones del capital imperialista, aunadas a las condiciones internas, existentes sobre la base de estructuras económicas precapitalistas como herencia del pasado colonial. En esta interpretación encontramos además, elementos muy útiles para la relación entre el desarrollo de las fuerzas productivas, la transformación de las condiciones materiales de la producción y su relación con las formas superestructurales específicas. Mencionamos, dos de ellas que nos parecen importantes y que hay que agregar a las antes descritas; en primer lugar tenemos –en contraposición a las interpretaciones que han ligado el *periodo anárquico* (sic) de luchas intestinas y *caudillistas* del primer periodo postindependentista como una de las causas que impidieron el desarrollo de un Estado nación fuerte y moderno, es decir un Estado nación burgués que siguiera los modelos clásicos de desarrollo– la forma en que, más bien, la estructura económica subdesarrollada en tanto se ligaba al exterior favoreciendo a las clases terratenientes y primario exportadoras, no permitía que el Estado fuese completamente burgués, pero en tanto las estructuras económicas comenzaron a subordinarse y transformarse cada vez más en función del capital, entonces las *relaciones sociales de producción*, también pudieron modificarse y fortalecer un régimen burgués que propiciara la formación de un Estado moderno; en segundo lugar tenemos que, ya entrado el

---

<sup>62</sup> Cueva, Agustín (1979). El desarrollo del capitalismo en América Latina. Siglo XXI Editores, México, 1979. Páginas 11-12.

siglo XX, y precisamente a la luz de cómo varios de los países latinoamericanos que se propusieron la sustitución de importaciones como estrategia de desarrollo lo hicieron posible, precisamente en la medida en que desde finales del siglo XIX habían comenzado ya por la senda de industrializarse (los casos de Argentina y México, por ejemplo) y que por tanto, no fue la sustitución la que permitió la industrialización, sino por el contrario, fue la industrialización la que permitió la sustitución de importaciones.<sup>63</sup> En estos escenarios de constante cambio, que van de la inserción de América Latina en el mercado capitalista como naciones independientes hasta sus periodos de marcada industrialización en el siglo XX, habían sin embargo elementos comunes. Vania Bambirra, por ejemplo, resume en dos las condiciones de esta incorporación; la necesidad creciente de materias primas y productos agrícolas necesarios para soportar los requerimientos de la nueva fase de industrialización, y la necesidad también, de la expansión de sus mercados internos a fin de que pudieran soportar una demanda en constante crecimiento de los niveles productivos de manufacturas elaboradas en los países capitalistas avanzados.<sup>64</sup>

Además se agrega a este análisis una particularidad analítica, y es que cuando América Latina comienza a industrializarse, lo hace además respecto a productos que categóricamente ya existen, tanto en su forma como en sus procesos productivos específicos, mientras que la vanguardia tecnológica del momento, y punto nodal de las brechas provocadas materialmente entre unos y otro, no es algo que pueda sustituirse, es una dimensión totalmente distinta. Aun aceptando, sin conceder, que el sólo hecho de la formulación de un plan trajera consigo los resultados esperados, la sustitución de importaciones puede ser una estrategia para industrializarse, pero en ningún sentido elimina la brecha relativa que sólo es generada a partir de las grandes transformaciones de las fuerzas productivas. En este sentido van los elementos comunes con que iniciamos el párrafo anterior. En el siglo XX, si las potencias incluso propiciaron la industrialización de América Latina, no fue solamente por la necesidad de los productos que su estructura productiva no tenía la capacidad momentánea de satisfacer o por la apertura de mercados potenciales que ello implicaba también para ellos, sino también porque los productos industriales avanzados para América Latina, eran generaciones de procesos industriales

---

<sup>63</sup> Los detalles del argumento se siguen de: *Íbidem*, capítulos 2, 3 y 9.

<sup>64</sup> Bambirra, Vania (1974). *El capitalismo dependiente latinoamericano*. Siglo XXI Editores, decimo quinta edición. México, 1999. Página 34.

atrasadas para Europa y Estados Unidos, en las que podían abrir y dejar entrar al mercado a otros países que no constituían en absoluto ningún riesgo, mientras ellos se enfocaban en la producción cada vez más sofisticada y tecnológicamente avanzada.

Durante el siglo XX existieron también otras incorporaciones capitalistas que tuvieron como propósito industrializar a sus naciones, como lo es el caso de los *tigres asiáticos*. Una valoración del diseño y desempeño del papel del Estado en ambos casos podría arrojar similitudes y diferencias considerables. En el caso de las diferencias, como anota Fajnzylber en *la industrialización trunca de América Latina*,<sup>65</sup> puede encontrarse un *proteccionismo para el aprendizaje* en los casos asiáticos y un *proteccionismo frívolo* en los casos de América Latina. Pero a la vez, si bien los resultados de la industrialización son diferentes, y que los casos asiáticos sirvieran (como en su momento Japón, y en otro los *tigres asiáticos*, y más recientemente China) para que los *sacerdotes* de la planeación de política económica y particularmente la industrial den sermones del *deber ser*, lo cierto es que en ambos ejemplos, la dinámica de inserción no podía trasgredir determinados límites, a saber, la participación hegemónica de Estados Unidos en América Latina o la de Japón en el caso de los tigres asiáticos. Esto es particularmente importante y como muestra pueden mencionarse dos elementos de ello, de entre muchos otros; el primero es el hecho de que aún a pesar de la creciente industrialización (y a que a nuestros días conserva la fabricación de componentes de alta tecnología) de los *tigres asiáticos*, sus manufacturas hayan servido como *pivote* para la realización y acomodo de la industria japonesa en Asia, Europa y América, ya que los productos finales a los que se incorporan las partes fabricadas en los mismos, tenían un alto porcentaje de componentes provenientes de Japón o de empresas japonesas situadas continentalmente (sin mencionar además las subvenciones internacionales concedidas por Estados Unidos en el terreno económico y político como posicionamiento estratégico vía Japón respecto a la *amenaza comunista* en Asia); y en el caso de América Latina tenemos la participación de empresas transnacionales provenientes de los países más industrializados y que sin embargo, aprovecharon las medidas de protección para el mercado interno por parte del Estado, no para *innovar o transferir conocimiento*, sino para obtener ganancias extraordinarias a través del *dumping*.

De hecho, buena parte de este contexto internacional de producción e industrialización

---

<sup>65</sup> Fajnzylber, Fernando (1983). *La industrialización trunca de América Latina*. Editorial Nueva imagen. México, 1983.

también atañe al quehacer científico, que es uno de los temas que más nos interesa dado el carácter de nuestro caso de estudio en la presente investigación. Es por estas mismas razones que dicho quehacer se concentra precisamente también en los países altamente industrializados, en los que se puede disponer de gran cantidad de plusvalor, apropiado en una escala social, y esta vez más allá de las fronteras nacionales, y disponer de él para financiar investigación científica que sirva para la industria, es decir, para el capital. Regresaremos a este punto en el apartado 3.4. y 3.5. del tercer capítulo.

Y ni qué decir de los procesos de acumulación en aquellos países que se incorporarían a esas dinámicas respecto a sus capas de población despojadas y explotadas. Los procesos de lucha del campesinado, los de las luchas proletarias y los movimientos de liberación nacional ocurren también como una respuesta *desde debajo* de lo que *desde arriba* se imponía. Y son los mismos, capítulos que rara vez no pudieron ser respondidos con todo el peso de la capacidad represiva del Estado burgués dejando una inconmensurable cantidad de vidas humanas en la reivindicación emancipatoria y/o de derechos de las masas oprimidas que, como en todas partes donde el capitalismo emprendió paso firme, soportaron y solventaron el costo del *progreso*. Con lo anterior además puede verse cómo, ni en los países de avanzada capitalista ni en los subdesarrollados, el Estado democrático burgués podía tener el carácter de mediador entre las clases, sino que su propia estructura y funcionamiento histórico develan su realidad como aparato dominador de clase.<sup>66</sup> Apuntamos, como consecuencia de lo aquí descrito, cómo los elementos de análisis clásico que Marx elabora en el caso de Inglaterra –y qué él mismo señala que toma como ejemplo por ser uno de los casos más violentos y que genera transformaciones de fondo– son

---

<sup>66</sup> “El Estado –dice Engels, resumiendo su análisis histórico– no es, en modo alguno, un Poder impuesto desde fuera a la sociedad; ni es tampoco 'la realidad de la idea moral', 'la imagen y la realidad de la razón', como afirma Hegel. El Estado es, más bien, un producto de la sociedad al llegar a una determinada fase de desarrollo; es la confesión de que esta sociedad se ha enredado con sí misma en una contradicción insoluble, se ha dividido en antagonismos irreconciliables, que ella es impotente para conjurar. Y para que estos antagonismos, estas clases con intereses económicos en pugna, no se devoren a sí mismas y no devoren a la sociedad en una lucha estéril, para eso hízose necesario un Poder situado, aparentemente, por encima de la sociedad y llamado a amortiguar el conflicto, a mantenerlo dentro de los límites del 'orden'. Y este Poder, que brota de la sociedad, pero que se coloca por encima de ella y que se divorcia cada vez más de ella, es el Estado '[...] Aquí aparece expresada con toda claridad la idea fundamental del marxismo en punto a la cuestión del papel histórico y de la significación del Estado. El Estado es el producto y la manifestación del carácter irreconciliable de las contradicciones de clase. El Estado surge en el sitio, en el momento y en el grado en que las contradicciones de clase no pueden, objetivamente, conciliarse. Y viceversa: la existencia del Estado demuestra que las contradicciones de clase son irreconciliables. [...] Según Marx, el Estado es un órgano de dominación de clase, un órgano de opresión de una clase por otra, es la creación del "orden" que legaliza y afianza esta opresión, amortiguando los choques entre las clases.” Lenin, Vladimir I. (1917). *El Estado y la Revolución*. Edición del *Marxists Internet Archive*, 2003, disponible en la dirección electrónica: <http://www.marxists.org/espanol/lenin/obras/1910s/estyrev/index.htm>

elementos que pueden observarse en la mayoría de conformaciones de los Estados Nación; la reforma agraria, la separación del productor directo de sus medios de producción, el nacimiento del capitalista industrial y del arrendatario capitalista, y finalmente, el papel del Estado en relación al Capital y la manera en que éste segundo toma el control sobre una cantidad cada vez mayor del proceso de trabajo.

Llegados a este punto del análisis, podemos enunciar en función de esta exposición dos conceptos que nos servirán también en adelante. La *subsunción formal* del trabajo al capital, es el proceso en el que la dinámica de expansión del modo de producción capitalista, se come, absorbe, y pone bajo su lógica y control segmentos de la producción que no había incorporado antes. Al hacerlo, comienza una dinámica progresiva que en primera instancia va a subsumir la *forma* en que un proceso laboral es llevado a cabo. Históricamente, las configuraciones del proceso laboral que se llevan a cabo en forma precapitalista, son absorbidas y puestas bajo la forma, por ejemplo, del trabajo asalariado aunque el resto de sus elementos, no sea modificado aún, incluso puede permanecer bajo los mismos instrumentos de trabajo, materias primas, mismo lugar para la producción y mismos trabajadores, y sin embargo ahora dedicarse a la valorización de un capital vía la producción de plusvalor. Lo anterior se ejemplifica en tanto un proceso particular de producción, pero puede trasladarse a casos agregados de la misma en tanto primeras fases de incorporación al capitalismo. La *subsunción real* del trabajo al capital, es cuando ya no sólo la *forma*, sino además el *contenido* del proceso de trabajo, son comidos, absorbidos y puestos bajo la lógica y control del modo de producción capitalista. Es decir, cuando los elementos simples de un proceso laboral en particular están hechos ya en función de la valorización del capital y no como cuando sólo habían sido absorbidos de formas previas. Pero los casos particulares son en general ilustrativos, ambas categorías son necesariamente de análisis agregados de procesos productivos y sus interrelaciones entre sí. Por ejemplo, cuando en los casos que hemos señalado más arriba, el despojo a los campesinos los convierte en una nueva fuente de trabajo asalariado, pueden ejecutar procesos productivos bajo *destrezas y modalidades sociales* adquiridas incluso siglos atrás y es entonces cuando hablamos de subsunción formal. Pero en tanto la fuerza de trabajo es ya un resultado de una generación que se educó específicamente para servir a un proceso industrial, y además se ha incorporado a la misma dinámica a la ciencia y a la tecnología, convergiendo en la implementación de una

organización industrial y una planta productiva construida específicamente para propósitos capitalistas, además de seleccionar directamente otros objetos de trabajo como en la industria química, etc. entonces podemos hablar de *subsunción real*.<sup>67</sup>

La subsunción formal y la subsunción real las utilizamos aquí en sus dimensiones históricas. En este mismo sentido, tomamos el proceso de producción de plusvalor como uno solo, concreta e históricamente determinado. En el que confluyen al mismo tiempo diversos métodos de extracción del mismo: “Desde cierto punto de vista, la diferencia entre el plusvalor absoluto y el relativo parece ser enteramente ilusoria. El plusvalor relativo es *absoluto*, pues trae aparejada una *prolongación absoluta de la jornada laboral*, por encima del tiempo de trabajo necesario para la existencia del obrero mismo. El plusvalor absoluto es relativo, pues condiciona un desarrollo de la productividad laboral que permite confinar el tiempo de trabajo necesario a *una parte de la jornada laboral*. Pero si tenemos en cuenta el *movimiento* del plusvalor, esa apariencia de identidad se desvanece. Dada la fuerza productiva del trabajo y su grado normal de intensidad, sólo es posible aumentar la tasa del plusvalor por medio de la *prolongación absoluta de la jornada laboral*; por otra parte, dados los límites de la jornada laboral, sólo es posible aumentar la tasa del plusvalor por medio del *cambio relativo de las magnitudes de sus componentes*, el trabajo necesario y el plustrabajo, lo que a su vez, si el salario no ha de descender por debajo del valor de la fuerza de trabajo, presupone un cambio en la productividad o intensidad del trabajo.”<sup>68</sup>

---

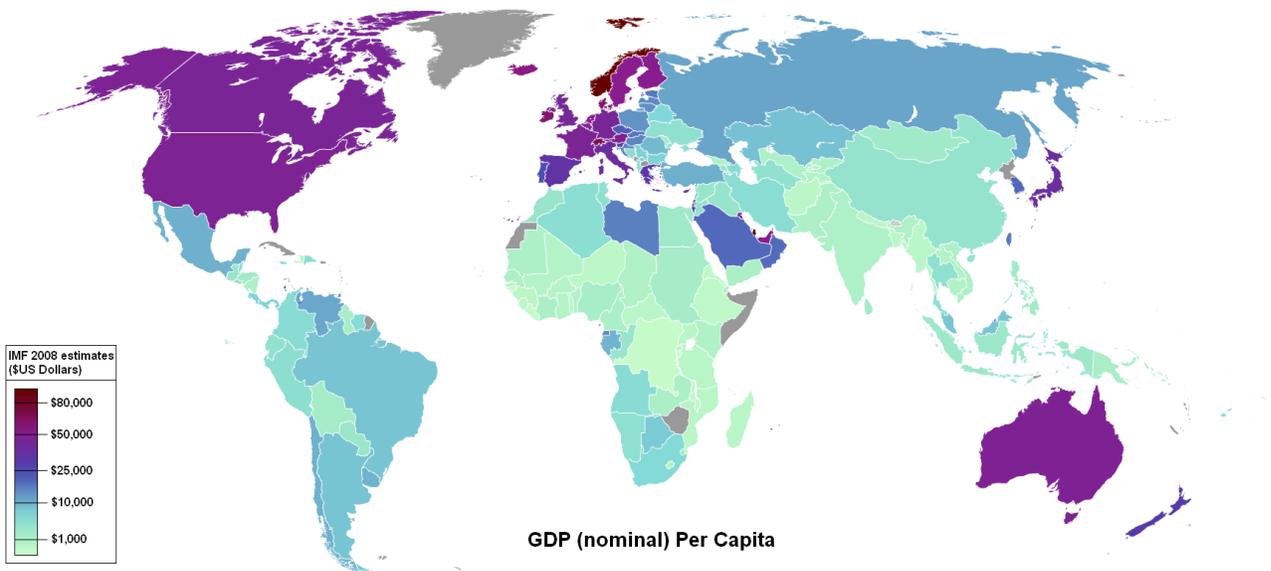
<sup>67</sup> “Una vez supuestas las condiciones generales de la producción de mercancías, la producción del plusvalor absoluto consiste simplemente, por un lado, en la prolongación de la jornada laboral más allá de los límites del tiempo de trabajo necesario para la subsistencia del propio obrero, y por otro en la apropiación del plustrabajo por el capital. Este proceso puede ocurrir, y ocurre, sobre la base de modos de explotación que se conservan históricamente sin la intervención del capital. No se opera entonces más que una metamorfosis formal, o, en otras palabras, el modo capitalista de explotación sólo se distingue de los precedentes, como el sistema esclavista, etc., por el hecho de que en éstos se arranca el plustrabajo por medio de la coerción directa, y en aquél mediante la venta “voluntaria” de la fuerza de trabajo. Por eso, la producción del plusvalor absoluto únicamente presupone la subsunción formal del trabajo en el capital.

La producción del plusvalor relativo presupone la producción del plusvalor absoluto, y por ende también la forma general adecuada de la producción capitalista. Su finalidad es el acrecentamiento del plusvalor por medio de la reducción del tiempo de trabajo necesario, independientemente de los límites de la jornada laboral. El objetivo se alcanza mediante el desarrollo de las fuerzas productivas del trabajo. [...] Constituye la misma [la producción del plusvalor absoluto] el fundamento general del sistema capitalista y el punto de partida para la producción del plusvalor relativo. [...] La producción del plusvalor absoluto gira únicamente en torno a la extensión de la jornada laboral; la producción del plusvalor relativo revoluciona cabal y radicalmente los procesos técnicos del trabajo y los agrupamientos sociales. La producción del plusvalor relativo, pues, supone un *modo de producción específicamente capitalista*, que con sus métodos, medios y condiciones sólo surge y se desenvuelve, de manera espontánea, sobre el fundamento de la subsunción formal del trabajo en el capital. En lugar de la subsunción formal, hace su entrada en escena *la subsunción real del trabajo en el capital*.” Marx, Karl (1867). op. cit. Capítulo XIV “Plusvalor Absoluto y relativo”, páginas 617-618.

<sup>68</sup> *Ibidem*. Páginas 619-620.

El trascurso de la acumulación progresiva del desarrollo de las fuerzas productivas y particularmente del desarrollo tecnológico capitalista da así un escenario mundial de acción con reglas poco sencillas de esquivar, sobre todo en el siglo XX. Y aunque diferenciada de acuerdo al cambio constante del carácter específico de las tecnologías utilizadas, permite ver que es uno de los factores esenciales de la división internacional del trabajo que sirve como un marco que delimita materialmente las posibilidades de acción en un mercado mundial en el que en realidad sigue operando que la acumulación de capital de un lado, ejecuta y se corresponde con la acumulación de miseria por el otro, dando al sentido de desarrollo y subdesarrollo, ser las dos caras de una misma moneda, a saber, la ley general de acumulación capitalista en escala mundial. Cabe aquí poner de relieve dos circunstancias, por un lado que desde mediados del siglo pasado esto ocurre predominantemente bajo el despliegue del poderío internacional de los Estados Unidos forjado durante décadas, y por el otro lado, que este es también el contexto en el que la ciencia y la tecnología se desarrollarán en aquel país.

#### 2.2.4. El contexto de la Flexibilización en la Globalización



**Figura 5.** Mapa del Producto Interno Bruto nominal per cápita según estimaciones del Fondo Monetario Internacional para 2008. Fuente: Wikimedia Commons.

Desde principios de siglo XX, pero particularmente después de la segunda guerra mundial, los procesos mundiales de producción y competencia capitalista se llevaron a cabo bajo el marco general de la hegemonía estadounidense. La capacidad militar y económica

que se consolidó en los Estados Unidos a partir de este periodo conjuntamente a una tendencia creciente que permitía una diferencia de grado en la localización productiva que podía entre otras cosas, repartir su cadena de formación de valor a la vez de concentrar los ingresos (ver figura 5), se conjugó hacia finales del siglo XX y principios del XXI para dar paso a lo que ahora conocemos con el nombre de globalización.

Son muchos los lugares comunes a los que se llega en el análisis de la misma, por ejemplo, en “Seis ideas falsas sobre la globalización”<sup>69</sup>, Vilas critica que el discurso oficial sustente que el proceso de inserción de las economías en la globalización sea nuevo, homogéneo, homogeneizador, que busque contribuir con el bienestar y la democracia y, finalmente, que a pesar de ello exista una contradicción con el Estado (como relación social capitalista). Valga por ello una delimitación que clarifique a lo que nosotros nos referimos con globalización, y mientras vamos aclarando cada aspecto, podemos también seguir la línea que nos interesa en esta segunda parte del capítulo; la relación existente entre el desarrollo de las fuerzas productivas con las configuraciones sociales y el papel que en esa relación juega el Estado.

Aunque son procesos que no ocurren de manera simultánea, podemos nombrar a la etapa de la globalización como el resultado de un proceso histórico que combina la transformación en al menos tres aspectos diferentes: La producción, el Estado y el mundo laboral. En este marco identificamos también a la flexibilización laboral, no como la implantación del toyotismo a nivel internacional, sino como el producto de la transformación tanto de procesos productivos como de políticas que regulan la relación capital-trabajo, que permiten la adecuación de la producción tanto a las condiciones cambiantes del mercado global, como a la tendencia adversa a la tasa de ganancia como crisis productiva que se acentúa a partir de los 70's.

Antes de continuar, hemos de aclarar que una confusión constante es identificar la *flexibilización laboral* como implantación del *toyotismo* a nivel internacional y no a identificarla como una transformación inspirada sólo en algunos aspectos del segundo, los que tienen que ver con la mayor explotación del trabajo. En principio habría que distinguir que hay 2 aspectos a considerar en lo que se ha denominado Toyotismo; su aspecto de la organización

---

<sup>69</sup> Vilas, Carlos. “Seis ideas falsas sobre la globalización” en *Globalización, crítica de un paradigma*, John Saxe Fernández (Coord.) México, Plaza y Janés IIEc. 1999.

de la producción, es decir el método “Kan-bar” y su modelo de relación Capital-Estado-Trabajo, que incluye la actuación de los Keiretsu (los sindicatos blancos o sindicatos de empresa), los Zaibatsu (red de intereses de un mismo grupo de propietarios en diversas empresas) y la relación de ambos con el Estado Japonés bajo ciertas condiciones históricas cuyo ejemplo más significativo es la poca disponibilidad de mano de obra en el periodo de la segunda posguerra ya que gran parte de la población en edad de trabajar había muerto a partir de la misma. La implementación de sólo algunos aspectos del modelo Toyota *no son*, por tanto, el modelo Toyota en sí mismo. Se ha creído por ejemplo, mostrando un desconocimiento total de la historia del mismo y sus repercusiones, que la aplicación de algunas medidas como el “*just in time*” es la aplicación del modelo Toyota. Nada más lejos de la realidad, habría que ver por ejemplo, que el camino del modelo Toyota, si bien se dedica a expropiar de manera más efectiva la fuerza de trabajo, no la depreda en el mismo grado de lo que se ha visto a partir de la *deslocalización* de capital de los últimos 20 años, esto es claro por ejemplo si analizamos la política de “*empleo de por vida*” otro de los pilares del Toyotismo.<sup>70</sup>

Hecha esta aclaración, exponemos a continuación los 3 aspectos referidos con el término globalización.

#### **2.2.4.1. Flexibilización productiva en el marco de la producción estratégica**

Si observamos con atención un celular y leemos las letras pequeñas, podremos encontrarnos, por ejemplo, con que la batería de litio está hecha en Japón, la placa base del teléfono en China, mientras que su tarjeta de memoria extraíble en los Estados Unidos. La mercancía como célula básica del capitalismo no sólo muestra contenida la contradicción general entre trabajo y capital, sino también particularidades históricas como la división internacional del trabajo en la fabricación del mismo. Toda una serie de procesos y especificidades históricas en el transcurso de las transformaciones de estos tres siglos en la conformación de la sociedad capitalista y que además no se muestran en el mercado: “Al

---

<sup>70</sup> Para un análisis detallado de lo que caracteriza el modelo Toyota puede revisarse: Coriat, Benjamin (1991). *Pensar al revés. Trabajo y Organización en la empresa Japonesa*. Editorial siglo XXI, séptima edición en español. México 2006. En especial los capítulos del 1 al 3.

capitalismo lo que más le interesa son las mercancías, porque cuando se compran y se venden dan ganancias. Y entonces el capitalismo todo lo convierte en mercancías, hace mercancías a las personas, a la naturaleza, a la cultura, a la historia, a la conciencia. Según el capitalismo, todo se tiene que poder comprar y vender. Y todo lo esconde detrás de las mercancías para que no vemos la explotación que hace. Y entonces las mercancías se compran y se venden en un mercado. Y resulta que el mercado, además de servir para comprar y vender, también sirve para esconder la explotación de los trabajadores. Por ejemplo, en el mercado vemos el café ya empaquetado, en su bolsita o frasco muy bonito, pero no vemos al campesino que sufrió para cosechar el café, y no vemos al coyote que le pagó muy barato su trabajo, y no vemos a los trabajadores en la gran empresa dale y dale para empaquetar el café. O vemos un aparato para escuchar música como cumbias, rancheras o corridos o según cada quien, y lo vemos que está muy bueno porque tiene buen sonido, pero no vemos a la obrera de la maquiladora que batalló muchas horas para pegar los cables y las partes del aparato, y apenas le pagaron una miseria de dinero, y ella vive retirado del trabajo y gasta un buen en el pasaje, y además corre peligro que la secuestran, la violan y la matan como pasa en Ciudad Juárez, en México. O sea que en el mercado vemos mercancías, pero no vemos la explotación con las que se hicieron. Y entonces el capitalismo necesita muchos mercados... o un mercado muy grande, un mercado mundial.”<sup>71</sup>

El hecho de que entonces la mercancía también tenga esta función de ocultamiento de las relaciones sociales de producción, entra en una etapa más aguda cuando éstas, operan cada vez más a un nivel internacional y mundial.

La conformación de ese mercado mundial, como muy brevemente hemos citado ejemplos, ha sido un andar increíblemente basto en la historia de la humanidad. Particularmente porque la lucha por la consolidación hegemónica, como lo mostraron las dos guerras *mundiales* del siglo pasado, pudieron mostrar hasta qué grado tal competencia capitalista es en realidad una cuestión de estrategia. Una estrategia que vuelva una vez más hacia el punto de quién tiene y quién no tiene y quién manda y quién obedece.

***Bajo este argumento son 3 puntos importantes los que hay que señalar.***

***El primero tiene que ver con el desarrollo de las fuerzas productivas y la***

---

<sup>71</sup> EZLN, *op. cit.*

**capacidad de reconfigurar los procesos productivos a nivel mundial.** En este punto habría que considerar las consecuencias de largo plazo descritas en los procesos de división internacional del trabajo, conformación de los Estados nación y la incorporación de los mismos precisamente al mercado mundial, pero también las consecuencias que se pudieron delinear más claramente a partir de la segunda mitad del siglo pasado con el poderío tecnológico mostrado en los aspectos tanto militar como económico (aunque cada vez menos, la línea que los delimita a ambos sea más borrosa).

Las transformaciones científicas y tecnológicas operadas a partir de la guerra pueden explicar una increíble concentración de esfuerzos y recursos que si bien de forma individual no tuvieron por qué coincidir con la dinámica general, el hecho es que vistos en conjunto, alimentaron la capacidad de las potencias capitalistas en los aspectos anteriormente señalados. Y principalmente en el caso de los Estados Unidos.

En el capítulo anterior se hizo un recuento de cómo las tecnologías convergentes de hoy tuvieron importantes antecedentes en el desarrollo científico, que tomó un especial impulso a partir del direccionamiento bélico de inmensas cantidades de dinero destinadas a la *I&D*. Los colaboradores del Proyecto Manhattan, por ejemplo, no sólo fueron militares sin escrúpulos, sino también científicos de la más alta capacidad, muchos de los cuales se tornaron incluso pesimistas respecto al papel general de la ciencia después de Hiroshima y Nagasaki. Sin embargo, es claro cómo el nacimiento, nuevamente como ejemplo, de las ciencias de la computación y sus implementaciones, desde las primeras computadores con arquitectura moderna basada en la de Von Neumann, hasta proyectos a gran escala como la red de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada en Defensa de los Estados Unidos, mejor conocida como ARPANET y que derivó en la base del Internet de nuestros tiempos, fueron concebidas como elementos necesarios en un contexto de combate.

La consolidación de los capitales provenientes de las potencias mundiales, constituyó en la segunda mitad del siglo XX una transformación de la producción a nivel mundial en la medida en que cada vez más, la capacidad productiva permitió una expansión del modo de producción capitalista tanto extensiva como intensivamente. Y aquel camino de larga duración que tomó como punto de partida el nacimiento del capitalismo en un mercado mundial en ciernes, pasó de un proceso de *comercio internacional*, a uno que agregaba

también un proceso de *producción internacional* en donde los cambios cuantitativos en el grado de dichos procesos constituyó también un cambio cualitativo. El desarrollo de las fuerzas productivas permitió una intrincada red de transporte, comunicación, comercio, procesos productivos, una tendencia a la estandarización educativa, científica, de la administración pública, etc. que dejaron sentir su peso hacia finales del siglo pasado y terminaron por permitir, por primera vez en la historia, un terreno de acumulación capitalista global.

De este modo, la producción de mercancías comenzó tendencialmente a disponer de la dimensión espacial, económica y política en escala mundial total y no hubo espacio, capitalista o no, que no tuviera que vérselas con el capitalismo como proceso general. Todas las transformaciones en las condiciones materiales de la producción adquirieron también poco a poco una adaptación que permitía, dicho en términos coloquiales, una respuesta más apegada a la *demanda*. Y en función de este proceso *flexible*, y no de la generación de una comunidad mundial, es que pueden evaluarse la eficiencia y continuidad de las principales tecnologías capitalistas de avanzada, desde la Internet hasta la biotecnología

***El segundo punto importante es precisamente la concepción de estrategia, cuya transformación semántica refleja un proceso histórico de lo que ahora podemos entender como guerra.*** Concordamos en ello con Ana Esther Ceceña y Andrés Barreda, por lo que nos permitimos citarlos ampliamente cuando puntualizan que: “El empleo actual del término ‘estrategia’ implica ya no sólo cuestiones militares o políticas, sino también tendencias económicas mundiales capitalistas. Ello presupone a su vez una compleja evolución histórica, que si bien enriquece el significado del término, lo hace al precio de crear una profunda confusión en el sentido del mismo. Como tal polisemia apenas comienza a ser clasificada y criticada, nuestra investigación en torno a la ‘producción estratégica’ mundial presupone una toma de posición en este terreno”.<sup>72</sup> Y más adelante, señalan particularmente las características que hacen del proceso histórico de la producción estudiada, el que pueda ser abordada como estratégica en el contexto de la evolución semántica del término, lo cual es posible debida a: “1. Se expande planetariamente la organización productiva y comercial capitalista exigiendo un apuntalamiento militar del desarrollo del mercado mundial gestionado

---

<sup>72</sup> Ceceña, Ana Esther y Barreda Marín, Andrés (1995). Producción estratégica y hegemonía mundial. Siglo XXI Editores. México. Página 20.

por las grandes potencias; 2. El capital mundial avanza desde la subsunción real de la producción hasta la reproducción, e involucra el control de los contenidos materiales del consumo, la reproducción de la fuerza de trabajo, la política y la cultura en general”<sup>73</sup>

Lo cual puede resumir en forma analítica gran parte del proceso expuesto más arriba. Cabe aclarar aquí que si bien, ya ubicados en este nivel de análisis, al mostrar esta ruta como una *tendencia general del capital*, no puede tampoco dejarse de lado que en el análisis concreto, no hay tampoco una *homogeneidad o conciencia uniforme* entre los capitalistas, por lo que la *estrategia* es corroborable en evidencia, principalmente como en forma de *consecuencia* y no exclusivamente como *causa* de movimiento, particularmente porque tal manera de responder será siempre una apremiante necesidad ante las crisis de acumulación y no siempre como una forma posiblemente premeditada de actuación, de *un ente*, que por lo demás, es difícil agruparlo como *uno solo*.

***El tercer punto a señalar es finalmente la concepción de hegemonía que se puede construir con estos contextos para utilizarla en delante de una forma claramente delimitada.*** Para lo anterior utilizamos principalmente 2 concepciones que se complementan, la primera es la de Gramsci, que la engloba en términos generales, y la segunda es la de Ceceña-Barreda, que le da un carácter específico en la producción. En Gramsci, el concepto de *hegemonía* responde a una situación del análisis histórico y político concreto que puede encontrar en el *poder y el Estado Burgués*, elementos que condicionan su actuación y que no pueden ser concebidos como una simple relación de dominio de los *pocos* sobre los *muchos*, ya que si fuese así, sería relativamente fácil que se viniera abajo. En realidad tiene que valerse de otros medios para legitimarse como centralizador del ejército, la cultura y el aparato institucional burgués, mismo que puede ser capaz además, de crear una falsa identificación de los intereses de los trabajadores con el Estado burgués. Esta peculiar forma de proceder podemos verla reflejada, por ejemplo, en todo proyecto gubernamental en general, pero también como el caso que estudiamos en esta tesis, en los proyectos de desarrollo tecnológico en particular, en donde se encuentra una falsa identificación de los intereses de la humanidad en general (tecnologías convergentes para el mejoramiento del *desempeño humano*) con los del capital en particular (la nanotecnología como negocio). De este modo, el concepto de *hegemonía* en Gramsci actúa bajo dos formas

---

<sup>73</sup> *Ibidem*, página 21

simultáneas: como dominio de las clases oprimidas y enemigos, así como liderazgo y dirección de los afines.<sup>74</sup> En este sentido, el capital estadounidense es el claro ejemplo de quien ostenta *hegemonía*.

Por otro lado, la competencia por la hegemonía mundial bajo la concepción de Ceceña-Barreda se procesa “a través de la capacidad para determinar las normas generales de funcionamiento de la reproducción mundial, lo que implica el mantenimiento de un liderazgo global que comprenda, sustancialmente, los siguientes elementos: 1. Lo económico en sus aspectos de masa y tasa, es decir, a] la escala de utilización y generación de recursos productivos y reproductivos, en términos de valor y valor de uso, b] la superioridad tecnológica y el grado de productividad del trabajo alcanzado; c] la capacidad para fijar las modalidades generales del proceso de trabajo, y d] la esencialidad de la producción; 2. Lo económico y cultural reproductivo, como medida de la capacidad para dar a su propio modo de vida material y social, y a su concepción del mundo, carácter universal, y con ello definir, entre otras cosas el contenido específico de la mercancía fuerza de trabajo; 3. Lo militar, que es el elemento regulador y sancionador de las reglas del juego y de las jerarquías, así como un eficaz medio de acceso o monopolización de recursos naturales, de promoción comercial, de integración productiva, de sometimiento y regulación poblacional, etcétera, y; 4. Lo geográfico, o geopolítico y geoeconómico, que es el espacio de definición original de la jerarquía que guardan los diferentes territorios en torno de las fuerzas productivas mundiales y sus perspectivas de ampliación.”

Bajo este contexto, las cadenas de producción de valor y producción mercantil, desplazan y se relocalizan a nivel mundial. El desarrollo de las fuerzas productivas presentada por el capital como *una sola y benéfica* progresión del desarrollo humano, tiene entonces repercusiones a nivel mundial, tanto en países o territorios tecnológicamente avanzados, como en aquellos que no los son, y desde otro punto de vista que enlaza al mismo proceso, tiene también repercusiones, tanto en el Ejército obrero en activo, como en el ejército industrial de reserva a nivel mundial.

---

<sup>74</sup> Para ver el desarrollo en su planteamiento original, enfocado principalmente al análisis político, es necesario revisar los *cuadernos de la cárcel*: Gramsci, Antonio (~1937). Cuadernos de la cárcel. Volumen 6 “El Risorgimento”. Editorial Juan Pablos. México, 1980. Páginas 56-163.

Por ejemplo, Raúl Delgado Wise califica que la estructura orientada a las exportaciones que se sustenta en la figura maquiladora, tiene tal carácter que se articula más con el exterior que con su interior. Ante la contracción del mercado interno, la fuerza de trabajo es obligada a emigrar, lo que se traduce más bien en una exportación de mano de obra.<sup>75</sup> Es a partir de este proceso que las contradicciones entre Ejército Industrial de Reserva y Ejército Obrero en Activo se tornan en un doble resultado; la precariedad laboral para los activos (bajos salarios, pérdida de prestaciones, etc.), y el incremento desproporcional del segundo y sus formas de sobrevivencia, tanto en la economía informal como en la migración laboral. A su vez este proceso se da en el contexto de la crisis del Estado nación

#### 2.2.4.2. Crisis del Estado Nación

En la medida en que esta sobrepoblación relativa adquiere especificidades que la diferencian de la de mediados del siglo pasado y que la colocan ahora en un estado de desprotección, habría que seguir la pista también del proceso por el cual de manera general, el Estado comienza a transformar sus políticas económicas hacia el desempleo, la pobreza, etc. y de las que se puede inferir la crisis de su papel político, incluso en la búsqueda de la propia legitimación como aparato dominador de clase. Esto puede encontrarse como claro ejemplo, nuevamente en América Latina cuando, ante la incapacidad de sostener el proteccionismo estatal a la burguesía nacional, a partir de la entrada del neoliberalismo, el sometimiento y gestión de la explotación por parte del Estado hacia su fuerza de trabajo *nacional*, se convierte sólo en una gestión de tal proceso trasladado a la burguesía transnacional. Es decir, el sometimiento de una burguesía por otra, pero dicho proceso adiciona el aplanamiento de las condiciones de explotación de la fuerza de trabajo. Las políticas seguidas en la receta de *apertura, privatización y desregulación*,<sup>76</sup> no pueden verse sino como funcionales al proceso de reacomodo de la producción flexible a nivel mundial.

---

<sup>75</sup> Delgado Wise, Raúl. Globalización y migración laboral internacional. Reflexiones en torno al caso de México en Nuevas tendencias y desafíos de la migración internacional México-EU Editorial MAP, México 2004.

<sup>76</sup> El análisis sobre las reformas estructurales puede revisarse en: Shehan, John (1990). “La inflación, los déficit externos y los programas de estabilización del FMI”. En Modelos de Desarrollo en América Latina: Pobreza, Represión y estrategia económica. México. Alianza Editorial Mexicana – Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 1990. Capítulo V.

Sin embargo, en la expansión general del dominio capitalista no hay más enemigos a la vieja usanza, *no hay más amenaza comunista del bloque soviético, ni aliados, ni eje*. La expansión actúa ahora como una guerra del capital contra la humanidad y bajo una doble dinámica: “Países enteros se convierten en departamentos de la megaempresa neoliberal. El neoliberalismo opera así la DESTRUCCIÓN / DESPOBLAMIENTO por un lado, y la RECONSTRUCCIÓN / REORDENAMIENTO por el otro, de regiones y de naciones para abrir nuevos mercados y modernizar los existentes.”<sup>77</sup>

Esta dinámica de guerra, lleva consigo no la destrucción total de los Estados nación, sino más bien su re-funcionalización: “Estas armas [las hiperbombas financieras] sirven para atacar territorios (Estados Nacionales) destruyendo las bases materiales de su soberanía nacional (obstáculo ético, jurídico, político, cultural e histórico contra la globalización económica) y produciendo un despoblamiento cualitativo en sus territorios. Este despoblamiento consiste en prescindir de todos aquellos que son inútiles para la nueva economía de mercado (por ejemplo los indígenas). Pero, además, los centros financieros operan, simultáneamente, una reconstrucción de los Estados Nacionales y los reordenan según la nueva lógica del mercado mundial (los modelos económicos desarrollados se imponen sobre relaciones sociales débiles o inexistentes).”<sup>78</sup>

Pero a pesar de ese marco general, podemos observar que particularmente y al igual que en otras épocas, la modernización productiva es soportada por la clase obrera. Antes de entrar a ese punto como tal y ligando éste con el próximo, hemos de poner un ejemplo de lo que esta relocalización y refuncionalización productiva y su relación con el Estado indican a través de un ejemplo. *Continetal Llantera Potosina* (CLP), es el nombre de una empresa encargada de subcontratar fuerza de trabajo para Grupo Continental en San Luis Potosí, México, en donde está una de las once plantas que posee a nivel mundial. A partir del periodo de crisis en 2007, CLP decide interponer una demanda de carácter económico ante la Secretaría de Conciliación y Arbitraje para que el sindicato que agrupa a los trabajadores de la planta de San Luis acepte el recorte del 50% de sus prestaciones. En un dictamen elaborado por un despacho de abogados que preside un ex funcionario del gobierno federal

---

<sup>77</sup> Subcomandante Insurgente (SCI) Marcos, Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN) (1997). 7 piezas sueltas del rompecabezas mundial. México, junio de 1997. Disponible a través del sitio *palabra zapatista*, del EZLN:

<http://palabra.ezln.org.mx/>

<sup>78</sup> *Ibidem*.

mexicano, se argumenta que *los trabajadores son poco productivos, que tienen altos salarios, y que de ya no resultar el negocio, la empresa tendría que cerrar e irse de México, lo cual sería una lamentable pérdida de empleos para el país que tanto los necesita*. Pero la situación real, que puede incluso calcularse de manera precisa de acuerdo a las cifras contables y de almacén de la empresa es que la dificultad promedio de las llantas fabricadas en la planta de San Luis es 70% más compleja que el estándar mundial de la empresa, que sus márgenes de desperdicio son también relativamente bajos y que a partir de la introducción de nueva maquinaria entre 2005 y 2007 habían incrementado su producción en 35%. Pero no sólo, de acuerdo al precio promedio de las llantas, la jornada y la productividad promedio de un trabajador promedio de CLP; a) una vez descontados todos los costos, tanto de materias primas como de transformación (instalaciones, luz, procesos, etc.) la cantidad de llantas necesarias para reponer el salario diario de un trabajador es de 0.56 llantas, b) de acuerdo a la productividad promedio, un trabajador podía producir tal cantidad de llantas en un lapso de 13 minutos, c) dado que la jornada laboral promedio era de 7 horas con 20 minutos, el trabajo excedente, o el trabajo impago, era 7 horas con 7 minutos que constituye el 97% de toda su jornada, d) la tasa de explotación era del 3,231% y e) entre 2005 y 2007, el conjunto de entre 750 y 1200 trabajadores (ya que los fueron despidiendo en tanto introdujeron nueva maquinaria), produjeron como plusvalor bruto total acumulado la para nada despreciable cantidad de \$2,676 millones de dólares.<sup>79</sup>

Puesto en otros, términos, la tasa de explotación representaba para los trabajadores que por cada hijo que ellos mantenían, le daban a los dueños de continental tanto dinero como para mantener a 32, que por cada hora que ellos se exponían a accidentes de trabajo para llevar el sustento a sus familias, tenían que exponerse casi 5 días a la misma situación para generarle ganancias a Continental, y todavía *los ingratos trabajadores no podían producir más para hacer redituable el negocio*. Por otro lado la propiedad de la planta estriba en que los inversionistas adelantaron una cierta cantidad para adquirirla, pero en tanto esa cantidad había sido ya pagada una cantidad de veces inimaginable en el lapso de 3, 5 10 o 15 años, ¿en dónde sino en la explotación y el despojo reside la propiedad privada

---

<sup>79</sup> Para seguir el caso en general de Continental Llantera Potosina consúltese el libro de: Lozano Arrondo, Luis, et ál. (2009). De llantas y atropellos. Trabajo, salario, productividad, y derechos laborales en la industria llantera mexicana. Edición conjunta del Centro de Análisis Multidisciplinario (CAM) de la facultad de economía de la UNAM, el Sindicato Nacional de Trabajadores de General Tire de México y la FES-Iztacala. México 2009. Y para el cálculo detallado de la tasa de explotación revise el capítulo 7 “Grado de explotación de los trabajadores en México”.

capitalista? Tasas de explotación, trabajo asalariado, leyes a favor del capital, desarrollo tecnológico y la relación de servicio del Estado a la burguesía (en este caso transnacional), todo ello puede encontrarse en este caso que es emblemático de nuestros tiempos al igual que tantos otros repartidos por el orbe. Y al igual que en otros casos, esto se esconde tras el mercado en donde al comprar una llanta para camioneta, no se ve la explotación y todas las situaciones que involucró su producción. Esto es precisamente cuando las relaciones entre sujetos, son sustituidas por relaciones entre cosas, entre mercancías que no hablan otro lenguaje más que el lenguaje del dinero, esto es el fetichismo mercantil llevado al siglo XXI.

#### **2.2.4.3. Flexibilidad laboral**

Como hemos mencionado antes, estamos argumentando cada uno de los tres procesos simultáneos que operan para dar como resultado aquello que, en el contexto de esta investigación, entendemos por globalización. El tercero de dichos procesos es la flexibilidad laboral. De acuerdo a Adrián Sotelo, “La Flexibilidad del trabajo asume dos formas principales: a) La primera se relaciona con la adaptación de los mercados de trabajo a las innovaciones tecnológicas y a los cambiantes ritmos del ciclo económico. Sin embargo, de alguna forma aquí la flexibilidad asume la capacitación de los trabajadores e implementa políticas de reubicación laboral, b) La segunda es hacer más competitivas a las empresas con cargo a las normativas de inseguridad en el empleo, el aumento de la intensidad del trabajo, la discriminación de los salarios y la desregulación de las condiciones de protección de los trabajadores. Esta última se asocia a la desigualdad del ingreso, pérdida de puestos de trabajo y diversas maneras en que las condiciones de los trabajadores se volvieron más precarias y se va agudizando cuando no existen contrapesos políticos por parte de los sindicatos para frenar tendencias de la reestructuración.”<sup>80</sup>

Es decir, la primera ocurre principalmente en donde la tecnología de vanguardia es implementada, mientras que la segunda, en el resto de procesos, aunque hay que remarcar que se han enunciado como formas principales, más no únicas, ya que puede existir también una combinación de ambas simultáneamente. La segunda forma es la que actúa

---

<sup>80</sup> Sotelo Valencia, Adrián (1999) Globalización y precariedad del trabajo en México. Ediciones El Caballito S.A. de C.V. México, página 118.

principalmente ante nuestros países en donde es claro que aún a pesar de que la modificación en los procesos productivos, el efecto agregado corresponde a una precariedad general del trabajo, más que a una modificación productiva, en particular por el peso relativo que constituye la industria en el conjunto total de la economía, es decir, relativamente bajo.

Además, a partir de los 70's se entra en una clara crisis productiva que repercute en la transformación y disgregación de la producción en el planeta y si bien los procesos migratorios tienen una larga historia a nivel internacional, es a partir de ésta década del siglo pasado que esos flujos se acentúan hasta el grado de identificar que por causas económicas, una de cada 35 personas en el mundo es migrante internacional. Una muestra significativa de este proceso podemos verlo en la siguiente cita: "Es interesante destacar el importante papel jugado por la migración en el crecimiento de la población en países tales como Canadá con el 37%, Alemania (130.9%), Estados Unidos (33.0%), Italia (166.7%), Suiza (72.6%) y Bélgica (71.4%), lo que sin duda ejerce un efecto positivo sobre la posibilidad de incrementar la población económicamente activa de dichos países".<sup>81</sup> Sin embargo, cabe aclarar que no es sólo la mano de obra desempleada la que emigra, sino que también la que se encontraba empleada.<sup>82</sup> En cuanto a ello, autores como Gerardo González han hablado sobre tendencias mundiales que pueden verificarse en algunos datos como lo siguientes:<sup>83</sup>

- A) Tan sólo de 1993 a 2007, los desempleados a nivel mundial pasaron de 140.5 millones a 189.9 millones de personas a nivel mundial, es decir, en 15 años el desempleo mundial se incrementó en 49.4 millones de personas. Esto es tanto como si en esos quince años, toda la población económicamente activa de México se quedara desempleada.
- B) En 2007, los migrantes a nivel mundial son 191 millones de personas, la mayoría son jóvenes entre 15 y 44 años con escolaridad creciente superior a los 10 grados y un alto porcentaje de profesionistas.

---

<sup>81</sup> Aragonés Castañer, Ana María (1997). Migración internacional de trabajadores. Una perspectiva histórica. Editorial Plaza y Valdes. México 1997. Además, los flujos migratorios se dan a un nivel tanto, que dejan de ser simples anomalías o procesos desorganizados, para tomar la forma de redes de migrantes que organizan rutas y recursos para poder realizar con éxito sus traslados

<sup>82</sup> "Es evidente que el motivo principal de las corrientes migratorias es de carácter económico. Sin embargo esto no significa que los inmigrantes mexicanos carezcan de trabajo en México. La mayor parte de los migrantes tuvieron trabajo, ocupación productiva antes de migrar." "Migration between México and the US" estudio bilateral citado en Velasco Edur y Roman Richard. "Migración, mercados laborales y pobreza en el septentrión Americano", página 51.

<sup>83</sup> González Chávez, Gerardo. 2004. "La Globalización y el mercado de trabajo en México" en Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía. Vol. 35 No. 138 julio/septiembre de 2004. Página 114.

Al mismo tiempo, una serie de efectos tienden ya no sólo a llevar a cabo una explotación del trabajo al obtener del mismo un trabajo excedente aún cuando se le remunerara en forma de salario, tanto como el monto de su subsistencia, sino que ahora también opera la superexplotación del trabajo, consistente en que los salarios no sean ni siquiera los de subsistencia, es decir que la mercancía fuerza de trabajo se compre y se venda por debajo de su valor. “Pero la disputa por la flexibilidad del trabajo se remonta al conjunto del sistema de relaciones industriales y abarca también a la legislación laboral, la seguridad social, así como las instituciones vinculadas con la negociación colectiva y la resolución de disputas entre capital y trabajo”.<sup>84</sup>

Hay que recordar por ejemplo, que el aspecto laboral corresponde no sólo a las condiciones de la producción sino también al conjunto de relaciones obrero patronales, incluyendo por supuesto, marcos que sólo son comprendidos al abordar el problema de forma agregada. Éste es el caso del sistema de pensiones y jubilaciones, terreno en el cual también existe un marco desfavorable, por ejemplo cuando Robert Holzmann, Director del Departamento de Protección Social del Banco Mundial, aludiendo a la posición del mismo respecto a los sistemas de pensiones afirmaba que: “Una segunda conclusión de nuestro informe señala que 10 años atrás [hacia mediados de los 90’s] los actuales programas de pensiones –aquellos que no se reformaron pero también algunos reformados– continúan prometiendo más de lo que pueden dar, no son sólidos desde un punto de vista financiero, son injustos, y continúan teniendo una baja cobertura, incluso los recientemente reformados. Es este último fracaso el cual llama particularmente la atención y desafía a una institución como el Banco Mundial que tiene como misión esencial la lucha contra la pobreza.”<sup>85</sup>

En el proceso productivo el obrero aplica sus capacidades físicas y mentales, sin embargo el desgaste total acumulado de años, deja un saldo permanente en su vida, particularmente en su vejez, independientemente si le siguen pagando o no un salario. Nuevamente, cuando nos abocamos a una visión agregada y a largo plazo de las relaciones laborales, podemos darnos cuenta cómo cada vez ocurre con más frecuencia, que el obrero aún a pesar de haber trabajado para diversos capitalistas durante toda su vida, al saldo de su

---

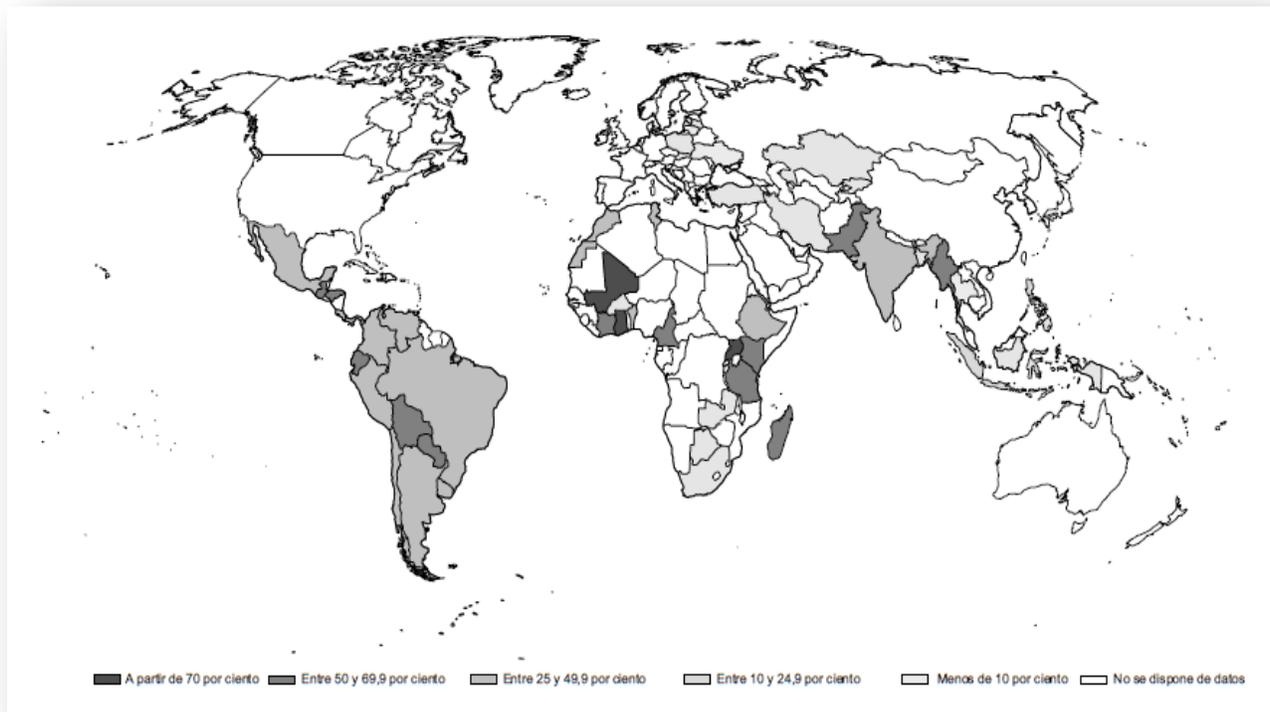
<sup>84</sup> De la Garza, Enrique y Alfonso Bouzas (1998). “Flexibilidad del trabajo y contratación colectiva en México”. En *Revista Mexicana de Sociología*, volumen 60, número 3, IIS-UNAM, julio-septiembre de 1998. Página 89.

<sup>85</sup> Holzmann, Robert (2002). “Soporte del Ingreso en la vejez en el siglo XXI: una perspectiva internacional de los sistemas de pensiones y de sus reformas”. CIEDESS. Santiago de Chile 2002. Página 228.

esfuerzo como parte del obrero colectivo que valoriza incluso varias generaciones de capital y que por saldo deja una situación precaria, desempleo, pobreza, marginación, etc., en la vejez debería ser argumento suficiente para entender que un salario de subsistencia debería procurar por lo menos, también los últimos años de vida de la clase trabajadora. Es claro que esto no ocurre en el mundo.

Es decir, visto el sistema de pensiones (que a decir de cualquier analista financiero, no es un monto menor el que constituye de forma agregada) como parte del salario social, nos puede dar un ejemplo claro de que *el salario social no es el de subsistencia*. Aunque a dicho resultado se pueda llegar de otras formas como en el análisis del poder adquisitivo del salario, niveles de ingresos y precios, etc., que por su extensión, los mencionamos pero no los abordamos aquí.

Igualmente encontramos a nivel mundial uno de los indicios más claros de la precariedad laboral en los niveles de empleo en el sector informal (que es sólo una parte de la economía informal) (ver Figura 6) el cual ha venido incrementándose incluso en países que ya habían cursado un proceso de industrialización y que sin embargo estos indicadores dan cuenta de la forma en que se ha venido engrosando las filas del ejército industrial de reserva tanto en términos absolutos como en términos relativos (lo cual, dicho sea de paso ha constituido todo un dolor de cabeza para los estadistas de organismos internacionales que no pueden estimar parámetros reales y que funcionan para delimitar aquello a lo que llaman la economía informal). Compárese como ejercicio las Figuras 5 y 6 y podrá emerger visualmente una clara relación que se ha venido argumentando detalladamente aquí. La acumulación de capital de un lado es indisociable de la acumulación de pobreza y miseria por el otro. Si bien los indicadores mostrados en ambas figuras no se identifican con los resultados formales a los que nos referimos estrictamente, pueden ser un buen ejemplo de la tendencia general. Por otra parte, también muestran cómo los procesos que operan cambios en las fuerzas productivas, más aún desde que existe un mercado mundial maduro, están lejos de operar en la escala nacional ya que sus repercusiones son globales.



**Figura 6.** Porcentaje del empleo en el sector informal dentro del total de empleo en los países sobre los que se dispone de datos en la OIT. Fuente: Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2002) El trabajo decente y la economía informal. Conferencia Internacional del Trabajo, Informe VI. 90a reunión 2002. Página 14.

### **2.2.5. Acumulación originaria de capital, Ley general de acumulación capitalista y Ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia en la teoría del desarrollo**

Podemos mencionar así que la globalización comprende tanto la transformación de la producción en el modelo basado en el Ford-taylorismo, al inspirado por la producción flexible del modelo Toyota, como del Estado proteccionista e interventor al Estado Neoliberal, así como la transición de la regulación laboral en ámbitos nacionales a la desprotección y precarización del trabajo a nivel global.

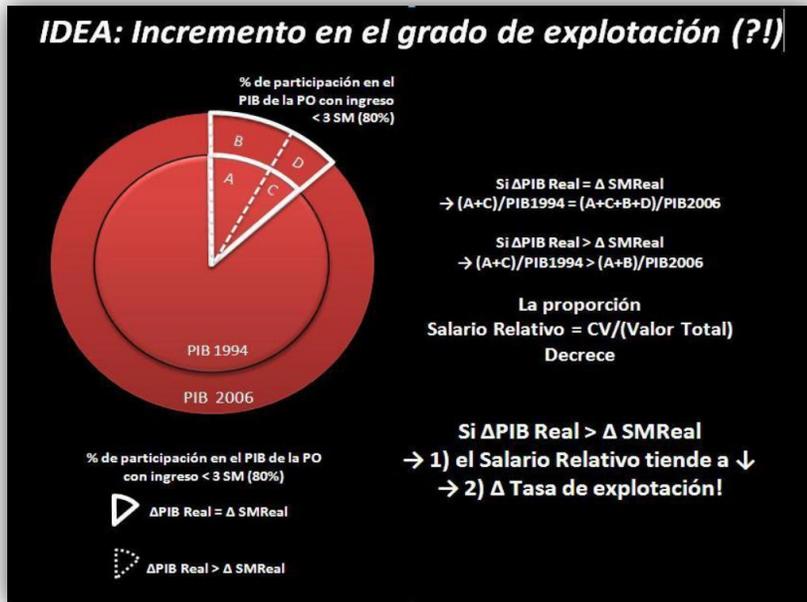
Es momento aquí de hacer una serie de menciones conclusivas al recuento que hemos hecho, y relacionarlo con una teoría del desarrollo económico capitalista que englobe tanto aquellos casos que se mencionaron aquí como otros que quedarán para futuras

discusiones. Y ésta puede enunciarse en tres elementos.

- a) Las condiciones de acumulación originaria de capital, que integran el proceso histórico de separación del productor directo de los medios de producción así como la generación de un mercado de fuerza de trabajo y un mercado de bienes de consumo, al igual que el nacimiento del capitalista industrial y la relación y papel que en todo ese proceso jugó (y juega) el Estado como aparato no de conciliación entre calases, sino dominador de clase, es decir, como una de los órganos centrales y necesarios del modo de producción capitalista
- b) La ley general de acumulación capitalista que actúa ante un escenario de 1) composición orgánica creciente como producto del desarrollo de las fuerzas productivas, al igual que 2) la relación entre capital bancario e industrial, más aún en tanto se fusionan para dar paso al capital financiero y solventar así los hoyos de la circulación y al mismo tiempo 3) la concentración y centralización de capital como producto directo de la competencia inter-capitalista, escenario que al conjugar estos elementos arroja el resultado de que a mayor acumulación de un lado, mayor miseria y pobreza por el otro, además de las dinámicas entre Ejército industrial de reserva y Ejército obrero en activo y sus consecuencias, ya sean vistas en una escala nacional, o en el ámbito mundial bajo la perspectiva de desarrollo y subdesarrollo.
- c) La ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia. En la medida en que los cambios observados en el desarrollo de las fuerzas productivas no se corresponden con un incremento ni cercanamente proporcional de las tasas de ganancia. Es decir, que dicha ley se comprueba a partir de sus contratendencias.

Si bien los incisos a) y b) pueden ser relacionados fácilmente con la *exposición a modo* que se ha hecho hasta este punto, existen algunos elementos sobre el inciso c) que podríamos agregar como indicios. El primero de éstos tiene que ver con algo que si bien tiene que llegarse por una serie de rodeos y triangulaciones, mantengo como hipótesis futura de trabajo que es posible medirse en la actualidad, no de manera escalar, sino proporcional. Me refiero aquí a niveles generales de incrementos en las tasas de explotación.

Por ejemplo, para la demostración de la baja tendencial de la tasa de ganancia a partir de las contratendencias y principalmente a partir de aquella que tiene que ver con el incremento de la tasa de explotación, no es necesario decir con exactitud a cuánto asciende



**Figura 7.** Esquema de una forma de rastrear incrementos en la tasa de explotación para dos periodos dados.

el círculo pequeño, correspondiera a un nivel de valor producido medido en dinero para un año base, por decir 1994, y el grande concéntrico para 2006 en términos *reales*. Imaginemos que las rebanadas A y C son la participación relativa de los salarios en el PIB modificado medido de acuerdo a la proporcionalidad del Salario mínimo (SM) en términos reales y la cantidad de trabajadores que participan por niveles tasados en salarios mínimos. De aquí podemos partir en dos casos. En el uno tenemos que si el incremento en el PIB real es igual que el incremento en el SM real, entonces existe una igualdad entre “A+C” como porcentaje del PIB de 1994 y “(A+B)+(C+D)” como porcentaje del PIB de 2006. En el caso 2 tenemos que sí el incremento en el PIB real es mayor que el incremento en el SM real, entonces “A+C” como porcentaje del PIB de 1994 es mayor que “(A+B)+(C+D)” como porcentaje del PIB de 2006, con lo que 1) el salario relativo disminuye y 2) se incrementa la tasa de explotación (siempre y cuando otra serie de circunstancias se cumplan, que por cuestiones de espacio no se profundizan). Valga decir que para ello es necesaria una evaluación del poder adquisitivo del salario para cada agregado que se tome para hacer el cálculo, lo cual presenta la mayor

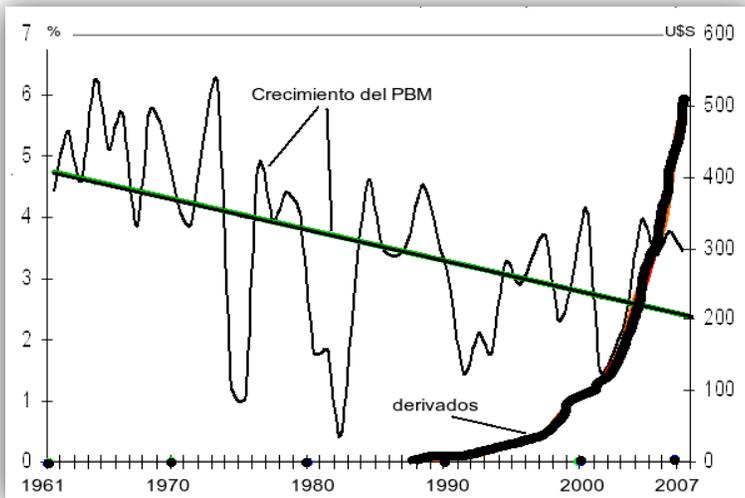
la tasa de explotación si no afirmar que creció y en qué proporción pudo haberlo hecho. Si se tomasen dos periodos del producto agregado de una nación que descontase inversiones en capital constante *adecuadamente acomodado*, (algo así como un PIB modificado) y entre ellos se estimase la participación relativa de los salarios, se podrían encontrar indicios sobre un incremento en la tasa de explotación (ver Figura 7). Si el

dificultad, aunque quizá no tanta como otros caminos de corroboración necesitarían. Aún se mantiene como hipótesis futura aunque se ha podido calcular para algunos casos.

Ahora bien, aunque es conceptualmente distinto, esto puede equipararse también a una **desaceleración** de los ritmos de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB). Sirva para ilustrar esta particularidad, una gráfica de las tasas de crecimiento del Producto Bruto Mundial (PBM) (Ver Gráfico 10).

**Gráfica 10.**

Tasas de crecimiento en el Producto Bruto Mundial, en % y Productos financieros derivados, en billones (millones de millones) de dólares.



Fuente: Arancibia, Juan (2009). "La crisis actual del capitalismo como crisis de desigualdad" conferencia del 31 de octubre de 2009 en el marco del Diplomado El mercado de Trabajo en México. Instituto de investigaciones Económicas, UNAM. México. Versión digital.

PBM, es decir, que siempre fuese positiva, lo que nos interesa aquí es la tendencia decreciente en tanto *desaceleración*, por ejemplo, en este periodo del 4.7% al 3% de crecimiento anual. Algo similar ocurre con la tasa general de ganancia.

Lo que sí podemos ver de manera común a un nivel muy básico en los diversos autores aquí presentados, es que existe un marco internacional, desde mi punto de vista la transición productiva a un modelo flexible como salida a la tendencia decreciente a la tasa de ganancia, lo que impone desde los concentradores de la tecnología, una lógica subyacente de *reestructuración al mundo del trabajo* que trasladará los costos de las crisis hacia las

En la gráfica 10 podemos ver cómo en el periodo que comprende los últimos 50 años de la economía mundial las tasas de crecimiento se han desacelerado continuamente dando un panorama de crisis general, con algunas recuperaciones, pero que en la medida en que el análisis rebasa el panorama de unos pocos años y adquiere la dimensión de décadas, puede verse claramente una tendencia a la baja del ritmo de crecimiento. Es aquí muy importante distinguir que aunque no se presentase una caída en términos absolutos del

clases trabajadoras de los países que ahora tengan este único recurso como *ventaja comparativa* en un contexto de subsunción a la generación de cadenas transnacionalizadas de valor. Pero es en realidad con ello, con la explicación de un mercado materialmente maduro que da paso a la globalización, que se puede entonces proceder también al análisis de la Ley general de acumulación capitalista a nivel global, donde se cumpla que, a mayor acumulación de un lado, mayor miseria y pobreza por el otro, además de las consabidas relaciones entre Ejército Industrial de Reserva y Ejército Obrero en activo. Mismo que explicaría el por qué aún ante aumentos marginales en la productividad, como representaciones casuales del incremento en la composición orgánica, la acumulación en la Industrialización Orientada a las Exportaciones (IOE) implica una mayor pauperización de la clase obrera mundial. Con lo cual la relación de *larga duración* del desarrollo de las fuerzas productivas actuando sobre la configuración del proceso de trabajo ha quedado esbozada. Además, en este marco teórico-metodológico, se puede entonces explicar el proceso por el cual: A) al paralelo del proceso de globalización y producción flexible en los países altamente industrializados, corre un proceso de generación de sobrepoblación relativa a los requerimientos de mano de obra industrial global, concentrándose esta población excedente en países subdesarrollados, y B) El costo de las crisis, cuya aparición cíclica se presenta cada vez en periodos más breves de tiempo, se manifiesta en el mercado de trabajo como una precarización en las condiciones del *ejército obrero en activo* y un incremento desproporcional del *ejército industrial de reserva* a nivel global. Relaciones todas, en las cuales el papel del Estado se presenta constantemente.

### **2.3.El desarrollo nanotecnológico estadounidense como desarrollo económico capitalista.**

Con todo lo hasta aquí expuesto, tanto en el sentido descriptivo del primer apartado de este capítulo, como con el sentido histórico de contexto del segundo, vamos a continuación a enumerar varias características que permiten insertar el desarrollo nanotecnológico, principalmente desde sus comportamientos observables desde el análisis de patentes y su respectiva competencia intercapitalista, en la dinámica anteriormente descrita, es decir, que

por su *forma general* de desarrollo tecnológico capitalista, sus consecuencias son indisociables de las de la ley general de acumulación de capital.

### 2.3.1. Contexto global de la nanotecnología.

Primeramente hemos de señalar que el proceso descrito en la sección anterior configura el contexto del cual nace también el desarrollo de las tecnologías convergentes. Los aspectos descritos en cuanto a los antecedentes científicos de la nanotecnología del capítulo anterior y su convergencia hacia un panorama de desarrollo convergente de las mismas, si bien ocurre de manera desagregada en diversos países, de los cuales destacan Alemania en Europa y Japón en Asia, pero es *en* Estados Unidos en donde se concentra. A esto hay que agregar que el papel de la inserción de la nanotecnología no ocurre simplemente bajo una caracterización simple de concentración en Estados Unidos, sino en el papel hegemónico que su capital tiene.

Por otra parte es muy importante hacer hincapié en el contexto de crisis que vive el capitalismo mundial desde hace ya varias décadas.<sup>86</sup> Podríamos aventurarnos a hacer una analogía entre la crisis que vive la Europa feudal del siglo XV que describe Hobsbawm, y la respuesta que constituye y se hace evidente en la revolución industrial a la vuelta de dos siglos. O dicho con Marx, la respuesta que se encuentra en la plusvalía relativa al límite de extracción de la plusvalía absoluta. Estas formas de respuesta ante una crisis o un límite, son también el contexto en los que la nanotecnología surge. En su versión del siglo XXI, el capital ya no tiene sólo que responder a los problemas que le supone la acumulación de capital por su frontera en la explotación de la fuerza trabajo sino también de la crisis provocada en la extorsión de la naturaleza, tema que trataremos en el capítulo tercero.

Las *tecnologías convergentes* como proyecto en el que los actores que mencionamos al describir la NNI –tanto instancias gubernamentales, como instituciones educativas y de

---

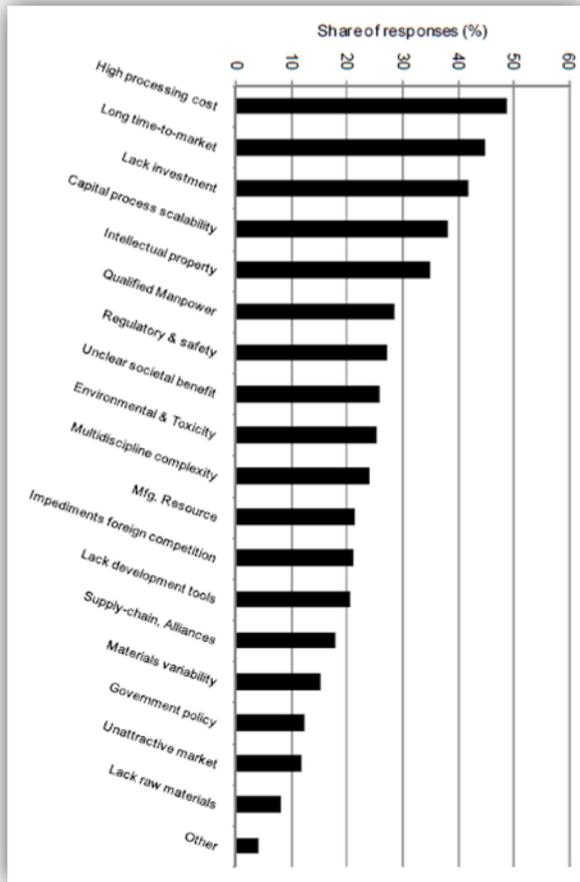
<sup>86</sup> En una clase de Desarrollo Económico, Magdalena Galindo suele decir al respecto algo así como: *Parece que la delimitación del inicio de la crisis es tan viejo como el autor que lo aborde. Así para los que vivieron el 68 la crisis comienza en los setenta, para los que les tocó vivir una generación después, la crisis comienza hacia los ochenta. Otros la sitúan a partir de los noventa y ahora hay quienes la sitúan a principios de este siglo.* Lamento no tener una cita textual, y espero no deformar (mucho) la manera en que ella lo argumenta, pero mi motivo de comentar esto aquí es la forma tan característica en que la crisis de acumulación se vuelve una constante con la que el capital tiene que vérselas.

investigación, a la vez que empresas privadas— pueden tener la capacidad de diseñar y poner en marcha un proyecto que disponga en tal magnitud de elementos públicos y privados —que ahora podemos mencionar claramente como el *plusvalor social*—, sólo es posible en el contexto de maduración de la interrelación Estado-capital consolidada durante el siglo XX y que desplegó una capacidad de transformación productiva más allá de las fronteras políticas de cada país. Esta misma relación, como hemos expuesto, se vigoriza y apuntala en la medida en que en ese proceso no sólo el capital se encargó de extender sus marcos de acción, sino sobre todo, sus fuentes de extracción de plusvalor y acumulación de capital.

Después de la segunda guerra mundial y hasta nuestros días, no sólo en Estados Unidos pero principalmente en él, la relación que guardó el desarrollo tecnológico con el orden militar y económico se integró por completo en las políticas públicas encaminadas al *orden mundial* entendidas como *seguridad nacional*. El papel hegemónico de Estados Unidos no está sustentado sólo en un aspecto de su participación global, pero uno de esos aspectos es la capacidad para desplegar su producción en sus tiempos y modos esparcidos por todo el planeta. Por otro lado, es tanto la extensión de la fuente de acumulación de capital, tanto su forma hegemónica sustentada entre otras cosas en su hegemonía tecnológica, lo que se plasma en la formulación de sus proyectos en dicho campo. Pensar sólo el marco institucional o de diseño de una política particular de la industria en Estados Unidos sin tomar en cuenta este proceso que le da contexto, es verlo de una manera incompleta. Por decirlo metafóricamente, *es como concebir un instrumento sin su ejecutante*. Y esto aplica también para la NNI y el desarrollo nanotecnológico en Estados Unidos. De modo que en eso estriba la diferencia en cuanto a las consecuencias que pueda tener el diseño de un marco institucional de desarrollo nanotecnológico en particular y de desarrollo industrial en general. Aún en las más *bienintencionadas* formulaciones de estrategias nacionales de nanotecnología, en las que podría igualarse (copiarse) la NNI, la diferencia estibaría no en la *forma*, sino en el *contenido*. Ahora bien, partir de un contexto global de la manera antes descrita así como de uno de consolidación hegemónica en tecnología, no implica directamente que la nanotecnología tenga o no una continuidad idéntica al mismo, por lo que habría que apuntar más aspectos que lo caractericen.

### 2.3.2. Condiciones de entrada a la competencia nanotecnológica.

**Gráfica 11.** Retos en manufactura y comercialización entre las empresas nanotecnológicas de EUA. 2005.



Fuente: OCDE (2009). op.cit., página 79

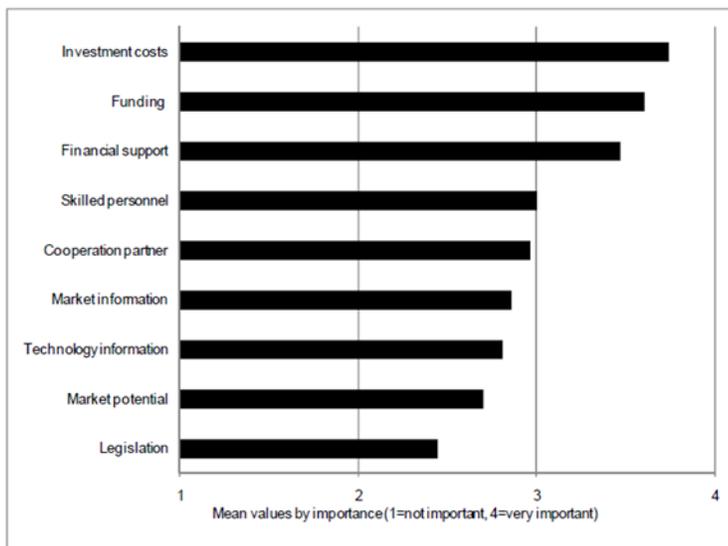
grande que una agencia pública haya realizado, proveyendo así una importante perspectiva al interior de las empresas, aunque la atención puesta en la industria existente en EUA ha de ser tomada en cuenta para considerar los resultados<sup>87</sup> De entre las derivaciones de dicha encuesta, para efectos de nuestro argumento, podemos encontrar aquellos aspectos referidos por las empresas respecto a los retos en manufactura y comercialización (ver gráfica 11). Las respuestas de mayor frecuencia son por un lado los altos costos, los tiempos prolongados para llevar un producto al mercado, la falta de inversiones, la escalabilidad de la inversión y la *propiedad intelectual*.

<sup>87</sup> OECD, Directorate for Science, Technology and Industry (DSTI), (2009). Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics. STI working paper 2009/7. Páginas 79-80.

Entre 2003 y 2005 la NSF de Estados Unidos efectuó 3 cuestionarios para encuestar al universo de compañías nanotecnológicas de ese país y que serían complementados con otros cuestionarios bajo temáticas no necesariamente continuas en 2008 y 2009. De acuerdo a la OCDE “El objetivo de esta encuesta fue entender y resaltar los esfuerzos dentro de las industrias existentes encaminados al desarrollo y comercialización de tecnologías manufacturadas, con una atención específica hacia cómo los jefes ejecutivos de las empresas tratan la nanotecnología diferenciadamente de cualquier otra generación de ciencia y tecnología. En la encuesta de 2005, un cuestionario electrónico fue enviado a 6,000 jefes ejecutivos con una respuesta del 10% o 595 respuestas completas. Lo cual quizá represente la encuesta más

Son estos aspectos los que por un lado describen el marco de competencia entre empresas y por el otro la manera en que el gobierno ha de intervenir. Por ejemplo, uno de los objetivos de la NNI es acortar el tiempo entre el desarrollo de investigaciones de nuevas propiedades, la realización de prototipos y su posterior conexión a productos totalmente comerciables. La reducción de este tiempo, en tanto necesidad de empresas obedece a una lógica de éstas por hacer su negocio más redituable, y hay una facilitación del marco gubernamental para que esto suceda al precio que sea (veremos sus detalles en el capítulo siguiente). La propiedad intelectual es un marco jurídico consolidado del capitalismo, mediante el cual puede prolongarse el tiempo en el que una plusganancia extraordinaria deja de serlo. En nuestro contexto de estudio, esto significa que se concede exclusividad sobre la aplicación de un desarrollo tecnológico que deriva, o bien en la generación de nuevos valores de uso bajo un mercado cautivo para acaparar ganancias, o bien en un incremento en productividad que permite situarse entre los capitales que guardan una mayor proporción entre el plusvalor apropiado privadamente respecto al aporte al plusvalor social.<sup>88</sup>

**Gráfica 12.** Barreras a la innovación entre empresas alemanas de nanotecnología.



Fuente: OCDE (2009). *op.cit.*, página 87

<sup>88</sup> Este caso puede señalarse para el ejemplo que incluimos en la introducción respecto a la formación de una tasa media de ganancia en que los primeros capitales contenían una mayor composición orgánica.

<sup>89</sup> Malanowski, N, Heimar et ál. (2006). *Growth market Nanotechnology. An analysis of technology and innovation.* Wiley VCH Verlag.

Una consecuencia refleja de este aspecto y del papel que juega Estados Unidos en la competencia global puede encontrarse en el conjunto de circunstancias pertenecientes al mismo campo pero en otros países de la competencia nanotecnológica.

Por ejemplo, una encuesta similar preguntó a compañías alemanas en nanotecnología cuáles serían las principales barreras para la innovación<sup>89</sup> y las respuestas más importantes fueron los costos de

inversión, el financiamiento, el apoyo financiero, y el personal capacitado. (Ver gráfica 12). Si bien no son las mismas preguntas, las respuestas en los dos casos pueden darnos idea de la forma en que es entonces necesaria la intervención del Estado en sus respectivos países. Particularmente en nuestro caso de estudio, los Estados Unidos, es precisamente la agencia conducente de la NNI la que se encarga de formular el cuestionario para el diseño de su papel como instrumento de intervención del Estado, que de manera general, como se ha mostrado a inicios del capítulo, ha permitido el traslado de recursos y esfuerzos públicos para el desarrollo de la nanotecnología como negocio.

Las necesidades de las empresas nanotecnológicas reflejan en primera instancia las condiciones *de entrada* a la competencia mundial, y el marco de la NNI la manera en que en Estados Unidos, la intervención estatal favorece la actuación de sus empresas en la misma. Bajo estas circunstancias, la industria nanotecnológica presenta ahora una fuerte concentración vista desde el aspecto global. Además, visto desde las condiciones de desarrollo tecnológico y los consecuentes montos de capital necesarios para entrar en la competencia –y en la medida que éstos presentan una prolongación de su ciclo de realización debido al tiempo para llevar un producto al mercado– el negocio nanotecnológico mantiene de este modo un nicho que, por sus condiciones *de entrada*, resulta en un mercado de difícil acceso a la competencia y altamente protegido. *Aquí no opera el libre mercado.*

### 2.3.3. Focalización de patentes y centralización nanotecnológica.

Sin embargo, este marco de acción general por un lado promueve las inversiones pero también por el otro se ve indudablemente vinculado a una centralización de las mismas, primero de manera efectiva hacia EUA, pero al interior del mismo, a un puñado de empresas. De los estudios sobre patentes que comenzamos a citar en el capítulo anterior, mostramos a continuación, obtenido del artículo de Xin Li,<sup>90</sup> el top 20 de los países que tienen el mayor

---

<sup>90</sup> Li, Xin, *et ál.*, (2007). “Worldwide nanotechnology development: a comparative study of USPTO, EPO, and JPO patents (1976–2004)” en *Journal of Nanoparticle Research*. 2007, 9. Además es necesario apuntar que hay diferentes metodologías para contabilizar las patentes nanotecnológicas en este tipo de estudios. Las patentes que se cuentan son aquellas que resultan de una búsqueda automatizada en la base de datos de las oficinas de patentes en cada estudio. Las que aquí se presentan son las del resultado “título-resumen”, es decir que ya sea en el título o en el resumen de la patente aparecen referentes a la nanotecnología, lo cual reduce el número, por ejemplo, de una búsqueda “texto completo” o una “título-petición”, etc.

**Tabla 8.** Top 20 de propietarios de patentes según país en la USPTO (izquierda) y en la EPO (derecha). (búsqueda título-resumen 1976-2004)

Rank	Assignee country	Number of patents	Rank	Assignee country	Number of patents
1	United States	3,450	1	United States	925
2	Japan	517	2	Germany	343
3	Germany	204	3	Japan	323
4	France	156	4	France	201
5	Republic of Korea	131	5	Republic of Korea	98
6	Canada	104	6	Switzerland	77
7	China (Taiwan)	71	7	United Kingdom	72
8	United Kingdom	60	8	Netherlands	51
9	Netherlands	54	9	Belgium	42
10	Switzerland	41	10	Italy	34
11	Australia	34	11	Canada	26
12	Belgium	24	12	Ireland	26
13	Israel	21	13	Spain	22
14	Italy	20	14	Israel	20
15	Ireland	20	15	Sweden	18
16	Sweden	18	16	Australia	14
17	India	14	17	Austria	13
18	Spain	12	18	China	9
19	China	9	19	Finland	7
20	Singapore	8	20	India	7

Fuente: Li, Xin (2007). *op.cit.*, página 983

(en la Europe Patent Office, EPO) o en EUA (en la United States, Patent and Trademark Office), el país que tiene el mayor número de patentes es éste último, seguido por Japón, Alemania, Francia y la República de Corea.

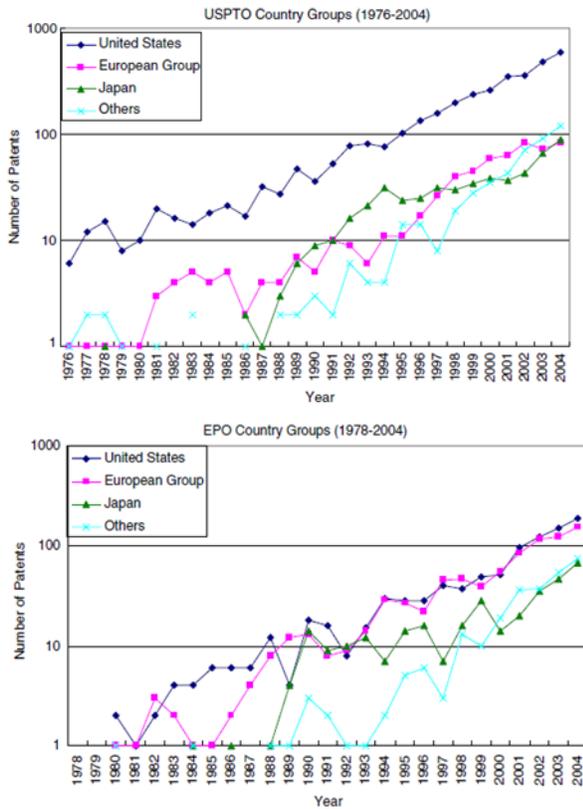
La Tabla 8 está hecha para el acumulado de 1976-2004, sin embargo, esta tendencia se mantuvo desde cada año y la brecha que se abre en este campo por lo menos hasta ahora ha permanecido constante como puede observarse en la Gráfica 13. Y es que con la participación, como antes se ha visto, de la mayor cantidad de empresas en el ramo, conjuntamente con el programa gubernamental más activo y más grande del mundo, aunado al contexto general de hegemonía estadounidense, es difícil imaginar que existan muchas alternativas para el resto de países que deseen entrar a la competencia, más que aceptar tales reglas del juego y tratar en lo posible de establecer hasta cierto punto programas que se aproximan al diseño de la NNI.

número de patentes en la Tabla 8 como un ejemplo de la *focalización de patentes*, entendiéndolo por esta simplemente un indicador de en qué lugares este aspecto del desarrollo nanotecnológico tiene mayor actividad.

Aquí se muestra cómo en lo que tiene que ver con la actividad de patentes, sea en Europa

**Gráfica 13.**

Número de patentes por año en la USPTO (arriba) y la EPO (abajo). 1976-2004.



Fuente: Li, Xin (2007). *op.cit.*, página 985

Este comportamiento en la generación de patentes visto desde su simple conteo está aparejada con la competencia general en nanotecnología que se muestra como una competencia inter-nacional, aunque en ella entren otros rubros como los referidos sobre el cruce entre *actividad nanotecnológica* y *fuerza de desarrollo tecnológico* en los análisis de Lux Research, de las cuales, el número de patentes en este campo es uno de los parámetros a evaluar. Mostramos entonces el aspecto del comparativo de cantidad de patentes como ejemplo de cómo en primera instancia, la actividad nanotecnológica se focaliza en algunos países. En este mismo sentido se pueden encontrar los mismos referentes a nivel detallado sólo en la USPTO.<sup>91</sup>

Pero si siguiéramos este procedimiento de presentar una competencia entre países por el hecho de que a ellos se atribuye el lugar de origen de las patentes, *podríamos en tal caso* aproximarnos de manera más precisa hasta llegar al nivel de regiones dentro de países.<sup>92</sup>

<sup>91</sup> Bajo una búsqueda “Título-petición” en la USPTO, en el acumulado 1976-2002, si se ordenan las patentes por el país del propietarios, tenemos que en los primeros lugares se encuentran Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia y Canadá: Huang, Zan, Chen, Hsinchun, Chen, Zhi-Kai y Roco, Mihail C. (2004). “International nanotechnology development in 2003: Country, institution, and technology field analysis based on USPTO patent database” en *Journal of Nanoparticle Research* número 6, 2004. páginas 331.

<sup>92</sup> Tal estudio se realiza en la subsección “Patenting across regions” del documento: OECD, Directorate for Science, Technology and Industry (DSTI), (2009). *Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics. STI working paper 2009/7*. Páginas 46 a la 51.

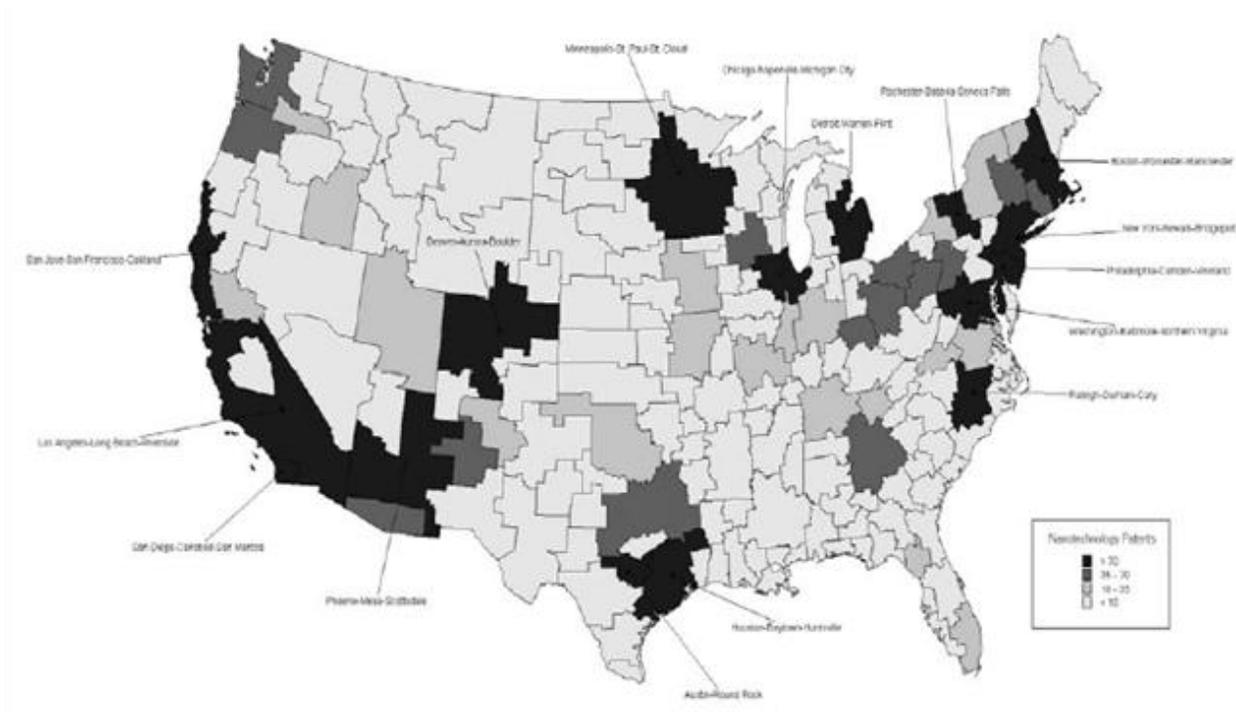
**Tabla 9.** Patentes nanotecnológicas por región. 2003-2005.  
Las 20 ciudades más activas.

Region	Country	No. of nanotech patents	% of nanotech patents
San Jose-San Francisco-Oakland	United States	285	6.8
Tokyo	Japan	226	5.4
Boston-Worcester-Manchester	United States	217	5.2
Kanagawa	Japan	114	2.7
New York-Newark-Bridgeport	United States	109	2.6
Los Angeles-Long Beach-Riverside	United States	109	2.6
Capital region	Korea	72	1.7
Noord-Brabant	Netherlands	72	1.7
Minneapolis-St. Paul-St. Cloud	United States	70	1.7
Austin-Round Rock	United States	67	1.6
Rhône-Alpes	France	61	1.5
Île de France	France	58	1.4
Ibaraki	Japan	57	1.4
Osaka	Japan	57	1.4
Philadelphia-Camden-Vineland	United States	56	1.3
Israel	Israel	55	1.3
Washington-Baltimore-Northern Virginia	United States	49	1.2
San Diego-Carlsbad-San Marcos	United States	44	1.1
Chicago-Naperville-Michigan City	United States	43	1.0
South East England	United Kingdom	42	1.0

Fuente: OCDE (2009). *op.cit.*, página 48

En esta forma también puede ser encontrada una *focalización regional* de las actividades de patente entendidas en el mismo sentido que la focalización por países (ver Tabla 9). Además de que pudiera pensarse que tal vez de ese modo, ciudades distintas a las de Estados Unidos aparecerían entre los primeros lugares, y de hecho es así. Acomodados de esta manera, los recuentos del número de patentes por región muestran entre los primeros lugares a ciudades como Tokio y Kanagawa de Japón. Sin embargo, 10 de las 20 ciudades más activas siguen siendo de Estados Unidos.

La misma OCDE realizó un mapeo de esta actividad y en Estados Unidos presenta una concentración de la forma en que se muestra en la Figura 9. Ordenados por intervalos de menos de 10 patentes para el color más claro y hasta más de 70 para el más oscuro, contando el número de patentes acumuladas hasta 2005, las actividades de número de patentes muestran una concentración en ciudades como San José, Boston y Nueva York (las mismas que aparecen en la Tabla 9).



**Figura 8.** Mapa de Estados Unidos de acuerdo al número de patentes por región. Fuente: OCDE (2009). *op. cit.*, página 49.

Sin embargo, dada la aproximación sugerida puede continuarse en sucesivos pasos con lo que se llegaría a resultados distintos.

### 2.3.4. La focalización espacial es focalización de capitales.

Cuando se analiza la misma tendencia de patentes pero de acuerdo a las *instituciones* propietarias de las mismas (ver Tabla 10), podemos darnos cuenta que no es una cuestión solamente del país de donde provengan las inversiones que comienzan a centralizarse sino también y sobre todo, de las empresas que participan. Por otro lado cabe la pregunta de en qué grado los esfuerzos de la NNI inciden en este proceso, ya que por ejemplo, en las instalaciones de investigación –si bien, como explicamos antes, en las iniciativas locales puede encontrarse un referente de mancuernas públicas y privadas para ponerlas en marcha– en ese mismo sentido se reconoce también que “La principal inversión industrial para infraestructura de investigación en nanotecnología está restringida a los principales

laboratorios de investigación corporativa como los de IBM, Motorola y General Electric".<sup>93</sup> En un recuento de las *instituciones* con mayor número de patentes en la USPTO son también estas empresas las que se sitúan entre los primeros lugares, empezando por IBM (ver Tabla 10).

**Tabla 10.** Top 20 del Número de patentes por institución 1976-2002 (izquierda) y 2003 (derecha)

Rank	Assignee Name	Number of Patents	Average Patent Age
1	International Business Machines Corporation	1302	6.74
2	Xerox Corporation	957	7.55
3	Minnesota Mining and Manufacturing Company	807	7.69
4	Eastman Kodak Company	708	10.38
5	Motorola, Inc.	508	7.16
6	The Regents of the University of California	491	4.13
7	NEC Corporation	483	4.42
8	Micron Technology, Inc.	457	2.53
9	Canon Kabushiki Kaisha	408	5.52
10	E. I. Du Pont de Nemours and Company	367	11.45
11	General Electric Company	367	11.54
12	Texas Instruments Incorporated	366	7.77
13	Hitachi, Ltd.	335	6.43
14	The United States of America as represented by the Secretary of the Navy	330	8.63
15	The Dow Chemical Company	327	11.04
16	Kabushiki Kaisha Toshiba	317	5.47
17	Abbott Laboratories	297	6.62
18	Advanced Micro Devices, Inc.	295	2.61
19	Massachusetts Institute of Technology	271	8.28
20	Merck & Co., Inc.	251	8.63
	Average	482.2	7.23

Rank	Assignee Name	Number of Patents
1	International Business Machines Corporation	198
2	Micron Technology, Inc.	129
3	Advanced Micro Devices, Inc.	128
4	Intel Corporation	90
5	The Regents of the University of California	89
6	Minnesota Mining and Manufacturing Company	79
7	Motorola, Inc.	72
8	Hitachi, Ltd.	68
8	Xerox Corporation	68
10	Canon Kabushiki Kaisha	64
10	Eastman Kodak Company	64
12	NEC Corporation	57
13	Corning Incorporated	50
14	Applied Materials, Inc.	47
15	Fuji Photo Film Co., Ltd.	42
16	Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.	41
17	Lucent Technologies Inc.	37
17	Texas Instruments Incorporated	37
19	Genentech, Inc.	36
19	Kabushiki Kaisha Toshiba	36
19	Massachusetts Institute of Technology	36

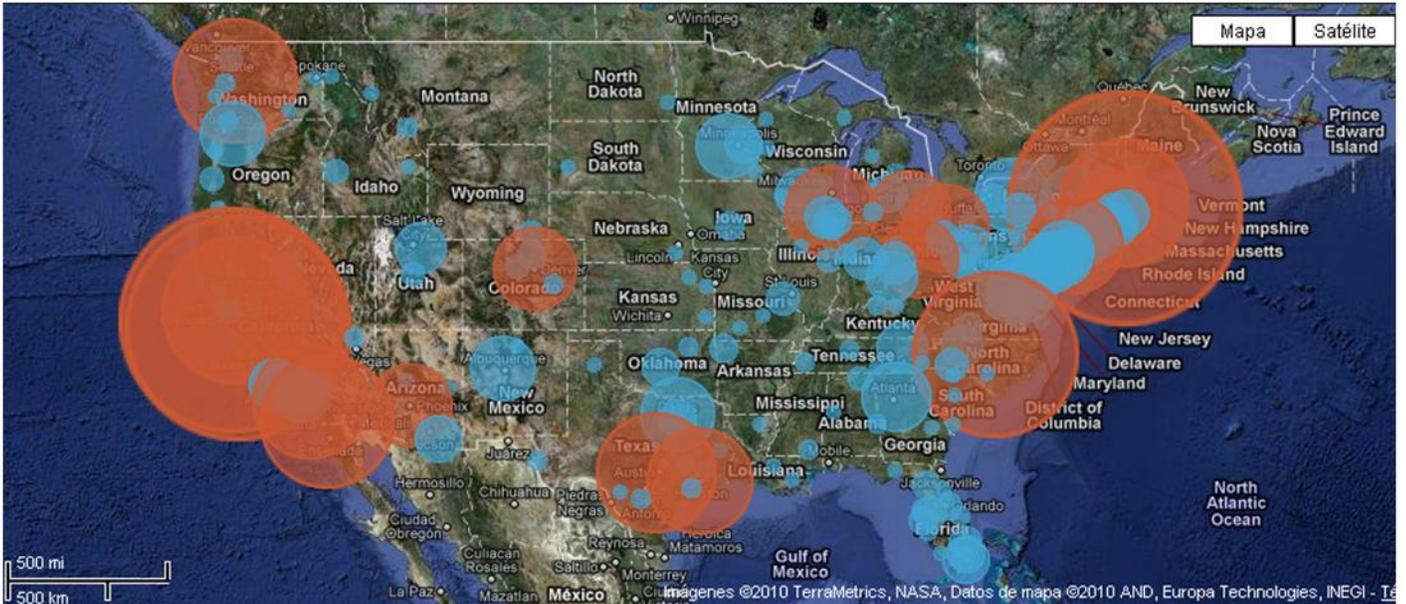
Fuente: página 336

Pero continuando con estas aproximaciones en donde puede encontrarse la focalización de actividades nanotecnológicas, que ahora se ha seguido a través de las patentes, podríamos continuar en el camino de ir haciendo un acercamiento como si fuese una lente que observara más a detalle las concentraciones geográficas de actividad para identificar realmente a sus actores. Un mapeo de la actividad nanotecnológica en los Estados Unidos, es llevado por un proyecto independiente del gobierno llamado Project of Emergent Nanotechnologies (PEN). Este proyecto se ha encargado desde mayo de 2006 del monitoreo de la actividad nanotecnológica en los Estados Unidos y principalmente la que llega hacia los consumidores. Particularmente, al mapeo de actores nanotecnológicos le llaman *US NanoMetro Map*,<sup>94</sup> que está puesto en forma dinámica para poder ser consultado en distintas escalas de visualización. El mapa general de Estados Unidos en este aspecto es el que mostramos a continuación en la Figura 9. Los círculos naranjas son los de mayor

<sup>93</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2003). Regional, state, and local initiatives in nanotechnology. Reporte del taller de la National Nanotechnology Initiative (NNI), Estados Unidos, septiembre-octubre de 2003. Página 15.

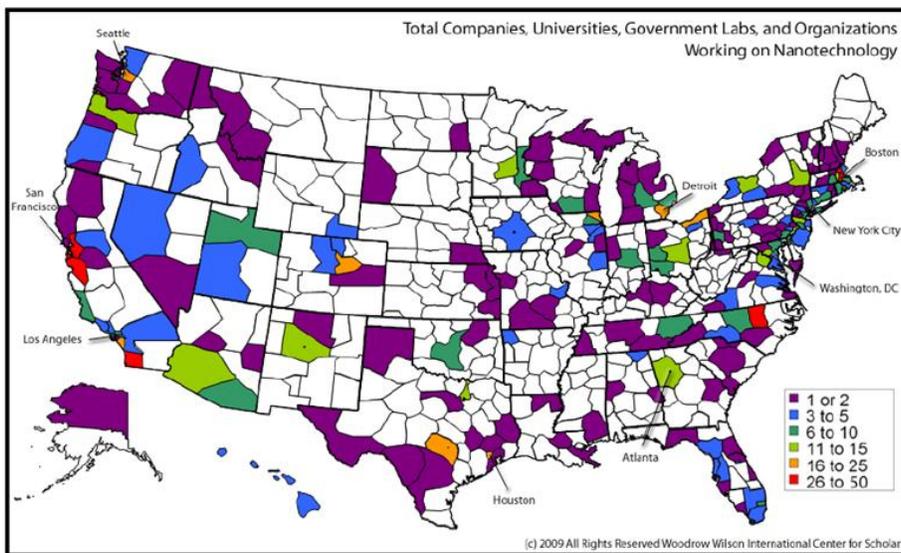
<sup>94</sup> El mapeo y sus actualizaciones puede seguirse a través de su sitio de internet: [www.nanotechproject.org/inventories/map/](http://www.nanotechproject.org/inventories/map/)

concentración de actores nanotecnológicos, los círculos azules, más pequeños, son los de localización de un número relativamente menor.



**Figura 10.** Mapa de actividad nanotecnológica en los Estados Unidos, 2009.

Fuente: PEN, [www.nanotechproject.org/inventories/map/](http://www.nanotechproject.org/inventories/map/)



**Figura 9.** Mapa de EUA de acuerdo al número de compañías, universidades, laboratorios de gobierno y/u organizaciones trabajando en nanotecnología localizadas por su código postal de 3 dígitos (1218 en total).

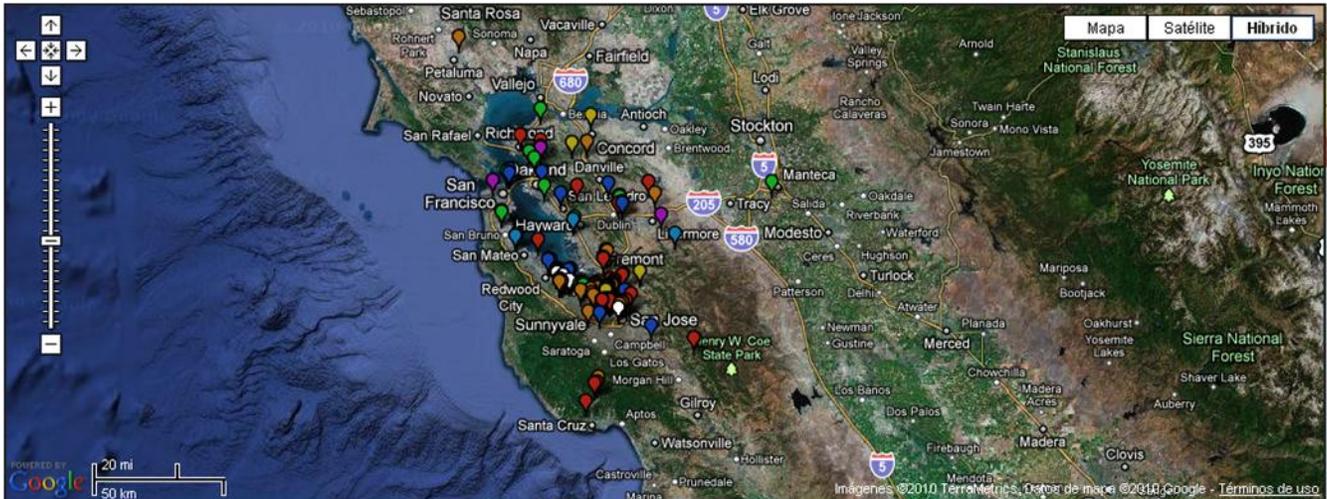
Fuente: PEN, *op. cit.*

La metodología para realizar este mapa<sup>95</sup> consiste en la localización, en base a su código postal de 3 dígitos, de los actores nanotecnológicos; universidades, compañías, laboratorios de gobierno, laboratorios privados, organizaciones civiles y otros que tengan trabajo relacionado a la

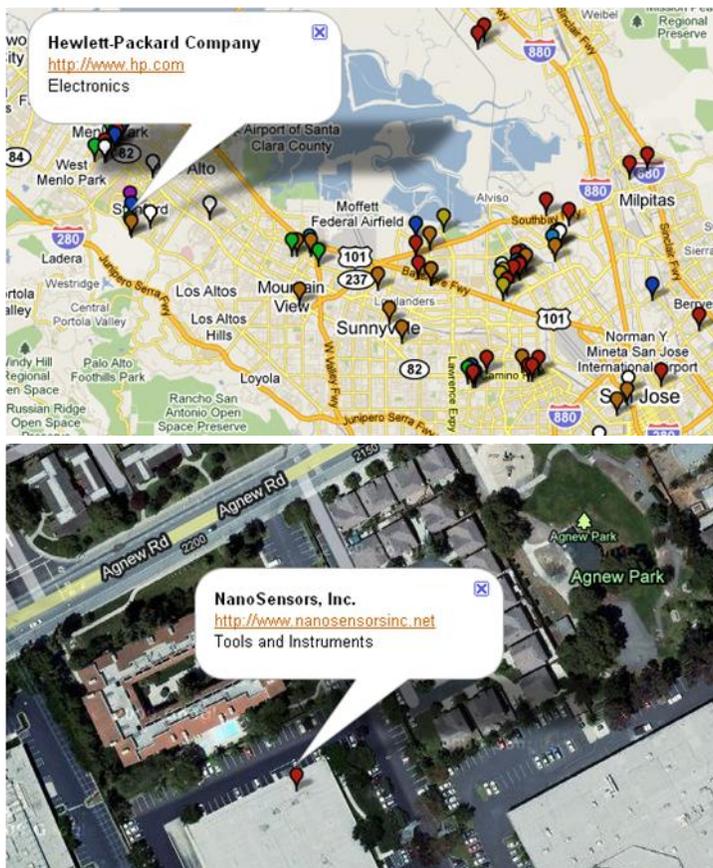
nanotecnología, para posteriormente situarlos en el mapa como se muestra en la Figura 11.

<sup>95</sup> Project of emerging technologies (PEN). (2009). “Putting Nanotechnology on the map (Updated June 2009)” disponible a través de: <http://www.nanotechproject.org/>

En base a una sencilla aproximación basada en un *zoom in*, soportada por el mapa dinámico podemos realizar entonces los pasos sucesivos en base al mapeo realizado por el PEN.



**Figura 12.** Mapa de los actores nanotecnológicos en las ciudades de San Francisco y Santa Clara del estado de California, EUA. Fuente: PEN, [www.nanotechproject.org/inventories/map/](http://www.nanotechproject.org/inventories/map/)



**Figura 11.** Localización mediante acercamiento de Nanosensors Inc y Hewlett-Packard Company en el mapeo de PEN.

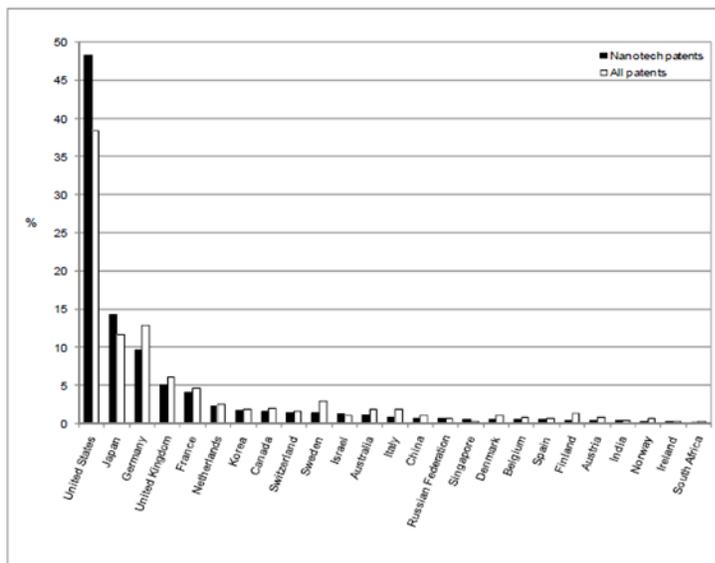
Arriba, en la Figura 12 tenemos la ilustración de la zona de California que contiene a las ciudades de San Francisco y Santa Clara, dos de las ciudades con mayor actividad nanotecnológica en EUA (ver también Tabla 9, referida a patentes). Pero continuando un acercamiento, comienzan aparecer con *nombre* aquellos actores del desarrollo nanotecnológico de los que tanto se menciona, pero *sin nombrarlos*. Como se puede mostrar en la Figura 13, PEN asigna un color para cada tipo de participante en la nanotecnología de acuerdo al campo en el que se

desenvuelve: **Electrónica** **Energía y aplicaciones al medioambiente** **Imagen y Microscopía** **Medicina y salud** **Materiales** **Instrumentos y herramientas** **Investigación académica y del gobierno** **Organizaciones**. Después procede a la localización de uno por uno. Por ejemplo, en la Figura 13 tenemos a Hewlett-Packard, su categoría y su página de internet, y si se continúa el acercamiento, puede llegarse hasta la localización precisa de cada uno como en el caso mostrado de NanoSensors Inc. PEN reporta que del total de 1218 actores localizados en su base de datos, apenas 182 son universidades y laboratorios del gobierno, del resto, la inmensa mayoría son empresas privadas. De este modo, como en otras aproximaciones hechas, si bien hay una participación también de dependencias públicas, los actores son en realidad empresas.

### 2.3.5. La vanguardia del desarrollo nanotecnológico estadounidense es vanguardia de sus capitales.

**Gráfica 14.**

Porcentaje de participación en las patentes nanotecnológicas y en las patentes en general por país hasta 2005.



Fuente: OCDE (2009). *op.cit.*, página 44

Finalmente y regresando al tema de patentes, tenemos en la gráfica 14, el comparativo de la participación de patentes nanotecnológicas y las patentes en general por país. Los 3 países que están a la cabeza son Estados Unidos, Japón y Alemania, tanto en el aspecto nano-tecnológico como en el general. En ambos claramente se puede apreciar que el papel de Estados Unidos es central. Esto debe tomarse sin embargo también como parámetros que indican otros

procesos.

Como se ha visto, las cifras aquí mostradas no son diferentes de las que se puedan

encontrar en sitios públicos. En esa forma no hay nada nuevo. Simplemente se han interpretado de una forma distinta.

Podemos decir para terminar este capítulo y en forma resumida que el liderazgo del desarrollo nanotecnológico, en tanto se desenvuelve en un escenario igualmente de hegemonía de EUA, es particularmente un desarrollo hegemónico en nanotecnología que también tiende a centralizarlo. Por otro lado la concentración espacial de los actores del juego futuro que en un principio señalan países y luego ciudades, apuntan a una dimensión diferente de la centralización, a que la competencia inter-*nacional*, es en realidad una competencia inter-*capitales*. A su vez, la participación del Estado en la promoción de dicho desarrollo como en la NNI, es a la luz de estos procesos, una nueva forma de intervenir con lo que se hace presente por un lado que las libres fuerzas del mercado no aplican en el desarrollo tecnológico de vanguardia, y por el otro que el Estado revela una vez más su carácter de clase, transfiriendo y encaminando una gran cantidad de esfuerzos sociales que culminan siendo absorbidas por el sector capitalista. Esta serie de elementos permite poner al desarrollo nanotecnológico de Estados Unidos en la misma senda que le da su carácter de desarrollo tecnológico capitalista y por tanto, cimiento material del desarrollo de fuerzas productivas apropiadas por el capital y que han constituido la base de las condiciones de la ley general de acumulación capitalista y la Ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia corroborables en procesos históricos a largo plazo no sólo en los Estados Unidos, sino en escala mundial en tanto el escenario actual es el de la globalización. Los resultados y consecuencias del desarrollo nanotecnológico son entonces indisociables de los resultados de las anteriores en tanto acumulación de capital.

La diferencia es, entonces, las repercusiones que tiene en el conjunto del *proceso de trabajo general*, el cual puede adquirir, si cumple con ciertas condiciones, una capacidad transformadora y extorsionante nunca antes vista en toda la historia humana. Y es justamente ese, el tema de nuestro próximo capítulo.

---

## Capítulo 3. Las Tecnologías Convergentes y el Proceso de Trabajo ¿Será la convergencia NBIC una nueva revolución tecnológica?

---

**“El cielo sobre el puerto tenía el color de un televisor, sintonizado en un canal muerto.”**  
*William Gibson. El Neuromante*

**“En su aspecto material, la historia de la civilización es la historia de la tecnología”**  
*Thomas Derry. Historia de la tecnología*

**“El trabajador ya no introduce el objeto natural modificado como eslabón intermedio, entre la cosa y sí mismo, sino que inserta el proceso natural, al que transforma en industrial, como medio entre sí mismo y la naturaleza inorgánica, a la que domina.”**  
*Karl Marx. Grundrisse*

Hemos ubicado en los capítulos anteriores nuestro estudio de las tecnologías convergentes en base a tres aspectos que deseamos resaltar; en el primero se presentaron sus antecedentes para exponer por qué la nanotecnología es necesariamente el punto en el que convergen desarrollos técnicos previos, la biotecnología, las tecnologías de la información y aquellos basados en las ciencias cognitivas, y no sólo aquellos relacionados con la ingeniería de materiales; en el segundo capítulo caracterizamos rasgos que permiten estudiar el desarrollo nanotecnológico como un caso particular del desarrollo tecnológico capitalista, para ello a su vez fue necesario mostrar un panorama de largo plazo en lo que respecta al papel del desarrollo tecnológico en el desarrollo económico capitalista; finalmente, en este tercer capítulo vamos a tomar en cuenta algunas características más del desarrollo nanotecnológico para estudiar la relación que guarda con el proceso de trabajo, entendiendo éste como la interacción principal del ser humano con la naturaleza<sup>1</sup>. Hemos

---

<sup>1</sup> Dicho de otra forma, podemos afirmar que mientras en el capítulo anterior se ha expresado nuestro análisis desde la tendencia general de producción de valor y valorización de capital, corresponde a este tercer capítulo analizarlo en el marco general de la producción de valores de uso, atendiendo a la contradicción principal entre valor de uso y valor.

agregado la pregunta de si *¿es la nanotecnología una nueva revolución tecnológica?* Con un doble propósito, por un lado contribuir al estudio del desarrollo tecnológico controvirtiendo las diferentes concepciones de lo que es una revolución tecnológica, industrial, etc.,<sup>2</sup> y por el otro mostrar un marco de análisis que le da a nuestra respuesta un carácter diferente en la medida en que lleva la discusión a *otro terreno de estudio*, aquel que como se argumentará, entiende la tecnología como el resultado y expresión del desarrollo de las fuerzas productivas y que tendrá que estudiarse por tanto en el contexto de la configuración histórica del proceso de trabajo.

En el sentido anterior, pondremos nuestra exposición en dos planos; uno es el panorama práctico, derivado de la actuación y comportamiento del desarrollo histórico de la nanotecnología como caso particular del desarrollo tecnológico capitalista, el desempeño que tiene ahora la gestión de los empresarios del ramo respecto a sus repercusiones en la salud y el medio ambiente; el otro plano es su panorama teórico, presentado hacia el final de este capítulo y que se aventura a proponer un marco referencial de las posibles repercusiones de la nanotecnología en tanto transformadora de la configuración del proceso de trabajo, es decir, la contribución en ese punto no consiste en la puntualización de una serie de repercusiones bien delimitadas, sino un contexto para estudiarlas, sean cuales sean las que vayan a ser. En general, no hay en este capítulo, ni en otros, datos que no puedan conseguirse de otras fuentes, lo que sí hay es interpretación distinta de los mismos.

Pero es en el plano práctico en donde abriremos aquí un gran paréntesis, ya que si

---

<sup>2</sup> No existe un consenso respecto al significado de dichos términos, es por eso necesario tomar en cuenta los diversos postulados de cada teoría para explicarlos. No entramos aquí en detalles sobre percepciones del sentido común que identifican una *revolución* en cada aparición de un nuevo campo científico o tecnológico, sino que enfocamos nuestra contribución al debate, sobre todo a aquellos análisis que han estudiado la estructura industrial a lo largo del siglo XX y cuya atención fundamental en ella permite un piso mínimo de debate aún sin compartir categorías y posiciones respecto al objeto de estudio, es decir, se puede mantener un diálogo teórico no por los postulados, principios e interpretaciones, sino por la delimitación misma del objeto. De este modo podremos encontrar referencias con las que sí se puede contrastar lo que expondremos y otras con las que no. Un ejemplo de aquellas con las que sí, pueden ser las siguientes: “Utilizamos el concepto de revolución ‘industrial’ en el sentido clásico de Marx, Mantoux o Landes, para diferenciarlo del más limitado de revolución tecnológica, referido específicamente el cambio tecnológico radical provocado por la irrupción de nuevas tecnologías. El concepto de revolución industrial (o productiva) apunta más bien a la transformación radical de la producción y la vida social resultante de la utilización generalizada de una constelación de innovaciones radicales que resultan el surgimiento de nuevas industrias en el sentido de paradigma tecnoeconómico de Freeman y Pérez. La noción de paradigma tecno económico desarrollada por Freeman y Pérez en diferentes trabajos es un concepto mucho más amplio que el de paradigma tecnológico de Dosi, en la medida en que apunta a los cambios en la economía y en el sistema socioinstitucional provocados por la difusión de las tecnologías revolucionarias” Dabat, Alejandro; Rivera Ríos, Miguel Ángel; Wilkie, James W. (coordinadores) (2004). *Globalización y cambio tecnológico*. Edición conjunta de la Universidad de Guadalajara, UNAM, UCLA, PROFMEX y Editorial Juan Pablos. México-Estados Unidos, 2004. Página 76

bien hemos puesto antes una contextualización histórica amplia del desarrollo *tecnológico* con el desarrollo *económico* para después mostrar que el desarrollo nanotecnológico actual se corresponde con sus características principales, toca ahora abordar un tema un tanto más delicado expositivamente ya que hay menos estudios al respecto, nos referimos al papel jugado por la *ciencia* en el modo de producción capitalista. Este tema es fuente de grandes controversias, principalmente porque, por un lado, producto de las grandes transformaciones materiales del *mundo moderno*, hay estudios que en dado caso pueden investigar y criticar las *formas tecnológicas*, pero sin embargo, dejan a las *formas científicas*, como elementos neutros desprovistos de todo contenido histórico, y por otro lado, porque en donde sí existe un estudio histórico de la ciencia, la teoría que la estudia en su identificación como actividad humana y sus relaciones con el resto de las mismas, no es en definitiva un punto de vista predominante, lo que provoca una gran extrañeza tanto en *científicos* como *historiadores*.

Sin embargo, el hecho de que en el desarrollo nanotecnológico actual, como se ha mostrado en capítulos anteriores, juegue un papel fundamental la comunidad científica, sea en universidades, sea en laboratorios privados, etc., no permite pasar por alto este tema. Por ello hacemos nuevamente un contexto de largo plazo, en el que abordaremos críticamente la historia de la ciencia moderna y su relación con el desarrollo del capitalismo. Damos por sentado aquí los antecedentes teóricos de la introducción y la discusión del capítulo anterior, principalmente en lo que respecta a subsunción formal y subsunción real del trabajo al capital, elementos que sirven como trasfondo a los argumentos que presentaremos en este capítulo. Mostraremos también aspectos sobre la continuidad y la ruptura<sup>3</sup> de la ciencia respecto a otras formas de conocimiento, que le dan un carácter de proceso histórico y que permite analizar su nacimiento y desarrollo como algo muy distinto a una visión acumulativa o sin conflictos.

---

<sup>3</sup> "Es claro que través de las distintas ciencias, y a lo largo del historia, la continuidad ha sido concebida como una propiedad de la materia, una propiedad del espacio, y como una característica del tiempo –de ahí también como una cualidad de los procesos evolutivos–. Si fuese ésta la única diferencia señalada, la naturaleza del dominio al que se caracteriza como 'continuo', habríamos de concluir con justicia que se trata en todos los casos del mismo problema: la descripción de una cualidad que se manifiesta en diversos ámbitos. En distintas disciplinas científicas la continuidad sería concebida de manera equivalente y la diferencia entre ellas provendría del terreno de estudio propio, analizado por cada una de éstas y en el cual esta propiedad se manifiesta. Pero es al momento de intentar caracterizar las propiedades que esta cualidad sugiere, cuando las diferencias en los modos de abordarla aparecen, ya que si bien la caracterización aristotélica le asocia dos condiciones intrínsecas –su vinculación con la contigüidad y con la divisibilidad ad infinitum–, no parecen ser éstas las condiciones reclamadas necesariamente al hablar de la continuidad en la historia o en los procesos de evolución." Álvarez, Carlos y Barahona, Ana (compiladores) (2002). La continuidad en las ciencias. Coeditado por la UNAM y el Fondo de Cultura Económica. México, 2002. Página 8.

Una vez hecho aquel gran paréntesis, pasaremos a una mirada de conjunto de las transformaciones tecnológicas y el proceso de trabajo, para después proponer, para el caso de las tecnologías convergentes, un marco de análisis sobre sus repercusiones futuras.

### 3.1. El desarrollo económico en relación a la idea de progreso técnico.

En su libro *el capitalismo histórico*, Immanuel Wallerstein, sentencia del siguiente modo el tema del que hemos de partir en este capítulo: “Si existe una idea que esté asociada con el mundo moderno, que sea de hecho su pieza central, es la de progreso.”<sup>4</sup>

Una de las formas en que se presenta discursivamente este progreso, es el progreso técnico, además de que la visión predominante (o una alienada) lo identifica en primera instancia con el desarrollo económico y en segundo lugar, identifica el desarrollo económico con un beneficio indiferenciado para las distintas clases sociales, con lo que se llega a la falsa conclusión de que el progreso técnico es, por tanto, en beneficio de la humanidad en su conjunto. Esta forma discursiva ocurre también en la nanotecnología. De esta forma, pueden encontrarse en los *análisis económicos* sobre ella, una oportunidad para retomar el curso del *desarrollo*, y más aún cuando existe un panorama de crisis en los negocios. Citamos como ejemplo de esta visión el siguiente fragmento: “Una gran parte de los economistas estarían de acuerdo en que la recesión económica actual pone de relieve la importancia de construir una nueva economía con capacidad renovada para la innovación. [...] La nanotecnología parece poseer todos los atributos para servir a esa nueva economía de la innovación y del conocimiento. Si partiéramos de la hipótesis de que todavía existe un largo recorrido hacia la nanotecnología avanzada, tendríamos que fomentar una política nanotecnológica en nuestros respectivos países que afrontara todas las vertientes del interés derivadas para su desarrollo. Empezando quizás por algo básico: fomentar el desarrollo de una *cultura científica, empresarial y, en general, social en torno a la nanotecnología*. [...] Una mayor *coordinación y fomento de redes institucionales entre las organizaciones implicadas o*

---

<sup>4</sup> Wallerstein, Immanuel (1983). *El capitalismo histórico*. Quinta edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2003. Página 87.

*afectadas por el desarrollo nanotecnológico.* La propia *National Nanotechnology Initiative* [NNI], creada en 2001 en los Estados Unidos puede ser un modelo para identificar ‘actores relevantes’ y fomentar la coordinación e implicación de los protagonistas”<sup>5</sup> Este punto de vista quizá contiene los elementos antes señalados, además de un señalamiento de aquellas salidas necesarias para que los *negocios retomen su curso*. Además se encuentra también la peculiaridad, por un lado de cómo las políticas que involucren a los “actores” –entendiendo por éstos sólo, a las empresas, el gobierno y una comunidad científica– puede acarrear grandes resultados, y por el otro la idea de que *seguir el ejemplo de los países desarrollados* constituye una buena estrategia para el desarrollo. Si bien no se trata aquí de refutar a un autor en particular, sí es menester encontrar cuál es el origen de estas formas discursivas, no por anteponer palabras contra palabras, sino porque esas ideas representan en realidad la concreción de un proceso de más largo plazo que ha logrado realizar una identificación muy profunda entre *tecnología y desarrollo*, y porque es precisamente en nuestros tiempos cuando el desarrollo tecnológico se vuelve una pieza clave tan evidente, que no puede omitirse el largo transcurso histórico que ha generado tal relación.

Nuevamente como ejemplo y en un sentido totalmente diferente, Carlota Pérez, reconoce en las estructuras tecnológicas un elemento en constante cambio, y reconoce también que los mismos no son ajenos a las dinámicas de desarrollo y subdesarrollo: “Los países en desarrollo persiguen, pues, un blanco móvil, que no sólo avanza constantemente, sino que también cambia de dirección aproximadamente cada medio siglo. Si se descarta la autarquía como opción, el desarrollo es cuestión de aprender a practicar este juego de desplazamiento y variación constantes, que es también un juego de poder. ¿Sería ésta otra versión de la teoría de la dependencia? Es indudable que implica una noción de complementariedad norte-sur y centro-periferia; al mismo tiempo, ofrece, sin embargo, la posibilidad de romper el círculo vicioso del subdesarrollo mediante la adopción de políticas apropiadas. Quienes entiendan el juego y lo jueguen bien podrían encontrar la forma de dar un salto adelante y alcanzar el desarrollo. Las verdaderas lecciones que enseñan los tigres asiáticos no radican en recetas repetibles sino en la comprensión de la dinámica específica que hizo posible el desarrollo, principalmente el hecho de que las condiciones más

---

<sup>5</sup> Pedreño Muñoz, Andrés (2009). Crisis económica, conocimiento y políticas para el desarrollo de la nanotecnología. En Revista Mundonano. Volumen 1, número 2. Editada por la UNAM. México, enero-junio de 2009. Páginas 85-86.

favorables para avanzar se dan durante los períodos de cambio del paradigma.”<sup>6</sup> Existe pues, en la cita anterior, la alusión clara a una relación entre *tecnología y desarrollo*, misma que puede ser encontrada desde diversos puntos de vista, que no necesariamente llegan a las mismas conclusiones. Es aquí importante en principio la identificación de esa relación como señalamiento constante, ya que es dicha relación la que pondremos hacia el final de este capítulo, bajo la óptica de la crítica de la economía plítica.

Siguiendo a la misma autora tenemos la delimitación de una categoría que vamos a poner en amplia discusión: “Cada revolución tecnológica es un conjunto de sistemas tecnológicos que gradualmente crean las condiciones necesarias para la aparición de nuevos sistemas, todos los cuales siguen principios similares y cuentan con los mismos factores externos”<sup>7</sup> Es necesario hacer dos aclaraciones; la primera es que en la autora, esta categoría se puede ejemplificar con *la revolución de la producción en serie*, que la caracteriza como una red creciente de sistemas tecnológicos desplegándose desde 1910 con el petróleo, su refinación y la petroquímica como unos de sus pilares, o con *la revolución informática*, misma que también la reconoce como una red creciente de sistemas tecnológicos desplegándose desde 1970;<sup>8</sup> la segunda aclaración consiste en que si bien esta forma de conceptualización de revolución tecnológica nos servirá de referente para la discusión, nuestro marco teórico es distinto a éste ya que utilizaremos las categorías de *Proceso de trabajo y de desarrollo de las fuerzas productivas*. Sin embargo nos será útil señalar que también podemos encontrar en Pérez, algunos conceptos que enriquecen el estudio de la relación *tecnología-desarrollo*, tales como paradigma tecnoeconómico y diferenciar a su vez éstos del concepto de revolución industrial.<sup>9</sup>

---

<sup>6</sup> Pérez, Carlota (2001) Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. En Revista de la CEPAL, Número 75, diciembre de 2001. Página 124-125. En la misma línea de cómo insertarse y aprovechar las oportunidades del desarrollo, afirma también que “Es irónico que las ventajas se desplacen a favor de los países con recursos financieros escasos precisamente cuando el proceso de producción se caracteriza por un uso más intensivo del capital” ya que en la madurez de un ciclo de producto tecnológico: “Al llegar a esa fase, las tareas se han hecho tan rutinarias [...] que los gerentes no necesitan gran conocimiento previo ni mucha experiencia, y los procesos pueden emplear mano de obra no calificada. Por otra parte, a medida que la tecnología y los mercados alcanzan la madurez, la ventaja determinante es el perfil de costos comparativos” *Íbidem*, página 118.

<sup>7</sup> *Íbidem*, página 121.

<sup>8</sup> *Íbidem*.

<sup>9</sup> “Las industrias maduras existentes ni se estancan ni cohabitan pasivamente con las nuevas industrias. Cada revolución tecnológica aporta tecnologías genéricas y ubicuas, así como nuevas prácticas de organización que dan lugar a un aumento significativo de la productividad potencial de la mayoría de las actividades existentes. Los principios en que se basa ese proceso modernizador se incorporan gradualmente a un modelo de práctica óptima que hemos denominado ‘estilo tecnológico’ o ‘paradigma tecnoeconómico’[...] “La expresión toma la noción de paradigma tecnológico propuesta por

Siguiendo esta relación, nos encontramos en la forma en que se sumerge también en el concepto de *desarrollo económico*, que como bien señala González Casanova “El concepto del desarrollo económico –en cualquiera de sus definiciones liberales y empiristas– está íntimamente vinculado a la idea de un movimiento que ‘va en una dirección deseada’, a la de un cambio continuado ‘hacia algo mejor’. Y esta es también la característica de un concepto más antiguo, el de Progreso [...] la idea de progreso del liberalismo se refiere por el contrario a una mejoría acumulativa, inevitable, que ‘sólo una catástrofe puede impedir’ (Condorcet); ‘que es un perpetuo ir más allá y que al mismo tiempo es una perpetua conservación’ –como dice Croce refiriéndose al romanticismo alemán–, y que corresponde a una etapa de la historia humana que se inicia con el nacimiento del mundo burgués y se dirige hacia una mayor riqueza y una mayor igualdad. La idea de Progreso en la Edad Moderna corresponde a la ‘línea ascendente del desarrollo científico y tecnológico’ (Mannheim), que se extrapola el resto de la sociedad y a los valores económicos, políticos y culturales.”<sup>10</sup>

¿Cómo se configuro de esta forma tal relación? Buena parte de la respuesta la encontramos en la manera en que se originaron los estados-nación al paralelo de la consolidación de la burguesía y las formas en que al afianzar su *hegemonía*, se legitima también como conductora del progreso social en general y tiende a identificar sus intereses con los intereses de sus clases subalternas e incluso aquellas a las que ha subordinado –que fue el argumento del segundo apartado del capítulo anterior– pero también se presenta en la manera en que la consolidación de la clase capitalista transformó paralelamente la concepción del mundo y del *cambio mismo*,<sup>11</sup> particularmente desde que el desarrollo científico comenzó a impulsar enormemente el desarrollo tecnológico a favor de la acumulación de capital. Esta punto lo vamos a tratar a detalle a partir del punto 3.3, pero

---

Dosí para describir las trayectorias de las distintas tecnologías, y la engloba en un concepto más amplio que define una trayectoria común ‘metaparadigma’”. La diferencia con “revolución industrial” se ha mencionado ya en la nota 2 de este capítulo en alusión a esta misma autora citada en otros trabajo. Íbidem, páginas 124-125

<sup>10</sup> González Casanova, Pablo (1969). Sociología de la explotación. Edición corregida por CLACSO. Argentina, 2006. Páginas 30-31

<sup>11</sup> “Los procesos que implicó la expansión de la economía-mundo capitalista –la pariferización de las estructuras económicas, la creación de estructuras estatales débiles que participaron en el sistema interestatal y estuvieron limitadas por él– llevaron consigo una serie de presiones al nivel cultural: proselitización cristiana, imposición de un lenguaje europeo, y se fusionen tecnologías y costumbres específicas, cambios en los códigos legales. Muchos de estos cambios fueron llevados a cabo manu militari. Otros fueron conseguidos mediante la persuasión de los ‘educadores’, cuya autoridad estaba respaldada en última instancia por la fuerza militar. Éste complejo de procesos, al que llamamos a veces ‘occidentalización’ o, aún más arrogantemente, ‘modernización’ fue legitimado por la deseabilidad de compartir tanto los frutos como la fe en la ideología del universalismo” Wallerstein, *op. cit.*, página 73.

antes es necesario seguir planteando el problema más a fondo, por un lado desde el punto de vista de la diferencia en que se presentan las repercusiones de la tecnología capitalista, y por el otro la del señalamiento de su base material.

### 3.1.1. Una misma tecnología, intereses diferenciados.

Desde mediados del siglo anterior la acumulación de diversas transformaciones tecnológicas imprimió en el *sentido común*, que cuando funciona *correctamente*, no es otra cosa que el sentido burgués legitimándose, la sensación de que cada vez más la humanidad tendía a un control mayor sobre los medios de producción en particular y sobre la naturaleza en general. Quizá una de las formas más inmediatas de encontrar tal sentido podemos observarlo a través de imágenes (ver Figura 1). En tanto los alcances de las computadoras



**Figura 1.** Usuario de computadora análoga en 1949 y bebé de 15 meses de edad frente a una PC en 2008. Fuente: Wikimedia Commons.

electrónicas fueron reduciendo su tamaño y costo y adaptándose a las necesidades de un mercado distinto al de las grandes compañías, encontramos ahí un buen ejemplo de cómo las tecnologías se han extendido entre los medios de vida cotidianos. Y esta extensión mueve

muchas veces a pensar, por ejemplo en el caso de las computadoras personales (PC's), que el hecho del *uso* implica *dominio*. Recordando aquella frase de Arthur C. Clarke de que *cualquier tecnología lo suficientemente avanzada es indistinguible de la magia*, Juan Carlos Alonso de Mena, argumenta la diferencia entre el *uso* y *dominio* del siguiente modo: “Sin una preparación adecuada, cuando la tecnología se extiende y sus nuevos desarrollos se incorporan cada vez más rápidamente a la práctica cotidiana, pronto se convierte en ‘suficientemente avanzada’ para una mayoría que la usa sin entenderla. Se dice que las nuevas generaciones se mueven como pez en el agua en este torrente tecnológico, pero en realidad lo que dominan es su carácter mágico. Unos ejemplos: con los conjuros apropiados, pueden hacerse presentes a distancia, compartir recuerdos e intercambiar mensajes. Siguiendo los rituales propiciatorios oportunos, cambiarán el formato de sus archivos de imagen y sonido y, si los dioses son propicios, podrán reproducirlos en diferentes

artefactos”<sup>12</sup> Y algunas consecuencias del desajuste entre el uso y la comprensión de las tecnologías son el timo y el robo, la creación de mercados esclavos con opciones de elección limitadas, las imposiciones de necesidades y ciclos de vida artificiales, etc.<sup>13</sup>

La tecnología capitalista se ha vuelto un inmenso aglomerado de *cajas negras*,<sup>14</sup> de aparatos que reciben un *input* (el cual es mucho mejor cuando hay que pagar por ellos) y del que se obtiene un *output*, y todo lo que ocurre dentro es un *mysterium*, como los oráculos de tiempos remotos. El secreto de su funcionamiento adquiere una forma tan enajenada, particularmente extraña no sólo para el usuario, sino para aquel que *observa* y trata de *inferir teoría* de los *no-observado*, de lo secreto, que incluso puede calificar el proceso como algo completamente “*inmaterial*”, sin *locus operandi*, y más aventurado aún, como algo en lo que no interviene el trabajo humano. Pero el *código fuente no brota por los aires*<sup>15</sup>, ni la fibra óptica nace por sí sola al centro de las redes multimodales o trasatlánticas, menos aún el silicio se extrae en forma de *microchip*.

Lo anterior es sin embargo por el lado del consumo, pero ¿y qué hay de la producción? No sólo las cajas negras para el usuario, sino aún más, que hay en *la otra caja negra*, en aquella que ocurre cuando a cambio de algún monto de dinero se obtiene de un aparador un producto de *alta tecnología*. Aquí entra en juego el fetichismo mercantil, puesto al día y potenciado. Porque en las mercancías no vemos cómo se produjeron ni vemos tampoco a los productores. De este modo, las cajas negras no sólo constituyen un misterio en cuanto a su funcionamiento, sino también en cuanto a su fabricación. Además, la disgregación de los procesos productivos característicos de la globalización ha desplazado aquellas partes del proceso intensivas en fuerza de trabajo a aquellos lugares en donde el trabajo es más barato. Para los capitalistas, es una simple cuestión de costos.

---

<sup>12</sup> Juan Carlos Alonso de Mena (2007). El mundo mágico de la tecnología. Disponible en línea a través de la dirección: <http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2007/06/14/163572.php> consultado el 15 de mayo de 2010.

<sup>13</sup> *Íbidem*.

<sup>14</sup> Esta metáfora de las *cajas negras* no tiene un origen preciso hasta donde pudimos investigar, al parecer es una parte del argot hacker derivado de la contraposición a las *blue box*, con que en los setentas se ingresaban tonos de marcar en la red telefónica de AT&T para tener acceso ilimitado.

<sup>15</sup> El código fuente es el conjunto de instrucciones de un programa, éstas pueden estar escritas, por ejemplo, en simples líneas de texto. Usando la analogía de Richard Stallman, el código fuente es como las recetas de cocina, y el programador el cocinero. Todo el *software* tiene código fuente, siguiendo la analogía, en él están escritos los ingredientes que debe llevar, las cantidades de los mismos y también la forma en que un platillo debe cocinarse. Sin embargo en la mayor parte del *software*, no se le proporciona al usuario el código fuente, es como entregar sólo el platillo, pero nunca saber *qué es* lo que se está comiendo.

Esto tiene al menos dos repercusiones inmediatas para nuestro análisis. La primera parte de que es una cuestión irrelevante si la *contabilidad nacional* esté o no adecuada para poder medir adecuadamente estos procesos. Es un error afirmar que debido que las *cuentas nacionales* engrosan la porción relativa de *servicios* (categoría por lo demás carente de definición precisa), la industria deje de tener un papel primordial, y que además, un PIB de mayor proporción en servicios constituye una economía desarrollada. Esto ocurre tanto en los países que son potencias económicas como en los subdesarrollados. En los primeros porque la relocalización de los procesos productivos puede desplazarlos hacia otras geografías, y sin embargo concentra en sus países de origen las actividades referentes a la gestión. En el caso de los países subdesarrollados, entra en juego a su vez dos procesos; uno es que las proporciones de sobrepoblación relativa y sus formas de subsistencia, como el comercio no estructurado, los trabajos temporales, etc, son en su gran mayoría contabilizados como *servicios*, y el otro es que la deslocalización se hace presente bajo la forma de subcontratación.<sup>16</sup>

La segunda repercusión es precisamente que aún cuando las mercancías pueden ser de alta tecnología, no existe alguna de ellas que pueda llegar a ser producida o vendida sin la intervención del trabajo humano, y en aquellos lugares a donde se relocaliza la producción, las condiciones de la fuerza de trabajo, independientemente de otras circunstancias, sigue siendo trabajo asalariado, y por tanto explotado. Pero la competencia por la recepción de los nuevos procesos productivos funciona también bajo una lógica sencilla, reducir costos al precio que sea, por ejemplo, pagar la fuerza de trabajo por debajo de su valor, abatiendo derechos laborales, prestaciones y otros tantos elementos del salario social, como estrategia contrarrestante a la caída de la tasa de ganancia: “Para restablecer la tasa media de ganancia, disminuyendo los costos de producción, los capitalistas han recurrido a la deslocalización de capital. Esto sucede cuando una empresa o capital fragmenta su proceso productivo y lo relocalizan en algún otro espacio (sea región o país), donde los costos de

---

<sup>16</sup> “Tal vez el aspecto más reconocido de las relaciones laborales que definen a la industria maquiladora electrónica es la utilización del outsourcing, la subcontratación: el trabajador firma contrato con una empresa de colocación que administra su relación laboral en su entidad. Sin embargo, el trabajo se desarrolla en la planta de la empresa maquiladora, la cual, a su vez, es contratada por las grandes marcas internacionales para que se encargue de la producción de un componente específico. En la existencia misma de la empresa maquiladora, en tanto una parte ínfima de la cadena productiva regada por el planeta, se opera la deslocalización del capital. La agencia de colocación no hace más que llevarla hasta sus últimas consecuencias.” Maldonado Francisco (2010). Guadalajara: La explotación en la maquila electrónica. En Revista Rebeldía. Año 8, número 70. México, 2010. página 50. Disponible en: <http://revistarebeldia.org>

producción y sobre todo los de la fuerza de trabajo son más bajos. El origen de los capitales deslocalizados es mayoritariamente de países ricos o desarrollados, donde la mano de obra es más cara colocándolos en países pobres o subdesarrollados como México, China o la India donde los mercados de la fuerza de trabajo están más desregularizados, los salarios son más bajos o no existen leyes que los protejan; donde pueden evadir costos medioambientales y el pago de impuestos gracias a gobiernos evidentemente sometidos. La característica es que las empresas matrices, como se señaló arriba, sigue manteniendo la dirección y la apropiación de la ganancia mediante las máscaras de la subcontratación. Esto ha permitido que, independientemente del país de origen, los capitalistas decidan ubicarse en lugares donde resulte más rentable.”<sup>17</sup>

Es fundamental poner atención aquí al proceso que se describe, ya que la forma de extracción de plusvalía es una sola, al igual que los capitalistas no distinguen entre plusvalor y ganancia, tampoco distinguen si los métodos de extracción de la misma están acordes con la plusvalía absoluta o relativa. Como bien señala Marx en la sección quinta de *El Capital*, en donde afirma que todo plusvalor absoluto es relativo y viceversa, “si tenemos en cuenta el movimiento del plusvalor, esa apariencia de identidad [entre plusvalor absoluto y relativo] se desvanece”.<sup>18</sup> Pero no sólo, porque en aquel apartado Marx menciona toma en consideración el supuesto de que el salario no descienda por debajo del valor de la fuerza de trabajo, es decir el de subsistencia, en la globalización estos tres elementos dejan de hallarse por separado; la extracción de plusvalía absoluta por medio de la extensión de las jornadas y tiempos no remunerados, el incremento de la productividad a partir tanto de la intensificación del trabajo, como del incremento en la productividad a partir de métodos inspirados en el *just in time*, y el pago de la fuerza de trabajo por debajo de su valor, los tres actuando

---

<sup>17</sup> Aguirre, Beatriz; Bravo, Sara; Ramírez, Alejandra (2010). Las Máscaras que esconden la explotación: la tercerización y la subcontratación. En Revista Rebeldía. Año 8, número 69. México, 2010. páginas 21-22. Disponible en: <http://revistarebeldia.org>

<sup>18</sup> “Desde cierto punto de vista, la diferencia entre el plusvalor absoluto y el relativo parece ser enteramente ilusoria. El plusvalor relativo es absoluto, pues trae aparejada una prolongación absoluta de la jornada laboral, por encima del tiempo de trabajo necesario para la existencia del obrero mismo. El plusvalor absoluto es relativo, pues condiciona un desarrollo de la productividad laboral que permite confinar el tiempo de trabajo necesario a una parte de la jornada laboral. Pero si tenemos en cuenta el movimiento del plusvalor, esa apariencia de identidad se desvanece. Dados la fuerza productiva del trabajo y su grado normal de intensidad, sólo es posible aumentar la tasa del plusvalor por medio de la prolongación absoluta de la jornada laboral; por otra parte, dados los límites de la jornada laboral, sólo es posible aumentar la tasa del plusvalor por medio del cambio relativo de las magnitudes de sus componentes, el trabajo necesario y el plustrabajo, lo que a su vez, si el salario no ha de descender por debajo del valor de la fuerza de trabajo, presupone un cambio en la productividad o intensidad del trabajo.” Marx, Karl (1867). *El Capital*. Crítica de la Economía Política. Traducción de Pedro Scaron. Vigésimo séptima edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2007. Tomo I, páginas 619-620.

simultáneamente.

Contrasta entonces el hecho de que las tecnologías se apliquen, sí efectivamente para el desarrollo económico, pero que al llevar el apellido capitalista, no tiene por qué responder a los mismos intereses para empresas, que para trabajadores o trabajadoras. El elemento *caja negra tecnológica* constituye una versión fetichista del siglo XXI, misma que ha derivado en proclamar el *fin del trabajo*<sup>19</sup> o postulados como los de la *nueva economía*. Importa aquí sobre todo las repercusiones que tiene la tecnología capitalista sobre la fuerza de trabajo, el cómo bajo el velo de todo este proceso se pasa, a veces sin que siquiera sea perceptible, la identificación de intereses contrarios, los del capital y el trabajo.

Encontramos así una reformulación del concepto de desarrollo económico con una visión de clase, en la que efectivamente el desarrollo tecnológico tiene un alcance mundial, pero no por ello indiferenciado geográficamente, o más aún, indiferenciado de acuerdo a intereses de clase. En las transformaciones tecnológicas no sólo está en juego la productividad, la competitividad, etc., también es el elemento material con el que opera la dinámica de destrucción/despoblamiento, reconstrucción/reordenamiento del capitalismo actual: "En la búsqueda de la estructura que le dé cobertura a las modificaciones que requiere el modo de producción capitalista, los de arriba destruyen las reglas, instituciones y garantías que el capital se vio obligado a conceder inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial: el reconocimiento, al menos *de facto*, del poder sindical en y fuera de la empresa; una relativa redistribución de los frutos del crecimiento; la seguridad social; el control de los movimientos de capital; el papel decisivo del Estado en la regulación de la economía. En cambio, para hacer funcionar el modelo flexible de producción, los países se han apresurado a adoptar modelos económicos neoliberales, funcionales a la economía de mercado. Con esa lógica aparecen las reformas estructurales ("que el país necesita", nos dicen reiteradamente los de arriba): apertura comercial; privatización de empresas públicas; reformas fiscales, laborales y al sistema de pensiones; retiro de subsidios a la población y

---

<sup>19</sup> En su libro *El fin del trabajo*, Rifkin proclama, como en su momento lo hizo con *El siglo de la biotecnología*, las interpretaciones más características del anecdotario del sentido común burgués aplicado a la tecnología. Quizá no tengamos aquí más argumentación al respecto porque no consideramos este referente bibliográfico como un análisis ni de la tecnología, ni de la ciencia, sino como sólo una aparición ideológica que bajo el criterio de las *cajas negras tecnológicas* que hemos expuesto, se le puede colocar, aunque muy vergonzantemente, al lado de *algunas* obras de ciencia ficción, aunque con un estilo más monótono y aburrido. Aunque con esto esperamos que no se interprete que ponemos en baja estima el concepto tan respetado que tenemos de la literatura de ciencia ficción.

creciente disminución del gasto social. Se desvanecen las bases que se sentaron para la "conciliación" de clases, también los derechos adquiridos por la clase trabajadora: a la estabilidad en el empleo, a una jornada laboral máxima, a recibir un salario igual por un trabajo igual, a participar en el reparto de utilidades, a ser protegido contra los accidentes de trabajo, a organizarse con los demás trabajadores, a ser protegido por la seguridad social."<sup>20</sup>

Desde este panorama, la relación existente entre fuerzas productivas y relaciones sociales de producción parece ya bastante clara. Y es además una relación que no opera solamente en los países subdesarrollados, sino también una diferenciación de intereses de clase que se plasman en el desarrollo tecnológico, aún *en* aquellos países a los que *trae tantos beneficios*. Sólo como ejemplo, baste mencionar que el modelo de producción flexible surgido en Japón, fue implantado a costa de la represión de uno de los movimientos obreros más radicales y de cuya memoria parece extenderse sólo un vacío. La combatividad de los sindicatos obreros japoneses de la posguerra yace ante la sombra de su espectacular y burguesamente inspiradora contraparte: el modelo Toyota.<sup>21</sup>

Por otro lado, no cabe duda que, aún por si esto fuese poco, el mismo transcurso del concepto de *desarrollo económico*, en su visión predominante, atiende sólo a la valorización del capital y descuida por completo los valores de uso y su fuente misma, la naturaleza. Con lo que además es necesario tener presente cómo aún con las contradicciones dadas aparentemente sólo en el terreno económico, político o social, también están aquellas entre la producción capitalista y la extorsión ambiental.<sup>22</sup> Aunque este será un tema que

---

<sup>20</sup> Aguirre, Beatriz; Bravo, Sara; Ramírez, Alejandra (2010). La aceleración de la pesadilla en el trabajo: toyotismo o modelo flexible de producción. En Revista Rebeldía. Año 8, número 71. México, 2010. páginas 49. Disponible en: <http://revistarebeldia.org>

<sup>21</sup> "Terminada la Segunda Guerra Mundial, ocupado Japón por las fuerzas estadounidenses, se desarrolló un movimiento obrero fuertemente sindicalizado y politizado que llegó a la confrontación con el poder político. La lucha de clases de la inmediata posguerra fue una pesadilla para la burguesía nipona. El crecimiento más rápido fue el de la confederación de sindicatos de industria (Sambetsú), dirigida por comunistas que, para finales de 1946, conformaron una organización de un millón 600 mil obreros. Una característica de esta irrupción obrera de posguerra fue el control obrero sobre la producción, con la creación espontánea de Comités de Taller. Estos comités se unieron a nivel regional y finalmente a nivel nacional para formar la Sambetsú. En esas empresas los trabajadores tomaron el poder y ellos mismos volvieron a poner la producción en marcha, poniendo a los directivos bajo su control. Donde no habían tomado las fábricas en sus manos, los trabajadores crearon situaciones tales dentro de las empresas que podrían llevarlos fácilmente al control de la producción. Fuera de las fábricas, el control popular sobre la alimentación y sobre sistemas de racionamiento se extendió rápidamente." *Ibidem*, página 50.

<sup>22</sup> "La diferencia entre 'economía' y 'crematística' fue explicada por Aristóteles en su libro Política. La primera es el estudio del abastecimiento material del *oikos* o de la *polis*, es decir de la casa familiar o de la ciudad; la segunda, el estudio de la formación de los precios en los mercados, por ejemplo el estudio del aumento de precios, si existe un monopolio. [...] Según el filósofo, el abastecimiento de *oikos* o de la *polis* no tenía que ser regulado por los precios. Aristóteles no empleó la

igualmente dejamos planteado aquí y del que nos ocuparemos en el punto 3.4 de este capítulo.

Ahora bien, con lo anterior hemos puesto en antecedente varios de los marcos necesarios a estudiar lo referente al desarrollo económico y cómo, mediando el desarrollo tecnológico, se relaciona con la transformación humana de la producción. Partimos de la nanotecnología por ser el caso que nos atiende en este trabajo, pero igualmente podríamos partir de otras tantas tecnologías avanzadas y llegaríamos quizá al mismo marco general, ya que cada una de las tecnologías en la medida en que se mantiene en el plano de la industria, se configura y actúa en base a las reglas de ésta. Es por esta razón, que pasamos a continuación a un breve planteamiento del desarrollo de la gran industria desde un fragmento de los Grundrisse.

### **3.1.2. El desarrollo de la gran industria como materialización humana.**

Lo hasta aquí descrito respecto al desarrollo económico y la idea de progreso técnico, es también una tendencia de largo, que guarda estrecha relación con la potencialidad de valorización convirtiéndose en acción, y por tanto desarrollando la contradicción entre producción de valor y a la vez la reducción del tiempo de trabajo efectivo para la producción de valores de uso desde el punto de vista de cada uno de los mismos.

Marx trata este tema en los Grundrisse, de donde vamos a comentar algunas citas: “En la medida, sin embargo, en que la gran industria se desarrolla, la creación de la riqueza efectiva se vuelve menos dependiente del tiempo de trabajo y del cuanto de trabajo empleados, que del poder de los agentes puestos en movimiento durante el tiempo de trabajo, poder que a su vez –su powerful effectiveness– no guarda relación alguna con el tiempo de trabajo inmediato que cuesta su producción sino que depende más bien del estado general de la ciencia y del progreso de la tecnología, o de la aplicación de esta ciencia a la

---

palabra 'ecología', cuya raíz es la misma que la de economía y que fue introducida en el siglo XIX, pero la diferencia entre economía y crematística es exactamente la que trazamos ahora entre ecología humana y economía; entre el estudio del uso de energía y materiales en ecosistemas donde viven hombres y mujeres, y el estudio de las transacciones en el mercado. El sentido que Aristóteles quería preservar para la palabra economía –frente a la expansión del comercio y el cambio en las relaciones sociales que éste implicaba– es precisamente el significado que ahora tiene el término 'ecología humana'." Martínez Alier, Joan (1991). La economía y la ecología. Fondo de Cultura Económica. México, 1991. Páginas 11.

producción. (El desarrollo de esta ciencia, esencialmente de la ciencia natural y con ella de todas las demás, está a su vez en relación con el desarrollo de la producción material.)”<sup>23</sup>

Aquí es donde Marx comienza a señalar el elemento del papel no sólo de la tecnología en tanto configuración material, sino la estrecha relación que guarda además con la ciencia. Esta relación tiende igualmente a incorporar un conocimiento sobre el entorno y los procesos naturales que han transformarse en industriales y que formarán parte entonces como una mediación productiva adicional: “En esta transformación lo que aparece como el pilar fundamental de la producción y de la riqueza no es ni el trabajo inmediato ejecutado por el hombre, ni el tiempo que éste trabaja, sino la apropiación de su propia fuerza productiva general, su comprensión de la naturaleza y su dominio de la misma gracias a su existencia como cuerpo social; en una palabra, el desarrollo del individuo social. *El robo de tiempo de trabajo ajeno, sobre el cual se funda la riqueza actual*, aparece como una base miserable comparado con este fundamento, recién desarrollado, creado por la gran industria misma.”<sup>24</sup>

La apropiación del trabajo ajeno bajo la forma de plusvalor, en su movimiento real, no sólo cae bajo las consideraciones señaladas en páginas anteriores, sino que en tanto proceso de reproducción y acumulación, tiene una capacidad, por un lado de incorporar los conocimientos del obrero en turno, pero también de apropiarse de aquellos que pueden haber sido generados durante generaciones, la ciencia incluida. Y es su capacidad respecto a la comprensión de los procesos naturales, y particularmente su aplicación para la transformación de los mismos en proceso industriales, lo que le permite desempeñar un papel primordial, integrándose como elemento en la mediación entre la aplicación de trabajo y la producción de valores de uso.

Mencionamos ya en la introducción que el proceso de trabajo es el elemento fundamental del metabolismo humano, en el que confronta sus capacidades, en tanto capacidades también naturales, con su naturaleza externa, pero que es precisamente ese proceso, el de trabajo, el que va transformándose a través de la historia y que es precisamente la pregunta de qué producen las sociedades y cómo lo producen, lo que arroja luz sobre sus características propias en tiempo, modo y lugar. En la configuración capitalista

---

<sup>23</sup> Marx, Karl (1858). Elementos fundamentales para la Crítica de la economía política (Grundrisse) 1857-1859. Novena edición en español. Traducción de Pedro Scaron. Editorial Siglo XXI. México, 1982. Página 227-228.

<sup>24</sup> *Ibidem*, página 228.

del proceso de trabajo, hay por tanto, no sólo una configuración específica de esa interacción, también relación general del ser humano con la naturaleza junto a una concepción de la misma.

Por otra parte, en tal configuración, la interacción metabólica ser humano – naturaleza, produce también un conjunto de mediaciones, tanto materiales como de otro tipo, pero son las primeras las que debido a su evidente carácter de mediación imprimen en la superestructura una marca indeleble. Y a su vez, dado que en un mismo proceso laboral, el producto del trabajo le parece como algo ajeno a su productor directo, más aún cuando el producto lleva consigo la interacción del conocimiento social e intergeneracional, pero que a pesar de todo, sigue siendo trabajo humano, y una extensión material de los medios que ante pone entre el objeto de trabajo y él obrero colectivo: “El capital mismo es la contradicción en proceso [por el hecho de] que tiende a reducir a un mínimo el tiempo de trabajo, mientras que por otra parte pone al tiempo de trabajo como única medida y fuente de la riqueza. [...] Por un lado despierta a la vida todos los poderes de la ciencia y la naturaleza, así como de la cooperación e intercambio sociales, para hacer que la creación de riqueza sea (relativamente) independiente del tiempo de trabajo empleado en ella. Por el otro lado se propone medir con el tiempo de trabajo esas gigantescas fuerzas sociales creadas de esta suerte y reducirlas a los límites requeridos para que el valor ya creado se conserve como valor. Las fuerzas productivas y las relaciones sociales –unas y otras aspectos diversos del desarrollo del individuo social-- se le aparecen al capital únicamente como medios, y no son para él más que medios para producir fundándose en su mezquina base. [...] La naturaleza no construye máquinas, ni locomotoras, ferrocarriles, electric telegraphs, self-acting mules, etc. Son éstos, productos de la industria humana; material natural, transformado en órganos de la voluntad humana sobre la naturaleza o de su actuación en la naturaleza. Son *órganos del cerebro humano creados por la mano humana; fuerza objetivada del conocimiento.*”<sup>25</sup>

Como necesidad histórica del capital, es pues necesaria esta relación entre ciencia y tecnología y en tanto el mismo conduce y gestiona la producción con el propósito primordial de valorización de capital, le es indiferente la extorsión misma del generador de los valores de uso o la fuente de los mismos.

---

<sup>25</sup> Marx, Karl (1858). Elementos fundamentales para la Crítica de la economía política (Grundrisse) 1857-1859. Novena edición en español. Traducción de Pedro Scaron. Editorial Siglo XXI. México, 1982. Página 229-230.

### 3.2. El negocio nanotecnológico, la salud y el medio ambiente

Vamos a regresar al caso de la nanotecnología desde esta óptica, la infravaloración hacia el resto de los elementos del proceso de trabajo, primeramente citando algunas de las consecuencias documentadas de los productos nanotecnológicos.

Apenas una semana después de darse a conocer estudios que indicaban las consecuencias graves del efecto de productos nanotecnológicos en el caso de obreras de Hong Kong, Silvia Ribeiro daba a conocer la nota del siguiente modo: “Siete trabajadoras chinas enfermaron gravemente luego de haber trabajado algunos meses en una fábrica de pinturas que usaba nanopartículas. Sufrieron daños severos y permanentes en los pulmones, erupciones en rostro y brazos. Dos de ellas murieron y las demás no mejoran después de varios años. El caso fue revelado en un artículo publicado en 20 de agosto 2009 en el *European Respiratory Journal*, escrito por investigadores chinos liderados por Yuguo Song, del Departamento de Enfermedades Laborales y Toxicología Clínica del Hospital Chaoyang de Beijing. [...] Según el artículo, las jóvenes habían trabajado entre cinco y trece meses rociando paneles de poliestireno con pintura, aspirando vapores y humo que contenían nanopartículas. Al caer enfermas, los médicos encontraron exceso de fluidos en pulmones y corazón, que deterioraron sus funciones respiratorias y cardiacas. Los análisis mostraron la presencia de nanopartículas de 30 nanómetros de diámetro en los pulmones y fluidos, como las contenidas en la pintura que usaban.”<sup>26</sup>

Hemos señalado antes (en el capítulo primero) las proporciones de magnitudes que encontramos en la escala nanométrica, es suficiente decir aquí que los materiales nanoestructurados fabricados a granel, no pueden ser tratados como simple polvo. Una estructura de 30 nanómetros es tal que puede atravesar la membrana celular sin que siquiera el sistema inmunológico pueda dar respuesta<sup>27</sup>. Las empresas dedicadas a estos proceso

---

<sup>26</sup> Ribeiro, Silvia (2009). Nota "De riesgo a realidad: muertes por nanotecnología". En Periódico La Jornada, 29 de agosto de 2009.

<sup>27</sup> “La industria de nanotecnología propaga sus supuestos ‘enormes beneficios’ (al menos para ellas sí los tienen) y ninguno de sus riesgos. Tal como la industria nuclear –también en el negocio de manipular átomos– decía que era “natural”

industriales nanotecnológicos, sin embargo, se han concentrado en otras dificultades a la producción e inversión en nanotecnología (gráficas 11 y 12 del capítulo 2). El problema respecto a los problemas que puede generar no estriba entonces respecto a una posición frente a la *tecnología*, sino en una posición respecto a *cómo* las empresas utilizan la misma. A lo cual hay que agregar que dichos riesgos no tienen alguna supervisión independiente a las empresas ni algún otro tipo de regulación por ningún lado (en el mundo).

En esta dirección, una de las consecuencias respecto al largo tiempo que los empresarios tienen que esperar para poder sacar un producto al mercado (cuyo recorte es, por cierto, uno de los propósitos de las iniciativas nanotecnológicas nacionales) está dado en función de lo que implica llevar hasta el punto final una tecnología nunca antes masificada, pero también es claro que desde la perspectiva empresarial, esto se vuelve un claro ejemplo de administración de costos. En tanto se reduzca el tiempo para cerrar un ciclo de inversión, más rentable y atrayente resulta un negocio. En el negocio nanotecnológico, el problema de la salud y el medio ambiente resulta una traba, misma que tampoco los gobiernos se han preocupado en resolver, como mencionamos cuando después de casi una década de la National Nanotechnology Initiative (NNI) en los Estados Unidos su avance respecto a este rubro en los informes oficiales, consiste en reconocer *que es urgente y hace falta mucho por hacer*.<sup>28</sup>

Desde 2002, el Grupo ETC difunde información sobre los riesgos que las nanopartículas podrían tener para las células humanas y particularmente cómo, desde entonces y aún hoy, no existe una supervisión ni regulación al respecto, aún en aquellos países que se encuentran a la vanguardia del desarrollo nanotecnológico y mantienen incluso instituciones y dependencias gubernamentales encargadas de supervisar el medio

---

porque hay átomos en todas partes, o la ingeniería genética, que "todos tenemos genes", la industria nanotecnológica nos dice que toda la naturaleza está compuesta de nanopartículas. Pero, de manera similar a los otros ejemplos, se trata de partículas y nanocompuestos sintéticos, manipulados, que nunca antes habían existido en la naturaleza y frente a los cuales, por su tamaño y propiedades nuevas, ni el sistema inmunológico humano ni la naturaleza se han enfrentado antes." *Íbidem*.

<sup>28</sup> "Sigue habiendo una necesidad urgente de la nación a construir, sobre la base de investigación actuales relacionadas con las implicaciones EHS [Medio ambiente, Salud y Seguridad] de la nanotecnología –incluida la investigación con apoyo federal [...]– el desarrollo de un plan estratégico nacional que contemple la investigación de las repercusiones de la nanotecnología en el medio ambiente, la salud, y la seguridad [de sus productos]" National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2010). The National Nanotechnology Initiative. Research and Development leading to a revolution in technology and industry. Estados Unidos, Febrero de 2010. Página 55.

ambiente.<sup>29</sup> ¿qué podría hacer pensar, que las cosas se presentarían diferentes en algún otro país en donde estos procesos industriales pudieran llevarse a cabo? Por lo menos hasta aquí, no hay indicio alguno de que la respuesta pueda favorecer a la regulación o supervisión de estos riesgos que ya no sólo potencialmente, sino que ahora de manera efectiva, pueden dañar gravemente la salud humana.

Nuevamente en Estados Unidos, caso que estudiamos detalladamente en cuanto al marco institucional de diseño del desarrollo nanotecnológico, aparecen también las características más claras del por qué no sólo en su relación con el Estado, sino también por su condición respecto a las repercusiones sobre los procesos de trabajo y de consumo sociales –en el que las empresas nanotecnológicas se encuentran en completa indiferencia de los riesgos que se mantienen latentes en sus productos– la nanotecnología es un caso particular del desarrollo tecnológico capitalista, misma que hace que exista una diferencia abismal entre su *diseño institucional* y su *desempeño real*; “Sin tomar en cuenta el compromiso de la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) de consultar abiertamente el desarrollo de las regulaciones sobre nanotecnología, el gobierno de Estados Unidos dio luz verde a la introducción de más de 15 químicos nanoformulados. Adicionalmente, la propia EPA está experimentando con nanopartículas de hierro para limpiar agua subterránea en el marco de su programa de limpia de confinamientos supertóxicos en varias locaciones. Sin embargo, la composición de los nano químicos aprobados, sus potenciales usos comerciales, a incluso los nombres de los fabricantes, se ocultaron repentinamente con apego a las políticas de confidencialidad de la EPA (Confidential Business Information provisions).”<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> “En una reunión de evaluación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos a mediados de marzo, los investigadores participantes informaron que se están encontrando nanopartículas en el hígado de animales de laboratorio, que las células vivas pueden absorber nanopartículas, y que éstas se pueden adherir a bacterias y entrar así en la cadena alimentaria. Compararon el uso comercial de carbono a nanoescala con ‘lo mejor que se ha inventado después del pan rebanado... o asbesto mejorado.’ A pesar de estas revelaciones, no hay ningún cuerpo regulatorio (ni planes para formarlo) dedicado al escrutinio profundo de esta potente y poderosamente invasiva tecnología nueva” Grupo ETC (2004). ¡No es poca cosa! Las partículas nanotecnológicas penetran las células vivas y se acumulan en los órganos animales. Comunicqué No. 76, Mayo/junio de 2002.

<sup>30</sup> La nota sigue: “Hace sólo dos años que la Royal Society del Reino Unido recomendó sin ambigüedad prohibir ‘el uso de nanopartículas libres en aplicaciones ambientales como la remediación del agua subterránea’. El Grupo ETC consultó con el Dr. Mark Wiesner, profesor de ingeniería civil y ambiental en la Universidad de Duke (Carolina del Norte) que estudia cómo se mueven las nanopartículas en el suelo y el agua, para verificar si existía consenso científico sobre la inocuidad de las nanopartículas de hierro en la remediación de los mantos acuíferos. El Dr. Wiesner explicó que si bien el hierro se encuentra de manera natural en las fuentes subterráneas de agua, no podemos saber todavía las implicaciones

Y no este tipo de casos de riesgo no ocurren solamente con la introducción de productos a procesos *de prueba*, para los usos *medio ambientales* como el tratamiento de aguas, que no se demoran en etiquetar como nanorremediación, sino que también aparecen algunos otros que sólo se hacen públicas sus apariciones cuando ya habían presentado problemas, como fue el caso en 2006 con un producto para limpieza denominado *magic nano*: “A fines de marzo al menos 77 personas reportaron problemas respiratorios después de utilizar el producto. Seis de ellas fueron hospitalizadas y luego dadas de alta tan pronto mejoraron su condición respiratoria. La compañía que vende ‘Magic Nano’ es Kleinmann GmbH, una subsidiaria alemana de Illinois Tool Works (una corporación en el rango de las de Fortune 200, con 650 subsidiarias en 45 países y 49 mil empleados). Kleinmann vende ‘Magic Nano’ en botellas de spray y de aerosol. Se retiraron del mercado solamente los aerosoles. No existe información sobre el compuesto químico nanométrico que usa el producto, ni sobre el problema que pudieran causar las nano partículas o su interacción con los gases que hacen funcionar los aerosoles.”<sup>31</sup>

Dados estos antecedentes es por lo menos deseable pensar en el rango de posibilidades de riesgo y por tanto de medidas que habrían que tomarse de seguir por el mismo camino, ya que otro de los jugosos campos del negocio nanotecnológico lo constituye la Medicina nanológica, que en términos de evaluación de mercado hace cuatro años se estimaba que para el presente, la medicina nanológica abarcaría alrededor de unos diez mil millones de dólares.<sup>32</sup> Entre los campos de aplicación está el suministro de drogas dirigido, nanopartículas terapéuticas y dispositivos antimicrobianos, puntos cuánticos con características ópticas de fácil rastreo para el diagnóstico clínico en imagenología, detectores de ADN, nanosensores e ingeniería de tejidos incluyendo aquellos dedicados para los injertos de huesos.

---

ambientales del hierro nanoformulado: existe la posibilidad de que el hierro, en nanopartículas o en su forma convencional, movilice algunos metales u otras sustancias en los mantos acuíferos que no fueran móviles anteriormente. No sabemos con certeza cuáles serían los efectos de la ‘medicina’” Grupo ETC (2006). En Estados Unidos, abierta irresponsabilidad para regular la nanotecnología. Boletín de prensa del 18 de octubre de 2006.

<sup>31</sup> Grupo ETC (2006). Retirada de producto nanotecnológico del mercado enfatiza la necesidad de una moratoria: ¿Desapreció la magia? Boletín de prensa del 10 de abril de 2006.

<sup>32</sup> “Ya a mediados de 2006, se encontraban en etapa de desarrollo preclínico, clínico o comercial 130 fármacos y sistemas de suministro, además de 125 dispositivos o reactivos de diagnóstico, todos ellos con base nanotecnológica. El mercado combinado de la medicina habilitada nanológicamente (suministro de fármacos, terapia y diagnóstico) brincaré de un poco más de mil millones de dólares en 2005 a casi 10 mil millones en 2010. La Fundación Nacional de la Ciencia estadounidense (NSF, por sus siglas en inglés) predice que para el año 2015 la nanotecnología será responsable de la mitad de los productos de línea en la industria farmacéutica” Grupo ETC (2006). Medicina Nanológica. Aplicaciones Médicas de las nanotecnologías. Editado por ETC group, septiembre de 2006.

Para los desarrollos de medicina nanológica, los nanosensores son una herramienta primordial, mismos que están siendo ya desarrollados hoy en día, por ejemplo, a partir de la repartición del presupuesto de la NNI con este propósito, poniendo nuevamente fondos sociales al servicio de la industria capitalista.<sup>33</sup> Pero en donde la nanotecnología ha desarrollado un despliegue sin la menor regulación y las experimentaciones quizá de mayor alcance de transformación tecnológica, es en su conjugación con la punta del desarrollo biotecnológico, la cual crece sin trabas no sólo por su forma de corporaciones, sino también por el completo desconocimiento en el terreno público del estado de desarrollo y consecuentemente la inexistencia de cualquier forma de regulación respecto a las repercusiones que pueda tener. Nos referimos concretamente a la biología sintética, que es como actualmente se le conoce a la convergencia entre la biotecnología basada en el ADN recombinante, la computación y la nanotecnología.<sup>34</sup>

En el capítulo primero de este trabajo explicamos como ese transcurso a la *molecularización* de la biología había implicado, hacia mediados del siglo XX que la diferencia de escala significara una diferencia de grado. Al paso de las décadas, el programa reduccionista que derivó en la concepción biológica que vio en los genes y su código a *piezas simples de un rompecabezas para armar*, tiene hoy por hoy su coronación en esta apuesta tecnológica operada por investigación científica de punta y capital de riesgo. El nuevo viraje consiste en la unión de la lectura del código genético, la capacidad para recombinarlo, y las tecnologías que permiten a través de técnicas computacionales, realizar un diseño de un organismo *a modo*, incluso antes inexistente y cuya ruta de acción se perfila en cinco pasos; 1) la hechura de microbios mínimos; 2) línea de ensamblaje de ADN; 3) construcción de células artificiales de abajo hacia arriba; 4) Ingeniería de conductos, esto es, maquila de microorganismos; 5) la expansión del sistema genético de la tierra.<sup>35</sup> Aunque si bien, se perfila, falta aún comprobar que el enfoque reduccionista pueda generar realmente los resultados que esperan.

---

<sup>33</sup> Para un informe detallado del desarrollo de nanosensores a partir de fondos públicos en Estados Unidos, puede consultarse principalmente en la sección 3 “Putting all together” del documento: National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2009). Nanotechnology-enabled sensing. Estados Unidos. Reporte del taller de la NNI los días 5 a 7 de mayo de 2009.

<sup>34</sup> Grupo ETC (2007). Ingeniería genética extrema. Una introducción a la biología sintética. Editado por ETC group, enero de 2007. Página 6.

<sup>35</sup> *Ibidem*, página 14

Pero mientras dicha comprobación llega, parecen tomarse atajos a algunas etapas posteriores de la nanotecnología que involucran su relación con el ADN y con *lo vivo*, mismas que ya no parecen estar tan alejadas de las previsiones realizadas anteriormente y que se habían tildado de irrealizables (como en el caso de las críticas a Drexler mencionadas hacia el final del punto 1.1.4 del capítulo primero de este trabajo). En un artículo del grupo ETC fechado este mismo año (2010), podemos encontrar una de las noticias que revelan el estado actual de la biología sintética y que no pueden más que, dado el contexto de implicaciones de la tecnología capitalista, preocuparnos acerca de las repercusiones futuras que vaya a tener: “En un documento publicado hoy en la revista *Science*, el Instituto J. Craig Venter y Synthetic Genomics, Inc anunciaron la creación en laboratorio del primer organismo autoreplicante cuyo genoma completo fue construido desde cero por una máquina.” Más adelante en el mismo artículo, comenta Jim Thomas: “La biología sintética es un campo lucrativo de alto riesgo: busca construir organismos de partes de las que se conoce todavía muy poco. Sabemos que las formas de vida creadas en laboratorio pueden escapar, convertirse en armas biológicas y que su utilización amenaza la biodiversidad natural existente. Aún más preocupante, Craig Venter está entregando su poderosa tecnología a la industria más irresponsable y depredadora del ambiente: se asoció con las petroleras BP y Exxon para apurar la comercialización de formas de vida artificiales.”<sup>36</sup> Como nota a Exxon y BP (siglas de la empresa British Petroleum), hasta principios de este año, el segundo derrame petrolero más grande en la historia de Estados Unidos había sido protagonizado por Exxon cuando su buque *Exxon Valdez*, presentó fallas en su estructura monocasco frente a las costas de Alaska, aunado a otras fallas y en la intención de Exxon por no perder su inversión, tras varios cambios de nombres, paulatinamente se prohibió su circulación en los puertos de Europa y Estados Unidos. Aún con la gravedad de aquellos incidentes, quedan reducidos relativamente con el que es ahora el derrame petrolero más grande en la historia de EUA, el de una estación oceánica de BP en el Golfo de México y cuyas repercusiones económicas, sociales, medioambientales, y para la salud humana no tienen precedente para ese país (ni para el nuestro, que obviamente también tiene costas en el Golfo de México).<sup>37</sup>

---

<sup>36</sup> Grupo ETC (2010). Sintia está viva... ¡y reproduciéndose! ¿Panacea o caja de Pandora? Boletín de prensa del 20 de mayo de 2010.

<sup>37</sup> “Autoridades estadounidenses revisaron al alza el nivel de la contaminación, al considerar que hasta 60 mil barriles de crudo se derraman diariamente en el océano, o sea, 50 por ciento más de lo que evaluaba la precedente estimación de la compañía. Serían entonces de 300 millones a 500 millones de litros de hidrocarburos los que se habrían fugado del pozo a

Como se ha mostrado en estos ejemplos, el hecho de que el desarrollo nanotecnológico se mantenga sin regulación es un panorama general de riesgo, además de que permite ver que el papel del Estado en tales circunstancias de omisión no es quizá un descuido. Es por esta razón que puede encontrarse, en el caso que nosotros estudiamos, el de la NNI, que había un retraso considerable respecto al estudio de las repercusiones de la nanotecnología en los temas referidos a salud y medio ambiente, cuando apenas en 2008, por ejemplo, se hacían ejemplos de protocolos de higiene industrial.<sup>38</sup>

Sin entrar a detalle baste decir que apenas en 2006 se planteaba dentro de la NNI la necesidad de investigaciones sobre la repercusión de la nanotecnología en estos temas,<sup>39</sup> y que también para 2008, apenas se planteaba una estrategia reconociendo que *habría que medir*, las repercusiones sobre la salud, además de continuar planteándoles a los principales interlocutores de los informes de la NNI, es decir los miembros del Congreso de los Estados Unidos, el *por qué es necesaria una estrategia de investigación EHS* [Medioambiente, Salud y seguridad, por sus siglas en inglés ].<sup>40</sup>

Es en este terreno en el que también se plasma esta cuestión discursiva sobre el desarrollo económico, pero ahora en el plano de la nanotecnología, ya que como se ha explicado ampliamente en otros capítulos, se plantea en general desde el gobierno como un campo de acción para *el mejoramiento del desempeño humano*, así, en general, aunque en los hechos su comportamiento y resultados sean otros [y en definitiva no se trata de entrar a discutir aquí cómo es que entonces que *debería ser* un programa que procurara para el capital un desarrollo y que además pudiera cumplir con ese desarrollo general, ya que por eso hemos argumentado la existencia de una misma tecnología, pero intereses diferenciados]. Un muy buen ejemplo de esta diferencia entre el discurso y el desempeño,

---

58 días del comienzo del vertido”Afp, Dpa y Reuters (2010). Nota "Acepta BP depositar 20 mil mdd para pagar indemnizaciones por el derrame". En Periódico La Jornada. México, 17 de junio de 2010, p. 20. Claro está que tal cantidad es una estimación del inicio del derrame el 20 de abril y has mediados de junio en que apareció la nota, es decir 58 días después, pero aún en el tiempo final de redacción de este trabajo (alrededor de 30 días más) la fuga sigue sin poder contenerse, lo cual la elevaría hasta un máximo de 750 millones de litros.

<sup>38</sup> Department of Energy (2008). Approach to Nanomaterial ES&H. Estados Unidos. Revision 3-a, mayo de 2008. Apéndice 1.

<sup>39</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2006). Environmental, Health, and Safety Research needs for Engineered Nanoscale Materials. Estados Unidos, septiembre de 2006.

<sup>40</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2008). National Nanotechnology Initiative. Strategy for Nanotechnology-Related Environmental, Health, and Safety Research. Estados Unidos, febrero de 2008.

podemos encontrarlo en una simple contrastación de objetivos, entre los globales de la NNI y los objetivos del Departamento de Defensa (DoD, por sus siglas en inglés) de acuerdo a las áreas componentes del programa (PCA) de la misma. Presentamos algunos ejemplos de este contraste en la siguiente Tabla 1.

**Tabla 1.** Ejemplos comparativos entre retos a largo plazos de la NNI y objetivos del DoD por área componente del programa (ACP). 2007.

ACP	Retos a largo plazo de la NNI:	Objetivos de por programa del DoD:
Procesos y fenómenos básicos a nanoescala	Descubrir y desarrollar los conocimientos básicos que afectan los nuevos fenómenos que ocurren en la nanoescala, en lo físico, biológico, y desde las ciencias de la ingeniería, así como la elucidación de los principios científicos y de ingeniería relacionados con las estructuras a nanoescala, sus procesos y mecanismos.	Descubrir nuevos fenómenos y procesos que permitan ventajas significativas para el combatiente de guerra y las capacidades de los sistemas de batalla.
Sistemas y dispositivos nanoescalares	La aplicación de los principios de la ciencia y la ingeniería a nanoescala para crear nuevos, o mejorar los actuales, dispositivos y sistemas; la incorporación de materiales a nanoescala o nanoestructurados para lograr un mejor rendimiento o funcionalidad nueva (nota: los sistemas y dispositivos de ellos no se limitan a este tamaño).	Aprovechar los avances en nanotecnología para proporcionar sistemas y dispositivos revolucionarios para el progreso de los combatientes y las capacidades de los sistemas de batalla.
Implicaciones sociales	La identificación y mitigación de los riesgos potenciales para la salud y medio ambiente causados por la nanotecnología (incluidos los derivados de exposición humana, animal, o ambiental a la ingeniería de materiales a nanoescala, los materiales nanoestructurados y dispositivos basados en la nanotecnología y sus derivados), la ampliación de materiales sobre nanotecnología para las escuelas, los programas de pregrado, la formación técnica y difusión pública.	Asegurar la salud y la seguridad de los combatientes de guerra utilizando aplicaciones futuras basadas en la nanotecnología. Evaluar, evitar y mitigar cualquier efecto ambiental o de impacto en la salud de la utilización de la nanotecnología con propósitos de defensa

Fuente: Elaboración propia con información de: DoD (USA) (2007). Defense Nanotechnology Research and Development Program. Estados Unidos, 26 de abril de 2007.

Este contraste adquiere mayor relevancia aún, si recordamos que (como se mostró en

la tabla 6 y gráfica 9 del capítulo 2) el mayor presupuesto de la NNI es para el Departamento de Defensa, por lo que incluso desde ese nivel de diseño no podría esperarse un funcionamiento, siquiera adecuado para el *mejoramiento humano*, menos aún que regulara la actuación empresarial nanotecnológica y sus repercusiones sobre la salud y el medio ambiente.

Por otra parte, cabe señalar que todo el desarrollo científico involucrado en este proceso, se inserta a la misma dinámica, no importa si es de manera consciente o en forma *involuntaria*. La interrelación tan activa de empresas, gobierno y centros educativos en general y del desarrollo científico en particular, que tanto ha llamado la atención por el grado de madurez alcanzado en la NNI y que muestra su más amplia despliegue en los Estados Unidos, sede del capitalismo hegemónico mundial, adquieren otra dimensión de importancia a la luz de estas dinámicas. Pero al igual que en el capítulo anterior en el que vimos la relación a largo plazo entre desarrollo tecnológico y desarrollo capitalista, es ahora necesario abrir un gran espacio para estudiar la tendencia de largo plazo entre la ciencia moderna y el modo de producción capitalista, pero en la medida en que este es un tema aún más desatendido en el análisis tanto de economistas, historiadores, físicos y demás científicos relacionados, quizá será esta exposición aún más discontinua y ejemplificada que la anterior, ya que pondremos aquí sólo un caso, pero quizá el más emblemático y representativo de la imagen y concepción moderna de la ciencia: el nacimiento de la *física clásica*. A partir de este caso podrán esbozarse las líneas generales de la relación entre la ciencia y el capital que persisten hasta nuestros días y cuya punta de lanza es precisamente, la profunda imbricación entre ciencia, tecnologías convergentes e inversión nanotecnológica.

### **3.3. La ciencia moderna y el modo de producción capitalista**

Anticipamos que a partir de la fuerte legitimación que se ha ganado a pulso el desarrollo científico, pero que sin embargo su forma más difundida ha sido la interpretación positivista, al grado de generar una identificación de los *argumentos verdaderos* con los *científicamente probados*, propiciada por una deformación del sentido común nuevamente

cumpliendo su papel, el abordaje de esta temática resultará, quizá para algunos, una tarea que puede parecer incluso contradictoria. Por ello es necesario, en la medida de lo posible, hacer el menor caso a los prejuicios tan profundamente arraigados sobre la *[auto]defensa de lo científico*, y tomar su desarrollo histórico aquí, simplemente como se toma cualquier otro objeto de estudio.

### 3.3.1. Una introducción a la delimitación de la ciencia como proceso histórico.

Cuando decimos *Historia*, es necesario mencionar que en ella se conjugan en realidad 3 elementos que en el lenguaje común parecen indistinguibles, la *historia* como conjunto de acontecimientos, la *historiografía* como relación sistemática de tales sucesos, y la *teoría de la historia* como estudio acerca del sentido, utilidad y limitaciones de esas relaciones. Es decir que, si el objeto de estudio de la *historiografía* es la *historia*, el objeto de estudio de la *teoría de la historia* es la *historiografía*.<sup>41</sup> Mantener en claro estos tres elementos es el primer paso para la delimitación y estudio de un proceso histórico en general, y particularmente los consideraremos en la búsqueda de los orígenes históricos de la ciencia.

A finales del siglo pasado, en el contexto de las reivindicaciones del posmodernismo, que entre otras cosas señalaba la ruptura e inauguración de una *nueva imagen del mundo*, una contribución certera a este debate consistió en delimitar qué es aquello a lo que se le llama el *pensamiento moderno*. Vamos a plantear, siguiendo a Luis Villoro<sup>42</sup>, en una primera instancia y desde este contexto nuestro problema a seguir. Esta discusión nos es relevante aquí, porque en el rastreo de los orígenes del pensamiento moderno, se encuentran también los orígenes de su época, contexto en el cual, ciertamente operará una transformación profunda de la imagen del mundo, y particularmente como uno de los procesos que caracterizan tales concepciones, la configuración de aquello a lo que ahora llamamos ciencia. Planteado así el problema procederemos a la forma en que puede resumirse una agenda temática en la física para posteriormente discutir la *teoría de la historia de las ciencias*.

---

<sup>41</sup> González Rojo, Enrique (1977). *Teoría científica de la Historia*. Cuarta edición. Editorial Diógenes. México, 1987. Páginas 23-24.

<sup>42</sup> Villoro, Luis (1992). *El pensamiento moderno. Filosofía del Renacimiento*. Coeditado por el Colegio Nacional y el Fondo de Cultura Económica, México, 1994

Para comenzar, diremos que la gestación del pensamiento moderno comienza a partir del renacimiento y sin embargo no es una ruptura abrupta con el pensamiento antiguo, el cual le da en mucho el carácter a la Europa del Medioevo. Con lo cual hemos de decir también que este nacimiento es un proceso fundamentalmente europeo (cabe preguntarse entonces ¿por qué es en Europa y no en otros lados donde se gesta el pensamiento moderno? Y en especial adquiere una mayor relevancia tal pregunta si consideramos el refinamiento cultural alcanzado en otras partes del orbe como la India, o el *mundo Árabe*, sede de los conocimientos más avanzados en matemática, medicina y otras tantas disciplinas mientras en Europa se transitaba por la alta edad media.<sup>43</sup>).

Entre las características que configuran el nacimiento del mundo moderno se encuentra lo que Villoro considera la *pérdida del centro*, tanto en el espacio como en el tiempo, en la medida en que la concepción aristotélica del mundo que hasta la fecha servía como explicación universal concebía a la tierra como el centro del mismo, y en el aspecto temporal, baste decir simplemente que los años aún se siguen contando como antes y después de Cristo. Y es esta transformación en *la imagen*, la que da indicios (no causas sino sólo señalamientos) sobre el cambio que ocurrió en el mundo como tal y su rico entramado de interrelaciones.<sup>44</sup> Esta transformación en la concepción sobre la historia, sobre el hombre y sobre el conocimiento, mantiene en sus cimientos también a una concepción distinta de la *naturaleza*, en la que atribuye principios comunes a todos los entes, que el todo esté vinculado con el todo y que la unidad misma de la naturaleza autocontenga fuerzas que le impelen al cambio. Esta misma concepción reposará sobre las formas de conocimiento y relación de comprensión con la naturaleza anteriores a la época moderna, ya que en este sentido, “la magia y la ciencia no corresponden a una contemplación desinteresada, son un saber de dominio”.<sup>45</sup>

La Ciencia será entonces *una forma* de conocimiento que se consolida a partir de un

---

<sup>43</sup> Existe una pregunta análoga cuando se buscan los orígenes de la revolución industrial ¿por qué es en Europa y particularmente en Inglaterra donde se gesta la revolución industrial si hasta el siglo XVII no era con mucho ni la más tecnificada ni la más floreciente de las naciones en los ámbitos económicos, culturales, políticos, etc.? Una de las tantas respuestas dadas a esta incógnita se encuentra hacia el final del primer capítulo que sirve como introducción histórica en el libro: Derry, Thomas Kingston (1978). *Historia de la tecnología*. Editorial Siglo XXI. México, 1978.

<sup>44</sup> “Una época histórica dura lo que dura la primacía de su figura del mundo” Villoro, *op. cit.*, página 9

<sup>45</sup> *Ibidem*, página 74. Aunque aquí se asoma una identificación de las características de un caso particular, la astronomía, con las que debieran de cumplir el resto, Villoro argumenta que frente a la magia, la ciencia aún con contenido empírico puede derivarse de enunciados universales y necesarios y que en ello juega un papel primordial la matemática.

contexto en el que resulta útil en su relación con el resto de quehaceres humanos. Las dificultades en las definiciones de ciencia, estriban en su mayor parte en que se pretende realiza una delimitación desprovista de su rico contenido histórico, ya que *esa forma* de conocimiento, no se presenta como pura o siempre atendida a una delimitación estricta sino cambiante, como veremos a partir de del ejemplo de cuáles son los objetos de estudio que se planteó la física y con qué fines los escogió.

### 3.3.2. La construcción de una agenda temática *hacia* la física clásica.

Aunque ahora nos parece de lo más *natural* pensar en los movimientos de traslación de los planetas alrededor del sol y cómo la rotación de la tierra origina la sucesión del día y la noche, el camino transcurrido hasta el punto en que este conocimiento llegó a ser común, es uno de los más significativos desde el punto de vista del conocimiento humano.

En principio habría que plantear el problema del movimiento de los planetas. Si pensamos en un concepto básico para la vida, es el del transcurrir del tiempo, pero cómo medirlo adquiere particularidades dependiendo del lapso deseado, no es lo mismo querer medir fracciones pequeñas de un día que las estaciones del año. Pero qué tan certeras pueden ser las formas de esta medición y cómo se articulan respecto a los demás quehaceres humanos es una cuestión cambiante. En este sentido, la observación de los planetas y las estrellas, el sol incluido, en el sentido de la búsqueda de regularidades temporales, ha permitido tomarlas como referentes para la medición de las estaciones del año, conjuntos de años etc.<sup>46</sup> A primera vista, las estrellas durante la noche (ahí donde aún es posible observarlas) parecen constituir un conjunto de puntos de posiciones estáticas de unos con otros, que se mueve también en forma conjunta. Sin embargo, si uno mira en repetidas noches ese conjunto, aparecen excepciones en puntos que no se mueven con la regularidad del resto, no sólo describen una trayectoria distinta del resto, en ocasiones incluso una dirección contraria formando figuras que, igualmente a primera vista, parecen

---

<sup>46</sup> Desde hace más de tres milenios, con los babilonios como un buen ejemplo –como nos relata Khun en su libro *la revolución copernicana*–, se observan los movimientos celestes, cuyas regularidades permitían hacer mediciones del tiempo, principalmente con la luna y el sol, aunque de éstos, las diferencias más notables parten de las imprecisiones para los ciclos lunares, ya que de luna nueva a luna nueva puede haber hasta un día de diferencia respecto a los ciclos de 29 días. Kuhn, Thomas S (1978). *La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Traducción de Domenech Bergada. Editorial Ariel. España, 1996.

errantes. Que es de hecho la razón de que esos puntos sean llamados *planetas*, porque esa palabra proviene del lenguaje griego para nombrarlos como *errantes*.



**Figura 2.** Ilustración de posiciones sucesivas de Marte que describen un movimiento de retrogradación.

A estas formas que se antojan caprichosas respecto al resto, se les llama *movimiento de retrogradación* (ver Figura 2), y responder el por qué ocurre es uno de los ejemplos principales de los problemas a resolver para explicar la manera en que se presenta el movimiento de los cielos, es decir, la *mecánica celeste*. Nos concentraremos en esbozar la respuesta del modelo ptolemaico para explicar y calcular estos movimientos. Este problema fue abordado a través

de dos herramientas, la de las esferas homocéntricas y la del *sistema epiciclo-deferente*, de hecho las segundas se mueven en base a un sistema de las primeras. Ambos tienen la premisa de la tierra situada al centro del universo, en torno a ella giran la luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno, en donde el Sol y la Luna presentan un movimiento más regular que el resto, y los planetas que se encuentran por encima del Sol, presentan fuertes trayectorias de retrogradación. Además domina el movimiento circular uniforme como única posibilidad de las configuraciones básicas de las trayectorias celestes. En el caso del sistema ptolemaico, sus bases parten de siglos antes de Cristo entre matemáticos griegos como Apolonio e Hiparco, cuatro siglos antes de Ptolomeo, pero se le llama así porque es él el más emblemático y el que propone el modelo más usado para el cálculo de los movimientos celestes en su obra *Almagesto*.<sup>47</sup>

Las herramientas principales de este modelo son tres; 1) Ecuantes mayores y menores. Los ecuantes son círculos cuyo centro es un punto que describe un deferente (ver Figura 3), siendo este segundo un círculo cuyo centro es la tierra. Los ecuantes mayores son utilizados para describir movimientos como la retrogradación de los planetas, y los menores para hacer ajustes en los cálculos. A los ecuantes se le pueden añadir otros ecuantes, como ecuantes de ecuantes y hacer variar sus respectivas velocidades entre sí, para ajustar observaciones. 2) Excéntricas. Éstas ocurren como consecuencias de los ecuantes, ya que si

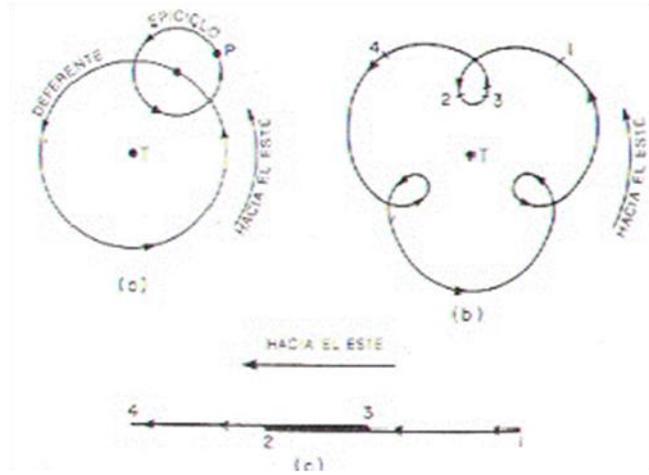
<sup>47</sup> Para la explicación del modelo ptolemaico y sus diferencias con el modelo copernicano, nos basaremos en el capítulo segundo de: Kuhn, Thomas S (1978). *La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Traducción de Domenec Bergada. Editorial Ariel. España, 1996.

imaginamos que el periodo que tarda en dar la vuelta al ecuante es igual a la del deferente, entonces tenemos algo así como un círculo desfasado, es decir un círculo del mismo tamaño pero con centro en un punto diferente, a éste se le llama excéntrica. 3) Finalmente tenemos al ecuante, que es un punto diferente del centro en torno al cual el planeta debe girar haciendo variar su ángulo con respecto al ecuante en forma proporcional con el tiempo. Es decir que el planeta debería acelerarse y desacelerarse. Sin entrar a detalle, diremos que estas fueron las herramientas básicas para los astrónomos europeos durante poco más de un milenio, que a través de otras tantas combinaciones *de ecuantes de ecuantes* en tantas formas como puedan acomodarse, etc., se realizaron una cantidad

inmensa de cálculos que si bien llegaban a contener *errores*, el modelo en general permitía el cálculo y predicción de buena parte de los fenómenos celestes. Con esto queremos decir que este modelo ptolemaico *cumplía* con su función respecto a su propósito de explicar y medir hasta cierto grado el movimiento de los planetas.

Antes de proseguir hay también que mencionar que el modelo ptolemaico no sólo cumplía con esa función, sino que a la vez era consistente con la *física aristotélica*, misma que también a su vez, permitía un gran sistema de explicación del mundo y que además fue utilizada como una respuesta a las preguntas planteadas en el *mundo cristiano*. Y así llegamos a uno de los puntos más importantes en la construcción de la agenda que estamos describiendo. *Un sistema no sólo es fundamental por sí mismo, sino por la relación que guarda con el resto de la concepción del mundo y con la cual se complementa*, que desde otra perspectiva puede ser llamada como la *imagen del mundo* a la cual se refiere Villoro en forma general.

Pues bien, el *pensamiento aristotélico* se presenta como un todo coherente y consistente consigo mismo, y que a pesar de las dificultades de reconstruir la obra de Aristóteles, aún así aparece como algo completamente integrado. El punto de partida que



**Figura 3.** “El sistema básico epiciclo-deferente. En (a) se presenta un caso típico de epiciclo y deferente, en (b) aparece el movimiento en bucle generado por tal sistema y en (c) se ofrece parte del movimiento representado en (b), el trayecto 1 2 3 4 tal como es visto por un observador situado sobre la tierra central T” Fuente: Kuhn, op. cit., página 96.

nos ocupa aquí, es la explicación del *universo de las dos esferas* en el pensamiento aristotélico, la sub-lunar y la supra-lunar. La segunda es presentada por Aristóteles como un lugar estático, no obstante su movimiento y cuyas fricciones se transmitirían para dar origen a la característica principal de la esfera sub-lunar, el movimiento.<sup>48</sup> Si bien hay una realimentación entre esta física aristotélica y la astronomía Ptolemaica y aunque en ella no son esferas, tanto como círculos, la concepción es básicamente la misma.

De acuerdo con esto, de no ser por los impulsos de las fricciones entre esferas supralunares, en la tierra todo permanecería quieto, el fuego tendería a escapar, lo ligero tendería hacia arriba y lo pesado hacia abajo. Además subyace aquí la idea de que las cosas tienden hacia el centro del universo, que en esta perspectiva es el centro de la tierra, y que además al distribuirse de manera uniforme alrededor del centro, tendríamos la razón del por qué la tierra es redonda. Estas ideas se complementan con la del *plenum*, es decir la de un mundo totalmente lleno, y al vacío sólo como potencialmente ocupado.

Finalmente, y en tanto la majestuosidad de los cielos se funda en este origen del movimiento y el por qué al ser los mismos los que provocaban el cambio en la tierra, existía un fuerte ligamento entre astrología y astronomía. Bajo la física aristotélica, por ejemplo, es comprensible entonces el por qué suponer que si al momento del nacimiento de una persona, una constelación se hallaba en tal o cual posición, podría influir sobre su vida, ya que el movimiento supralunar se encontraba totalmente ligado en relación directa de causalidad con los cambios en la tierra. Sin embargo toda esta concepción se derrumbó con el modelo heliocéntrico, al no ser la tierra el centro del mundo, toda esta teoría se desploma (y por eso una forma alternativa de apuntar a ese momento histórico, es también el señalamiento del comienzo de la separación entre astrología y astronomía<sup>49</sup>). Éste es el tema

---

<sup>48</sup> Un análisis detallado de esta relación de la física aristotélica con el modelo ptolemaico y el *mundo cristiano* puede encontrarse en (que de hecho constituye la base de esta exposición): Kuhn, op. cit., capítulo 3 “El universo de las dos esferas en el marco del pensamiento aristotélico”.

<sup>49</sup> Bajo esta razón de causalidades además, un horóscopo no es tomado sólo como una cuestión mística, sino que, en la medida en que se corresponde con una explicación del universo mismo, requiere de la atención y dedicación de muchos esfuerzos para obtenerlo *certemente*. Pero con el solo hecho de diferenciar el centro del universo del centro de la tierra, no hay razón alguna para conectar los movimientos en razón de causa y consecuencia. Cinco siglos después aún hay mucha gente, principalmente los *astrólogos*, que no se dan por enterados de este cambio y mantienen intrastocada esta relación. Sin embargo, los *horóscopos* se mantienen, porque las funciones de los pensamientos en la superestructura, siempre tienen algo más que la función de consistencia o legitimación... Pero particularmente, porque en su concreción como *valores de uso*, que responden a necesidades *ya sean del estómago o de la cabeza*, han permanecido junto con otras tantas que podrían calificarse de arcaicos, y aquello que les ha permitido sobrevivir en esta nueva época, es precisamente su forma de *mercancías*.

con el que nace la ciencia moderna, la llamada *revolución copernicana* y el nacimiento de una nueva concepción del mundo.

### 3.3.2.1. La revolución copernicana.

Se le llama revolución copernicana porque, como veremos, si bien no es Copérnico el principal actor del cambio operado en la astronomía, son todas las transformaciones que le suceden, las que han de representar esa gran transformación en la agenda temática, misma que una vez planteada, pasaremos a desarrollar los demás referentes que tiene por contexto e interpretarla desde la *teoría de la historia* en el apartado siguiente.

El modelo de Copérnico, contenido en su libro de 1543 “*Revolutionibus Orbium Celestium*”<sup>50</sup> (sobre las revoluciones de los orbes celestes), utiliza las mismas herramientas del modelo ptolemaico, excepto el ecuante, en ese sentido se presenta como continuidad, y sobre el debate de estos detalles de cálculo comienza la discusión que dio lugar a la revolución copernicana (como ruptura).

El Libro primero es una síntesis. En la Introducción menciona la magnificencia del sol y del por qué la astronomía se presenta como uno de los quehaceres intelectuales más nobles, y que es en última instancia a ella a donde convergen muchas disciplinas, la geometría, la matemática, etc. EL Capítulo 1 presenta al mundo como esférico, aunque el argumento que se da es simplemente *porque es la figura más perfecta y que por tanto no podría ser de otra manera*.<sup>51</sup> Aunque en un principio lo presenta bajo este argumento, más adelante lo hará en función de la concepción de la física aristotélica. El Capítulo 2 afirma que también la tierra es esférica. En el 3 se agrega a que son la tierra y el agua los que forman un globo. En el 4 aparecen los movimientos de los astros celestes como regulares, circulares, perpetuos o compuestos por círculos, en donde utiliza con mucho la astronomía Ptolemaica. En el 5, ya demostrado, según el Copérnico, que el mundo y la tierra son globos, se comienza a ahondar en el tema de si las estrellas giran en torno a la tierra o si es ésta la que lo hace por

<sup>50</sup> Copernicus, Nicolaus (1543). Sobre las revoluciones (de los orbes celestes). Edición preparada por Carlos Minguéz Pérez, Editorial Tecnos. España, 1987.

<sup>51</sup> “ En primer lugar, hemos de señalar que el mundo es esférico, sea porque es la forma más perfecta de todas, sin comparación alguna, totalmente indivisa, sea porque es la más capaz de todas las figuras, la que más conviene para comprender todas las cosas y conservarlas, sea también porque las demás partes separadas del mundo (me refiero al sol, a la luna y las estrellas) aparecen con tal forma, sea porque con esta forma toda las cosas tienden a perfeccionarse como aparece en las gotas de agua y en los demás cuerpos líquidos, ya que tienden a limitarse por sí mismos, para que nadie ponga en duda la atribución de tal forma a los cuerpos divinos” Copernicus, op. cit., página 15.

contraparte. Para ello habla de la inmensidad del cielo con respecto a la tierra y plantea que la proporción que ocupa ésta última es realmente ínfima, esto es el capítulo 6. El argumento anterior a su vez se relaciona con el capítulo 7 en donde se explica por qué los antiguos pensaban que eran las estrellas y no la tierra las que giraban. De ser la segunda, debido al tamaño de la tierra, para dar una vuelta en un día, las cosas que sobre ella descansan tendrían que moverse a una velocidad inmensa. En el Capítulo 8 Copérnico alude a la insuficiencia de este argumento, ya que si eso sucedería en la tierra, entonces, por qué no habría de explicarse análogamente con el tamaño y la velocidad necesaria para que las estrellas dieran una vuelta también.

De esta manera nos presenta que es posible que la tierra se mueva y que el sol sea el centro, y que por tanto sí pueden atribuirse movimientos a la tierra (capítulo 9), esta argumentación la cierra presentando el orden de las órbitas celestes en el capítulo 10 para finalmente dar demostraciones del triple movimiento de la tierra, el que da origen al día y la noche (el de rotación), el que hace describir el círculo de los signos alrededor del sol (el de rotación) y, finalmente el que se presenta como declinación hacia el oeste (respecto al eje terrestre), que generaría los equinoccios y los solsticios. Es importante señalar que en la obra de Copérnico, hay alusiones constantes a que no es él quien ha propuesto por primera vez que la tierra gire alrededor del sol, la importancia de este hecho es fundamental porque si bien no es presentada como una novedad, también incorpora elementos de síntesis de conocimientos de diversos astrónomos que pudieron realizar una explicación respecto al movimiento celeste.

Por otro lado también cabe señalar la actitud epistémica de la obra, empezando porque al ser publicada en su original de 1543 y que se sigue reproduciendo hasta nuestros días, se encuentra el famosísimo prefacio *Al lector sobre las hipótesis de esta obra*, de Andreas Osiander, donde dice: “Divulgada ya la fama acerca de la novedad de las hipótesis de esta obra, que considera que la tierra se mueve y que el sol está inmóvil en el centro del universo, no me extraña que algunos eruditos se hayan ofendido vehementemente y consideren que no se deben modificar las disciplinas liberales constituidas correctamente ya hace tiempo. Pero si quieren ponderar la cuestión con exactitud, encontrarán que el autor de esta obra no ha cometido nada por lo que merezca ser reprendido. Pues es propio del astrónomo calcular la historia de los movimientos celestes con una labor dirigente y diestra.

[...] Y con tales supuestos pueden calcularse correctamente dichos movimientos a partir de los principios de la geometría, tanto mirando hacia el futuro como es el pasado. [...] Por lo tanto, permitamos que también estas nuevas hipótesis se den a conocer entre las antiguas, no como más verosímiles, sino porque son al mismo tiempo admirables y fáciles y por qué aportan un gran tesoro de sapientísimas observaciones. Y no espere nadie, en lo que respecta las hipótesis, algo cierto de la astronomía, pues no puede proporcionarlo; para que no salgan esta disciplina más estúpido de lo que entró, si toma como verdad lo imaginado para otro uso.”<sup>52</sup> Inmediatamente después se agregan dos cartas; la primera es de Nicolas Schoenberg, cardenal de Capua a Copérnico, en la que el primero le solicita vehementemente al segundo que le haga llegar copia de sus trabajos sobre la estructura del mundo, en los que se indica que la tierra se mueve y el sol ocupa el lugar primero; la segunda carta es de Copérnico a Pablo III (el Papa), que además sirve como Prefacio a los Libros Sobre las Revoluciones, en él señala Copérnico que dedica su trabajo al Papa advirtiéndole que habrá críticas a su trabajo, pero que estima necesario que sea apreciado sólo por aquellos a quienes va dirigido, y así no se desvirtúe al amparo de críticas que provengan de gente que, aunque docta en otros temas, sea ignorante en la materia, por lo que considera pertinente dedicar el trabajo al Papa y así pueda dejarse también al criterio de éste.

Hacemos mención de lo anterior porque, en medio de este contexto en que se está gestando una ruptura epistémica, a la vez existe en Copérnico una completa actitud conforme a los cánones católicos de su tiempo, además de poner de manifiesto, que en principio no hubo por parte de la Iglesia Católica, ninguna oposición al modelo heliocéntrico sino hasta casi medio siglo después. En contraste, y aunque es Lutero quien en primera instancia observa que el modelo de Copérnico es contrario a *las sagradas escrituras*, es en una institución protestante, la Universidad de Wittenberg, en donde es acogida la obra de Copernico y es de hecho en su imprenta en donde se publica.<sup>53</sup> El autor del prefacio citado

---

<sup>52</sup> *Íbidem*, páginas 4-5.

<sup>53</sup> Robert S. Westman nos relata el contexto por el que pasaba la universidad de Wittenberg a mediados del siglo XVI como contexto en el cual se publicó la obra de Copérnico. Principalmente bajo el liderazgo de Philip Melanchthon, surge un interés en el carácter de renovación epistémica principalmente en la Astronomía. El autor polemiza sobre lo que significa la aceptación de una teoría y pone como ejemplo la forma en que en Wittenberg fue recibida la teoría de Copérnico. Había principalmente tres astrónomos que entrarían al quite en este tema, por un lado está Erasmus Reinhold junto a Caspar Peucer, representando el círculo más afín a Melanchthon, y por el otro George Joachim Rheticus. Los primeros asumen la teoría de Copernico como adecuada en modelo de cálculo, y en especial por el hecho de no necesitar el ecuante de Ptolomeo

más arriba, Andreas Osiander, era el editor final del libro ante la imprenta de Wittenberg. A partir de este suceso, en el que no se pone por delante la verdad o falsedad de las hipótesis, sino su funcionalidad adecuada a un mejor cálculo, es que pueden encontrarse, por ejemplo, las diferentes actitudes entre lo que algunos han clasificado como posturas realistas e instrumentalistas, las primeras defendiendo aquello que consideran la verdad, y las otras delimitándose a describir un objeto de estudio (por muestra, entre los primeros se suele señalar a Giordano Bruno, y entre los segundos a Tico Brahe).

Finalmente, respecto a la obra de Copérnico señalamos que grosso modo, que su innovación consiste en poner nuevamente en primer plano al modelo heliocéntrico, ya que de hecho, como instrumento de cálculo, fueron otros los que aportaron los datos y la presión necesaria para poder sustentarlo, entre ellos, el más importante es Tico Brahe.

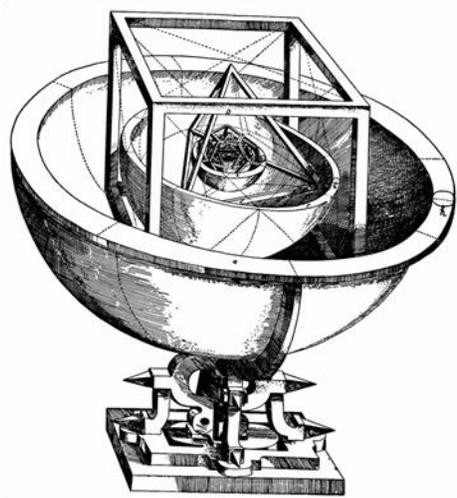
Sus mediciones, las más precisas y completas para su época constituyen por sí mismos una tarea enorme en la construcción de aquello contra lo que serían confrontados el modelo heliocéntrico. Un hecho significativo, marca el inicio de la importancia de estas mediciones en su contexto ideológico, en 1572 ocurre un suceso que es registrado por varios astrónomos pero es Tico quien se atreve a publicar lo observado: la aparición de una nueva estrella en el cielo.<sup>54</sup> Recordemos que en la concepción aristotélica el cielo es estático, y la aparición de una nueva estrella contraviene dicha concepción, por lo que encontrarla es algo que puede señalarse sólo si está dispuesto a ser confrontado. Debido al reconocimiento de sus habilidades en la observación astronómica, en 1575 el rey Federico II de Dinamarca, con ánimo de retenerlo en su corte, le ofrece una isla completa para que ahí pueda dedicarse a sus observaciones, la isla de Hveen, más tarde llamada Uraniborg, donde Tico sería el señor feudal. En estas condiciones pasa veinte años haciendo cotidianamente observaciones, registrando movimientos y elaborando las tablas mejor realizadas hasta entonces. Sin embargo no pasa mucho tiempo para que su rigurosidad se manifieste también como

---

para funcionar. Sin embargo, no es aceptada más allá de eso en el contexto de la influencia protestante que impera en esos momentos. Es Reticus quien en realidad asume una postura distinta, y que recibe a Copérnico más allá del simple modelo de cálculo. No es sin embargo, nos comenta Westman, el tratar de enjuiciar lo sucedido en el contexto de nuestras teorías contemporáneas, sino de ver lo que el episodio tiene en común con nosotros y de ahí entender su importancia histórica. Westman, Robert S. (1975). *The Melanchthon Circle, Reticus, and the Wittenberg Interpretation of the Copernican Theory*. En revista *Isis*, Vol. 66, No. 2. Editada por The University of Chicago Press y The History of Science Society. Estados Unidos, junio de 1975, pp. 164-193

<sup>54</sup> Koestler, Arthur (1963). *Los sonámbulos: origen y desarrollo de la cosmología*. Editado por el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Publicaciones. México, 2007. Lo que se expone aquí, puede encontrarse extensamente en los capítulos V y VI.

explosión contra él en la isla. Tiene que salir de ahí con la mayor parte de las tablas hechas. En el exilio culmina con su obra y ocurrirá entonces el encuentro con Kepler, quien sustentará su obra con los datos de Tico. A la muerte de Tico, Kepler será nombrado su sucesor como Matemático Imperial en Praga.



**Figura 4.** Modelos del Universo según Kepler, conformado por la circunscripción sucesiva de 5 sólidos perfectos.

En el caso de Kepler, hay dos libros en su obra que representan puntos importantes para esta exposición, el *Astronomía Nova* y el *Harmonice Mundi*, de los cuales se desentrañan, de en medio de un enorme conglomerado de confusiones y sueños truncos, las que ahora conocemos como las tres leyes de Kepler de las que nace la cosmología moderna cuando tiempo después son explicadas por la gravitación de Newton. Arthur Koestler<sup>55</sup> reseña el arduo camino del *Astronomía Nova*, en el cual la herramienta principal de Kepler son las tablas y datos de Tico Brahe, aunque al final, el edificio construido sobre los datos de Tico se vuelve contra sí mismo, en la medida en

que es a partir de esos datos, que ocurre el desplome del círculo y el movimiento circular uniforme, que son hasta entonces los pilares de la astronomía. En la segunda ley y en la primera se obtiene como resultado que las órbitas de los planetas no son círculos, sino elipses, aunado a que son también correspondientes más o menos a un mismo plano de inclinación con respecto al sol, por ejemplo, la Tierra y Marte difieren en tan sólo 5°. Posteriormente, en el trabajo del *Hamonice Mundi* se arriba a la tercera, la cual encuentra la relación entre el periodo de los planetas y su distancia al sol. Ésta es quizá la que más se aproxima al concepto de gravedad que conocemos hoy y sin embargo no es capaz de salir a flote. La forma en que llega Kepler a tales conclusiones es quizá el punto de reflexión álgido. Existe un contraste entre el Kepler que ansía descifrar las armonías de un mundo que converge en la imagen divina que plasmó en el *Mysterium*, en donde creyó encontrar la forma en que Dios mismo había ensamblado la arquitectura del universo a través de los sólidos perfectos (ver Figura 4), y el Kepler que regresa y vuelve andar el camino recorrido porque no cuadraban ocho minutos de arco en los cálculos sobre Marte, es decir, el Kepler

<sup>55</sup> *Ibidem*.

que antepone *el comportamiento de los datos* al propósito de su obra, y somete el antiguo capricho de *la idea* ante la evidencia de *la materia*.<sup>56</sup> Esta es la discusión. Cómo una vez más la continuidad y la ruptura convergen en un punto, cómo en medio del mundo fantásticamente construido por Kepler emerge la visión de lo que para nosotros es *Ciencia*.

Antes del pasaje de los ocho minutos de arco, los datos podían ser hasta cierto punto ignorados, comenta Koestler que existía una *licencia general* para hacerlo. Pero no es precisamente el hecho en sí, sino su forma, la que es representativa de la actitud epistémica naciente en la revolución copernicana; el hecho de que el astrónomo haya tenido que deponer sus hipótesis ante los datos que la contravenían, inaugurando con ello, pero aún más con el hecho de buscar *fuerza físicas* como explicación del movimiento, en lugar de las ánimas aristotélicas, lo que comienza una tradición *mecanicista* en el plano de lo material. El camino es tortuoso para Kepler en la medida en que él mismo ni siquiera se da cuenta de lo que ha desencadenado, y por otro lado incluso lo avergüenza. En medio de ese conflicto y otros tantos de carácter personal, fue que nacieron las tres leyes de Kepler, que más tarde serían explicadas de manera más precisa por la gravitación newtoniana, pero antes de llegar a él, es necesario mencionar también a Galileo.

### Galileo y la ciencia Medieval de José Ernesto Marquina y José Luis Álvarez.

La continuidad y la ruptura. Son estos dos aspectos los que se presentan en la obra de Galileo y que deben entenderse para no omitir el carácter que vincula la ciencia medieval

---

<sup>56</sup> El modelo del universo que Kepler presenta, primero en su libro de 1596 bajo el nombre *De Admirabili Piorportione Orbium*, y después en 1621 en una edición revisada por él mismo y que llamó *Mysterium Cosmographicum*, consiste en la inscripción y circunscripción de esferas alternadas con 5 *sólidos perfectos*: el cubo, el octaedro, el dodecaedro, el icosaedro y el tetraedro (como se muestra en la Figura 4). Es muy importante tomar en cuenta que es precisamente Kepler a quien se le atribuyen las leyes de movimiento que permiten a los planetas describir trayectorias elípticas en sus obras arriba citadas de 1609 y 1619, y sin embargo, dos años después, cuando él mismo decide revisar su modelo, ¡Kepler insiste en las esferas!, Son un resultado de sus trabajos y de las observaciones de Tico y sin embargo el mismo Kepler los omite. Esto se explica a partir de la pasión que desarrolla Kepler por su propio modelo del universo en el que cree haber descubierto el mensaje mismo de Dios, que lo elevan a él a una condición, como la de los profetas mismos. De hecho es en las obras posteriores, particularmente en el *Harmonice Mundi*, donde el objetivo primordial de Kepler no es el descubrimiento de las órbitas planetarias *per se*, sino porque a través del descubrimiento de las armonías de los planetas puede entenderse la *melodía del universo*, la idea platónica de las reverberaciones cósmicas. Las tres leyes aludidas a Kepler, son resultados importantes, sí, pero secundarios desde la obra del autor. La descripción detallada de su modelo del universo, así como el lenguaje vehemente con que Kepler, argumenta desde ahí la actuación de Dios, y de su grandeza, pueden leerse directamente en el capítulo segundo del *Mysterium Cosmographicum*, en su reciente traducción al español: Kepler, Johannes (1596). El secreto del universo. Edición en español de Alianza Editorial. España, 1992.

con la revolución copernicana. Se alude casi siempre a que el Medioevo fue una época de oscurantismo y el renacimiento como la época en que la luz vuelve, sin embargo se deja de lado el cómo para que los pensadores del renacimiento lo hicieran posible, tuvieron que apoyarse en mucho en la tradición medieval. Éste es el caso de Galileo.<sup>57</sup> Así las cosas y el pensamiento, así la actitud filosófica y epistémica aristotélica que predomina en las universidades, así entonces la percepción del mundo. Esto no dista en mucho de la base sobre la que se está a punto de erigir el heliocentrismo de Copérnico y sus sucesores. Esta es la Continuidad.

Con todo, el Aristotelismo no pasó en esta época sin la crítica, por ejemplo, la de los nominalistas parisinos, en la cual se basará Galileo. Sin embargo será precisamente la actitud experimental proveniente del aristotelismo la que a su vez cimentará el camino para su desplome. Cuando Galileo construye la *Cinemática* desplaza con ello a la física aristotélica y sus insuficiencias para explicar el movimiento local, pero es el golpe final de la conjunción de esa *Cinemática* con el *apuntar el telescopio hacia los cielos* y terminar con la dicotomía de las dos esferas en donde el aristotelismo perdió por completo la batalla en el terreno de la física ante la revolución copernicana. Continuidad y ruptura. Ambos puntos hacen síntesis en Galileo, el que quizá inaugura a partir de su método experimental que llega a su cúspide en 1638 con los *Discorsi*,<sup>58</sup> y que es por tanto el personaje en el que se puede identificar ya los rasgos de aquello a lo ahora llamamos *ciencia*.

Puesto de este modo, parecería que el transcurso de la revolución copernicana fue un camino suave y sin sobresaltos, lo cual está muy lejos de ser realidad, pero las omisiones de esta exposición se deben a que nos estamos concentrando en enumerar algunos puntos para poder hablar de la agenda que alcanza su síntesis en la mecánica de Newton. Pues bien, los temas mencionados hasta aquí constituyen aún para mediados del siglo XVII un gran conglomerado alrededor del modelo copernicano, pero con finalidades dispares,

---

<sup>57</sup> Álvarez G., José Luis; Marquina F., José E. (1983). Galileo y la ciencia medieval. En Revista ContactoS, Número 9. Editada por la UAM. 1983. Los autores hacen entonces un recorrido por las concepciones cosmológicas del Medioevo, por las universidades en donde se había recuperado la tradición griega a través de los árabes, de cómo hicieron para fundar la escolástica en dos pilares, la filosofía pagana y el Catolicismo, de cómo en esta época la autoridad intelectual máxima era Aristóteles y junto a él toda su concepción del universo de las dos esferas que más tarde serviría como base para la astronomía ptolemaica y para la física en el mundo sublunar basada en la experimentación.

<sup>58</sup> Galilei, Galileo (1638). Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias. Edición en español del *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti local*. Editora Nacional. España, 1976.

resultados que apuntan a lugares tan diferentes como los de Brahe y Kepler, y en general, no habría por qué considerar que pertenecían homogéneamente a un mismo camino, sino fuera principalmente por la síntesis en que derivaron, es decir, el *Philosophiae naturalis principia mathematica* de Newton.

El método de Newton constituye una completa diferencia epistémica, desde el método en sí hasta los propósitos. Partir de las definiciones, desde lo más básico como la materia, densidad, etc. y en base a ellos proponer y demostrar propiedades y discutir la validez en ese terreno, es algo que por el grado de meticulosidad y estructura lógica no tiene precedentes. Los axiomas o leyes del movimiento de Newton del libro primero, encierran en su enunciación simple quizá una de las concepciones más completas y consistentes del Universo hasta entonces. Éstas son: “Ley primera. Todos los cuerpos perseveran en su estado de reposo o de movimiento uniforme en línea recta, salvo que se vean forzados a cambiar de estado por fuerzas impresas. [...] Ley segunda. El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se hace en la dirección de la línea recta en la que se imprime esa fuerza. [...] Ley tercera para toda acción hay siempre una reacción opuesta e igual. Las acciones recíprocas de dos cuerpos entre sí son siempre iguales y dirigidas hacia partes contrarias.”<sup>59</sup>

La apertura misma de la obra comienza con un estilo que no permite (casi) dejar cabos sueltos, las definiciones de masa, densidad, etc. logran enfocar y delimitar enormemente, por decirlo de algún modo, *aquello que se estudia* y *aquello que no*. El movimiento no entra aquí por quien la realiza o sobre qué se realiza en forma particular, sino que en tanto abstracción general, tiene un alcance casi total de los problemas de movimiento conocidos hasta entonces. Por otra parte, el concepto clave en esta construcción es el concepto de *Fuerza*, mismo que aparece ya, en primera instancia, desprovisto de causalidades externas o *hipótesis innecesarias*. La estructura de los *Principios*, además, constituyen la base de lo que en adelante es o no aceptado como estructura argumentativa en física. El lenguaje mismo de la demostración aparece claramente delimitado, no solo a través de una figura discursiva, sino primordialmente de una capacidad matemática, dada a

---

<sup>59</sup> Newton, Isaac (1687). Principios matemáticos de la filosofía natural. Alianza Editorial. España, 1987. Páginas 237-238.

partir de una delimitación suficientemente clara de aquello que se analiza.<sup>60</sup> En síntesis, en los *Principios* de Newton encontramos, tanto en el método, como en el contenido, lo que sin otra adjetivación conocemos como *ciencia*. Es impresionante cómo de los antecedentes tan extrañamente convergentes, la teoría heliocéntrica, las tres leyes de Kepler y la Cinemática de Galileo, Newton haya podido encontrar tan finamente aquellos puntos que podían explicar *la mecánica*. Sin embargo, con ello no nos referimos a que esté desprovista de un sentido ideológico, sino a que su contexto histórico es precisamente la culminación de un proceso que lo sitúa como el punto donde claramente esa configuración de pensamiento, conocimiento y discurso, alcanza, en tanto su contexto, una diferencia que permite situarla y diferenciarla de *otras formas* de conocimiento.

Por ejemplo, en el libro tercero de los Principios, Newton abre con las *reglas para filosofar*, de las que destaca la IV: “En filosofía experimental debemos recoger proposiciones verdaderas o muy aproximadas inferidas por inducción general a partir de fenómenos, prescindiendo de cualesquiera hipótesis contrarias, hasta que se produzcan otros fenómenos capaces de hacer más precisas esas suposiciones o sujetas a excepciones”<sup>61</sup> Lo que en Kepler se presentaba como conflicto, aquí aparece resuelto bajo el camino de la inducción.

Pero también, podemos observar en el escolio general los propósitos y el marco en que el mismo Newton concibe los alcances y los límites de su propia obra: “Hasta aquí hemos explicado los fenómenos de los cielos y de nuestro mar por la fuerza gravitatoria, pero no hemos asignado aun causa a esa fuerza. Es seguro que debe proceder de una causa que penetra hasta los cuerpos mismos del Sol y los planetas, sin sufrir la mas mínima disminución de su fuerza, que no opera de acuerdo con la cantidad de las superficies de las partículas sobre las que actúa [...] sino de acuerdo con la cantidad de materia solida contenida en ellas, propagándose en todas direcciones y hasta inmensas distancias y decreciendo siempre como el cuadrado inverso de las distancias [...] Pero hasta el presente no he logrado descubrir la causa de esas propiedades de gravedad a partir de los

---

<sup>60</sup> La representación matemática *no hace* a una ciencia. En el caso de la mecánica clásica, el elemento de representación matemática estriba en la concatenación que tiene ésta con la delimitación y sobre todo, con la corroboración que puede encontrarse entre teoría y experimentación, éstos sí como elementos necesarios. *El origen de las especies* de Darwin no tiene una sola ecuación matemática, y sí mucho de corroboración, nadie duda que sea ciencia. En contraste, existen también los casos contrarios, mucha matemática y nada de corroboración, en cuyo circunstancia es solo ideología elegantemente formulada.

<sup>61</sup> *Ibidem*, página 659.

fenómenos; y no finjo hipótesis. Pues todo lo no deducido a partir de los fenómenos ha de llamarse una hipótesis, y las hipótesis metafísicas o físicas, ya sean de cualidades ocultas o mecánicas, carecen de lugar en filosofía experimental.”<sup>62</sup>

Todo ese carácter *objetivo* tiene un límite, la ciencia como quehacer humano, no puede autoexcluirse de las características del metabolismo general humano.

### 3.3.3. Teorías de la historia de la ciencias

Hemos puesto como ejemplo la agenda temática de la *física clásica* por dos cuestiones, la primera es por ser una de las principales transformaciones del pensamiento humano en los últimos siglos, y la otra razón estriba en que fueron tales los cambios que surgieron paralelamente a ella que buena parte de los mitos acerca de la ciencia, giran en torno suyo. Pero sin duda hay muchas más que entre los siglos XVII al XVIII van a centrarse en una cantidad de temas a partir de teorías y corroboraciones que las situarán en el mismo nivel.

Con lo hasta aquí expuesto, por lo menos puede tenerse una idea de la falta de pulcritud ideológica de los científicos, aspecto que no tiene porque adjetivarse en algún sentido, simplemente reconocerlo como una característica que no permanece ajena al desarrollo *real* de la ciencia. Ahora bien, es momento de indicar que la diversidad de consecuencias que esta forma particular de conocimiento tiene en su aplicación para la transformación práctica del mundo resulta en una inconmensurable cantidad de nuevas capacidades prácticas. Y que tanta es la contribución científica en esa práctica transformadora, que por supuesto no puede faltar de inmediato las interpretaciones sobre su origen, desarrollo y tendencias. Señalaremos solamente aquí algunas de ellas para después centrarnos en la que nos interesa sustentar, la del materialismo histórico.

Ya en el siglo XX, con el auge de la integración de las ciencias a los procesos productivos y con repercusiones en muchos aspectos de la vida cotidiana, una de las interpretaciones más difundidas del quehacer científico y de sus orígenes, era la del

---

<sup>62</sup> *Ibidem*, página 817.

positivismo lógico. Imre Lakatos, es uno de sus exponentes más importantes y propuso para el estudio de las ciencias un marco que se puede resumir en lo que él denominó los Programas Científicos de Investigación (PCI) como formas integradas de un núcleo de supuestos básicos y un cinturón de protección en el que se agrupan hipótesis que han sido elaboradas con el fin de mantener el núcleo. Además, estos PCI se presentan como formas sucesivas, que pueden ser refutadas por aquellas que tanto integran su núcleo, pero que además explican más allá que el programa que las antecede. En este sentido tenemos una secuencia acumulativa.<sup>63</sup> En contraste a los PCI de Lakatos, están las Tradiciones de Investigación (TI) de Larry Laudan. “Una tradición de investigación es un conjunto de presuposiciones generales acerca de las entidades y procesos en un área de estudio y acerca de los métodos o técnicas apropiadas para realizar investigaciones y construir teorías en esa misma área. Laudan concibe las tradiciones de investigación, al igual que Lakatos, como un conjunto de teorías en evolución que no pueden ser evaluadas fuera de su contexto histórico.”<sup>64</sup> Es decir, que se reconoce en tanto relación acotada por circunstancias particulares y no como *una forma* que permanece invariable intertemporalmente. Esto es fundamental en la interpretación histórica, ya que si bien Lakatos puede encontrar un proceso diferente históricamente en la ciencia, respecto a su pasado, por otra parte existe de acuerdo a él, una sucesión acumulativa de teorías, esto es, si cada núcleo contiene al anterior y explica más allá, entonces hay un núcleo en constante expansión.

Sin embargo, antepone el caso de Laudan, ya que es permite la explicación de elementos que no tiene por qué corresponderse con aquella visión acumulativa de la ciencia y que aterrizan su quehacer de una manera que puede corroborarse dadas las características señaladas en el apartado anterior: “Una tradición de investigación posee dos características esenciales, una metodológica y la otra ontológica. Ambas son interdependientes y capaces de influirse una a otra. La función metodológica consiste en un grupo de reglas de lo que es permisible hacer y no hacer en el área. El desarrollo de la tradición es radicalmente dirigido por esta función, que legitima a la vez que determina la actividad de investigación científica. Para Laudan, la actividad científica es esencialmente una actividad dirigida a la resolución de problemas, de tal forma, que la función metodológica

---

<sup>63</sup> Nosik, Abraham y Elguea, Javier (1985). La discusión sobre el crecimiento del conocimiento científico en el cuento de la filosofía de la ciencia. En Revista Estudios. Filosofía, Historia y Letras. Editado por el Instituto Tecnológico de México, Número 2, primavera de 1985.

<sup>64</sup> *Ibidem*.

debe establecer cánones de legitimidad para proponer preguntas o problemas y formas de responderlas o resolverlos. [...]Por otra parte, y además de estas reglas metodológicas, las tradiciones de investigación poseen una función ontológica, que se refiere, esencialmente, a los objetos de estudio de la tradición. De la misma forma en que hay métodos legítimos e ilegítimos de estudio, hay objetos o fenómenos legítimos e ilegítimos de estudio.”<sup>65</sup> En este sentido, y precisamente estudiando a Newton desde la óptica de las TI, José E. Marquina añade que la misma no sólo se encarga de delimitar entonces lo legítimo y lo ilegítimo como objeto de estudio *científico*, sino que además también delimita e incluye propósitos desde lo que sería considerado como *no científico*, y éste es precisamente el caso de Newton, en cuya concepción no cabría una distinción entre su *alquimia* y su *filosofía natural*.<sup>66</sup>

Pero es entonces aquí, y bajo estas razones que entraría en juego una pregunta diferente, ¿quién legitima?

Además del certeramente señalado tema de la legitimidad, existe otro gran tema en la teoría de la historia de las ciencias que merece mención en la medida que es uno de los marcos generales de crítica a la respuesta que vamos a dar respecto a la legitimidad. Este marco de crítica es el referido al dos puntos de vista en conexión a qué es aquello que impulsa el cambio en el pensamiento científico; la discusión sobre externalismo o internalismo, el primero aduciendo que las causas de tal cambio no se hallan en la ciencia, sino que provenían de cuestiones que le eran ajenas, y el segundo argumentando que era el pensamiento científico su propio motor de cambio.

Mikulinsky<sup>67</sup> plantea y da contexto a esta discusión en los siguientes términos: “Alexander Koyré demostró de forma brillante que la revolución científica del siglo XVII estuvo asociada con los cambios radicales de la imagen antigua y medieval del mundo, con la destrucción de la perspectiva del universo característica de estas épocas. Más, ¿cómo puede explicarse esta misma destrucción, lo que la causó y porque ocurrió exactamente en el siglo XVII y no mucho antes? ¿Por qué la revolución científica que llevó a la formación de

---

<sup>65</sup> *Ibidem*.

<sup>66</sup> Se puede revisar más a fondo esta perspectiva en: Marquina, José E. (2003). La tradición de investigación newtoniana. Editado por la Universidad Autónoma Metropolitana. México 2003.

<sup>67</sup> Mikulinsky, S. R. (1977). La controversia Internalismo-Externalismo como falso problema. En Juan José Saldaña, compilador, (1989). Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias. Editado por la Coordinación de Humanidades de la UNAM. México 1989.

la nueva ciencia tuvo lugar en Europa solamente y por qué la ciencia, entendida desde el punto de vista moderno, no surgió en países de antiguas civilizaciones orientales (China, India) a pesar del alto nivel cultural de sus países y del hecho de que en las épocas medievales sobrepasaban considerablemente a Europa en muchas áreas del conocimiento y en su aplicación práctica? El internalismo, limitándose solamente a la esfera del pensamiento 'puro', no formula ni puede contestar estas preguntas. Por otro lado, si explican estos fenómenos mediante la 'mutación' intelectual al azar, se rechaza cualquier explicación, puesto que tal 'explicación' se puede ofrecer con respecto a cualquier nuevo acontecimiento en la ciencia y para cualquier época; por lo tanto, dicha explicación no tiene ningún valor cognoscitivo. El externalismo, en contraste con el internalismo, apareció desde el principio mismo promoviendo la explicación de la causalidad histórica del desarrollo de la ciencia. Los externalistas ubicaron en la causalidad la esencia del problema [...] Sin embargo, el externalismo adoptó la forma directa y simplificada de las tesis marxistas con respecto al papel determinante de la práctica social e histórica en el desarrollo de la sociedad y, por lo tanto, en la vida espiritual. Como resultado, el externalismo, a diferencia del punto de vista verdaderamente marxista del desarrollo de la ciencia, empleó la sociología ordinaria y el determinismo económico, ajenos al marxismo, y trató de deducir la explicación del desarrollo de la ciencia directamente de las condiciones sociales y económicas. Naturalmente, sólo condujo un sistema tosco, ya que faltaba el vínculo más importante: la interacción entre las esferas materiales y espirituales, que era sutil, compleja, de niveles mediadores múltiples y de ninguna manera directa, como el determinismo mecanicista."<sup>68</sup> Como nos podemos dar cuenta, el contexto que opera aquí es el mismo tratado anteriormente (en donde particularmente reaparece como elemento la pregunta acerca de por qué es en Europa en donde se transforma el pensamiento que deriva en la ciencia, misma pregunta que puede también formularse en torno al pensamiento moderno en general, y que puede encontrarse también entre los tecnólogos cuando se preguntan por qué es en Europa donde surge la Revolución industrial).

Por otro lado la discusión respecto a si se debe a causas internas o externas debe referirse también a problemas planteados anteriormente respecto a las conexiones e interrelaciones de los elementos de un sistema con *el todo* articulado: "Así, puesto que ni el

---

<sup>68</sup> *Ibidem.*

interrnalismo ni el ex interrnalismo pueden explicar al desarrollo de la ciencia, llamamos a la controversia externalismo-interrnalismo un problema falso [...] ambos enfoques, se caracterizan por la simplificación exagerada del problema y no se puede encontrar ninguna solución dentro del marco de esta controversia.”<sup>69</sup> Se afirma ello dado que si bien, como describimos en páginas anteriores, puede encontrarse una línea que marque una agenda temática, de discusión o epistémica en general en el surgimiento y desarrollo científico, no puede tomarse ajeno a su naturaleza de concreción de capacidades humanas, y por tanto, relacionado con el resto de manifestaciones de la acción y relación del ser humano con su entorno, visto en forma agregada socialmente.

### **3.3.3.1. Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton. Boris Hessen y la interpretación marxista de la ciencia como proceso histórico.**

En *Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton*, la obra de éste es vista por Boris Hessen desde su contexto en la técnica, las ideas, pero sobre todo, las relaciones sociales y las fuerzas productivas a la luz del nacimiento de la época de predominio burgués. Si bien la obra de Newton, no puede reducirse a estas influencias, como el mismo Hessen lo señala, tampoco puede tomarse separado de ellas.<sup>70</sup>

Es así que vincula los problemas que derivan de la aparición del capital comercial como uno de los actores predominantes de cambio y en cuyo seno se haya la burguesía ascendente que *reclama a la ciencia* la solución de problemas prácticos. Hessen parte de tres aspectos principales, las vías de comunicación, la industria minera y la militar. En cada una de ellas se encuentran problemas prácticos en esa época tales como el aumento de la capacidad de carga, la mejora de las cualidades de navegación de los barcos, medios confiables de orientación y localización en el mar, la elevación de minerales desde grandes

---

<sup>69</sup> *Íbidem.*

<sup>70</sup> “El significado de los *Principios* no se limita a su importancia para la técnica. Su propia denominación indica que se trata de un sistema, de una concepción del mundo. Por ello sería incorrecto restringir el análisis del contenido de los principios al establecimiento de la conexión interna de los mismos con la economía y la técnica de la época, que servían a las demandas de la burguesía en ascenso.” Hessen, Boris (1931). *Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton*. En Juan José Saldaña, compilador, (1989). *Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias*. Editado por la Coordinación de Humanidades de la UNAM. México 1989. 114.

profundidades hasta la superficie, la extracción de agua de las galerías mineras profundas, el paso a la producción en altos hornos y el auxilio de máquinas trituradoras, así como los principales problemas, tanto de balística interior como los materiales para hacer un arma sólida y del menor peso posible, tanto los de balística exterior referentes principalmente a la puntería (trayectoria de proyectiles). Por otro lado, en la resolución de estos problemas prácticos, en una visión *a posteriori*, Hessen señala que serían necesarios conocimientos sobre la flotación de cuerpos en un líquido al igual que sus leyes de movimiento en general, lo cual era un caso particular del movimiento de los cuerpos en un medio resistente, también implicaban conocimientos sobre los instrumentos ópticos necesarios en la observación de los cielos, y el movimiento de los astros como aspectos de la mecánica celeste, así mismo, se ven involucrados conocimientos sobre tornos y poleas como máquinas simples, conocimientos sobre hidrostática e hidrodinámica, conocimientos sobre el movimiento en caída libre de los cuerpos influenciados por la gravedad en un medio resistente como el aire, etc., Estos problemas fueron estudiados antes por una inmensa cantidad de ingenieros, matemáticos, astrónomos, pero que sin duda, por la forma en que se presentaban dichos problemas y dejando de lado aquellos que se hubieran podido demandar de otras disciplinas como la química, la síntesis de su estudio puede concentrarse en *la mecánica*.

Es importante señalar que este primer contexto no es una explicación del por qué Newton llega a los resultados que llega, sino del por qué en su contexto, son estos y no otros problemas, lo que demandan atención y son puestos sobre la mesa de una comunidad que se apresta a resolverlos.

De hecho es este mismo carácter el que impele a la necesidad de generar grupos de entre quienes se disponen a realizar *investigación experimental*, aún en situaciones que no se presentan del todo favorables como en aquel momento implicaban, por ejemplo, las universidades: “El desarrollo de las fuerzas productivas plantea a la ciencia de la época del capital comercial una serie de tareas prácticas cuya necesaria solución se reclama. La ciencia oficial, concentrada las universidades medievales no sólo no trata de resolver esas tareas, sino que se manifiesta activamente contraria al desarrollo de las ciencias naturales. Las universidades del siglo XV al XVII eran los centros científicos del feudalismo, no sólo portadores de las tradiciones feudales sino también sus activas defensoras. [...] Además de las escuelas profesionales (escuelas de agrimensores o ingenieros de minas, escuelas para

la preparación de artilleros), los centros de la nueva ciencia son las sociedades científicas extrauniversitarias. En los años 50 del siglo XVII, se fundó en Florencia la famosa *Accademia del Cimento*, que se propone el estudio de la naturaleza a través de la experimentación. [...] En 1645, surge en Londres un círculo de investigadores de la naturaleza que se reunían semanalmente para discutir cuestiones científicas y los nuevos descubrimientos. De este grupo emerge, en 1661, la Sociedad Real [*Royal Society*], que reunía a los científicos más progresistas y destacados de Inglaterra, quienes –en oposición a la escolástica universitaria– toman como divisa la expresión *Nullius in verba* (no creer en las palabras). Uno de los más notables miembros de la Sociedad Real fue Newton.”<sup>71</sup>

Para Hessen, los puntos de mayor tensión del asenso de la burguesía son la Reforma en Alemania y la Gran Guerra Campesina, la revolución de 1649-1688 en Inglaterra y la Revolución Francesa. En este contexto de asenso del capitalismo están tanto la delimitación de los problemas antes planteados como el interés por sus soluciones, pero a la vez hay un cambio sustancial que no tiene que ver sólo con el carácter político o nacional de las revoluciones burguesas: “Las revoluciones de 1648 y 1789 no fueron solamente inglesas o francesas. Fueron revoluciones de dimensión europea, representaron no únicamente la victoria de una clase determinada sobre la vieja estructura política sino que proclamaron la organización política de la nueva sociedad europea”.<sup>72</sup> Junto con la organización de la sociedad, vino también, esa *imagen del mundo moderno* de la que hablamos antes. En ella, también las confrontaciones entre las diversas corrientes del materialismo y el sensualismo idealista habrían de darse.

Es en esta dinámica el cambio, ruptura y continuidad juegan un papel importante, ya que en lo que la ciencia moderna respecta, sus bases fueron necesariamente las de la tradición medieval, sin que este antecedente tenga por qué determinar por completo su nueva configuración epistémica. El mismo Newton es aún considerado el último de los grandes alquimistas; Jeova Sanctus Unus (un anagrama de su nombre latinizado *Isaacus Neuutonus*), es el nombre con el que firma sus escritos de alquimia al que le dedico, en la obra en la que se tiene registro, la mitad de los esfuerzos de su vida y que sin embargo, él mismo no haría diferencia entre alquimia y filosofía natural, el esolío general a los *Principios*,

---

<sup>71</sup> *Ibidem*, páginas 96-100.

<sup>72</sup> *Ibidem*, página 109.

que hemos citado anteriormente, apunta en la dirección del propósito de la obra de Newton concebida por sí mismo no como un intento, en última instancia, de conocer el *mundo objetivo*, sino como una conciliación de *lo natural* con *lo divino*, argumentación que por lo demás, en su método y consecuencias, es uno de los logros del intelecto humano más gigantescos que se haya producido en todo el transcurso de la Historia.

Regresando a Hessen, la manera de contextualizar el estudio de la mecánica de Newton le sirve para dar un paso más, y caracterizar, por un lado la razón de que la termodinámica, otro de los grandes pilares de la física actual, no aparezca en Newton, y por el otro, cómo ante el progresivo desarrollo de las fuerzas productivas, el estudio y necesidad de extensión de la máquina de vapor en la sociedad industrial naciente, impulsan a señalar sus problemas como una nueva agenda. “Las principales inversiones en industria textil se realizaron el periodo entre 1735 y 1780 y, por ello de inmediato hubo demanda de este motor [la máquina de vapor de Watt]. En su patente de 1784, Watt describe la máquina de vapor como un motor universal para la gran industria. La racionalización técnica de la máquina de vapor se convierte en el problema central. La realización de esta tarea en la práctica, hizo imprescindible el estudio detallado de los procesos físicos que tienen lugar en la máquina. A diferencia de Newcomen, Watt se dedicó, en el laboratorio de la Universidad de Glasgow, al estudio minucioso de las propiedades termodinámicas del vapor y, de esta manera, sentó las bases de la termodinámica como parte de la física [...] Pero la historia de la máquina de vapor nos es importante también en otro contexto. La sucesión histórica del estudio de diferentes formas del movimiento físico de la materia es la que sigue: mecánica, calor, electricidad. Hemos visto que el desarrollo del capitalismo industrial colocó, ante la técnica, la demanda de crear un motor universal. Esta demanda alcanzó una realización preliminar en la máquina de vapor, que no conoce competidores hasta la intervención del motor eléctrico. El problema relacionado con la teoría del rendimiento de las máquinas de vapor llevó al desarrollo de la termodinámica, es decir, al estilo de la forma térmica de movimiento. Esto por lo tanto, explica la sucesión histórica del estudio de las formas de movimiento: tras la mecánica, se desarrolla el estudio de la forma térmica de movimiento, la termodinámica”<sup>73</sup>

Esto es, desde la interpretación de las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton, hay una clara alusión, no al propio estilo o motivación de Newton para realizar los

---

<sup>73</sup> *Ibidem*, páginas 131-133.

Principios, sino el por qué, desde su contexto histórico, son esos y no otros problemas en los que hay concentrados esfuerzos para su solución. En tanto configuración del conocimiento humano, la ciencia se atiene al carácter social de la generación de ese conocimiento, que en ninguna época, se encuentra aislado del metabolismo social de la humanidad, es decir del proceso de trabajo. Y específicamente, cuando ese proceso de trabajo adquiere la configuración hegemónica de servir como proceso de valorización, ese contexto en donde gran cantidad de trabajo humano está dirigido a los problemas y retos técnicos de la producción y comercialización del naciente mercado mundial –mismo que mencionamos también en el capítulo anterior en el contexto de la conexión entre revolución industrial y revoluciones burguesas–, es entonces que puede también encuadrarse el direccionamiento de la generación de este conocimiento potenciado hacia los *objetos y problemas* que socialmente están concentrando el trabajo en todas sus formas, no solo el *trabajo simple*, sino también *el complejo*. La correspondencia entre la sucesión de problemas planteados para la mecánica clásica en un momento y para la termodinámica al siguiente, es una clara muestra de la relación entre desarrollo de las fuerzas productivas y conocimiento científico.

Si bien en Marx se encuentra más la consecución de condiciones materiales transformadas en este contexto y la ciencia aparece aún bajo una discusión epistémica,<sup>74</sup> la receta explosiva que va a generar la unión entre ciencia y técnica para la gran industria, está claramente señalada desde los escritos de 1844: “Las *ciencias naturales* han desarrollado una actividad enorme, se han apropiado de un material continuamente creciente. La filosofía, sin embargo, ha permanecido tan extraña para ellas como ellas para la filosofía. La momentánea unión fue sólo una *fantástica ilusión*. La voluntad existía, pero faltaba la capacidad. La misma historiografía sólo de pasada se ocupa de las ciencias naturales en cuanto factor de ilustración, de utilidad, de grandes descubrimientos particulares. Pero cuanto más *prácticamente* han intervenido las ciencias naturales, por medio de la industria, en la vida humana, y han transformado a esta y preparado la emancipación humana, tanto más debieron consumir inmediatamente la deshumanización. La *industria* es la relación

---

<sup>74</sup> “La sensibilidad (véase Feuerbach) debe ser la base de toda ciencia. Sólo que, si la ciencia parte de ella, en la doble forma de la conciencia sensorial y de la necesidad sensorial –es decir, si la ciencia parte de la naturaleza– es ciencia *real*. La Historia toda es la historia de preparación y desarrollo del proceso por el cual el «hombre» se convierte en objeto de la conciencia sensorial y de la necesidad del «hombre en cuanto hombre» se convierte en necesidad.” Marx, Karl (1844). Manuscritos Económico-Filosóficos de 1844. Traducción de Miguel Vedda. Editorial Colihue. Argentina, 2004. Páginas 151-152

histórica *real* de la naturaleza y, por ende, de las ciencias naturales, con el hombre; si es concebida, pues, como revelación *exotérica* de las *capacidades esenciales* del hombre, se comprende también la esencia *humana* de la naturaleza o la esencia *natural* del hombre; por ello, las ciencias naturales pierden su orientación abstractamente material, o, antes bien, idealista, y la base de las ciencias humanas se convierte – como ha llegado a serlo ya ahora, aunque en una forma alienada– en base de la vida realmente humana; y la existencia de una *base* para la vida, *otra* para la *ciencia*, es de antemano una mentira. La naturaleza que deviene en la historia humana –en el acto de constitutivo de la sociedad humana– es la naturaleza *real* del hombre; por ello la naturaleza, tal como se constituye a través de la industria, aunque también en una forma *alienada*, es la verdadera naturaleza *antropológica*.<sup>75</sup>

Puesto en términos de la línea argumental de este texto, ciencia e industria se juntan en tanto el campo que los une es la materialización de capacidades humanas, pero en tanto esas mismas capacidades median el metabolismo socialmente humano, esto es, la relación con su naturaleza externa, salta en esa concreción de capacidades la forma particular de la relación humanidad-naturaleza. Pero no sólo, ya que esa relación a la que llamamos genéricamente proceso de trabajo y que como hemos apuntado ya en el capítulo anterior, media diferentes características históricas en su realización, cada uno de los elementos señalados, ciencia, tecnología, industria, humanidad-naturaleza, etc, para ser examinados deben también ser puestos en relación con aquellas determinaciones: el desarrollo de las fuerzas productivas, las relaciones sociales de producción y las formas históricas determinadas del periodo de asenso del modo de producción capitalista; las revoluciones burguesas, el nacimiento de los estados-nación, los procesos de acumulación originaria y el transcurso de desarrollo de la acumulación capitalista, en los que particularmente, también se encuentra la acción del Estado.

Finalmente, dejamos indicado también que la relación ciencia-industria ocurre bajo un panorama de consecuencia elemental, que las transformaciones tanto del potencial transformador, como de la acción ya puesta en movimiento de la aplicación de conocimiento científico a la industria, transforma también la disposición y organización de la producción, al igual que ocurrió con los ejércitos: “Con la invención de un nuevo instrumento de guerra, el

---

<sup>75</sup> *Ibidem*, página 151.

arma de fuego, hubo de cambiar forzosamente toda la organización interna de los ejércitos. Cambiaron las relaciones dentro de las cuales formaban los individuos un ejército y podían actuar como tal, y cambió también la relación entre los distintos ejércitos.”<sup>76</sup> Valga la analogía para la industria, con la invención de un nuevo *motor universal*, la burguesía pudo poner bajo su control a una mayor cantidad de trabajo, como hemos dicho, tanto simple, como complejo.

### 3.3.4. La relación entre ciencia y productivismo.

En los años cincuenta del siglo pasado, John D Bernal expresaba la relación existente entre la ciencia y las necesidades de incremento en los ritmos de producción con estas palabras: “la conquista de la velocidad ha sido estimulada por la ciencia y la tecnología, ya que la mayor rapidez implica la necesidad de tener una comprensión más profunda de los procesos y de los materiales, con lo cual se eleva el nivel de las especificaciones y la mano de obra. La velocidad es únicamente un factor que impulsa a la industria mecánica en esa dirección. Por otra parte las condiciones económicas presionan poderosamente para que descendan los costos de producción. No sólo es necesario elaborar mercancías cada vez mejores, sino también con mayor rapidez y empleando el menor número posible de obreros. Los altos salarios conquistados por la presión tenaz de los sindicatos, fomentan esa tendencia a la reducción de personal. Todo esto constituye un apremio para la inventiva y la investigación científicas, a la vez que ofrece un amplio campo para su desarrollo.”<sup>77</sup> Sin lugar a dudas, la relación entre ciencia e industria fue marcadamente clara en el siglo XX. Hacia el inicio de nuestra exposición señalamos que en forma consciente o involuntaria, la ciencia también había alcanzado un grado de subordinación a una dinámica general de la producción industrial. El estudio citado de Bernal está encaminado, entre otras cosas, a poner este rasgo en primer plano. En la sección sexta de *la ciencia en nuestro tiempo*, por ejemplo, se encarga de las transformaciones ocurridas hacia finales del siglo XIX y principios del XX que contribuyen a la configuración de los papeles que a partir de entonces juegan las ciencias físicas y biológicas en la medida en que dan fundamento a buena parte de importantes industrias estratégicas y que se desarrollan en el marco de la física nuclear, la

---

<sup>76</sup> Marx, Karl (1849). Trabajo asalariado y capital. Editorial Progreso. Moscú, Rusia, 1977. Página 163.

<sup>77</sup> Bernal, John D. (1954). La ciencia en nuestro tiempo. Cuarta edición en español. Edición conjunta de la UNAM y Editorial Nueva Imagen. México 1981. Página 94.

física del estado sólido, la bioquímica, la microbiología, etc.<sup>78</sup>

Además señalamos en el título de este párrafo su relación con el productivismo en general, ya que sería un error pensar que sólo en el capitalismo hubo indicaciones desde la clase dominante hacia qué debía estudiarse y qué no, en ocasiones incluso, se indicaba hasta la forma misma en que debía ser enfocado teóricamente. Respecto a la influencia del Estado en la ciencia, sea en el régimen soviético como en el estadounidense, Hobsbawm refiere, en el capítulo “*Brujos y aprendices. Las ciencias naturales*” de su libro *Historia del siglo XX*, la forma en que el crecimiento tanto del número de científicos como la extensión de sus actividades financiadas por el Estado, obedecen a una dinámica de competencia, que en el marco de la primera mitad del siglo se ve fuertemente impulsada por la primera y segunda guerra mundial, pero que una vez terminada esta, no fueron pocas las veces en que los científicos tuvieron que verse inmersos en la dinámica de la Guerra Fría hasta para aceptar o rechazar teorías de acuerdo a si eran o no políticamente correctas.<sup>79</sup>

Fue en ese marco de hechos en el que, hacia mediados de los años sesenta en el contexto de la segunda postguerra y la guerra fría: “Los científicos que comenzaron por sentir que ‘su’ ciencia había sido ‘traicionada’ en la campaña de expoliación de Vietnam, o que su ‘su’ comunidad científica era un mito hueco, empezaron a hacer preguntas tales como: ¿de quién es la ciencia?, ¿quién la paga?, ¿quién la decide?, ¿quién se beneficia con ella?. Debido a que el sistema de producción de la ciencia requiere de la interacción de los trabajadores de nivel internacional, a través de revistas, conferencias, centros de investigación, etc., las preocupaciones y los cuestionamientos que se sintieron en una sección del sistema se extendieron rápidamente y fueron asumidos en otros lugares.”<sup>80</sup> Así se dio lugar a publicaciones tales como la *Radical Science Review*, *Science for people*, y otras publicaciones también realizadas por científicos que criticaban el carácter de clase que había adquirido la ciencia, pero que sólo en contextos tan adversos, dejaron sentir las contradicciones que trae consigo el insertarse en dinámicas de Estado, con lo que el carácter objetivo, ahistórico, y de pulcritud ideológica y del *telos* mismo de la ciencia, se veía reducido

<sup>78</sup> Bernal, op. cit., sección sexta del libro segundo. La obra original fue traducida y editada en dos tomos, el primero se llama *la ciencia en la historia*, y el segundo, que es el que hemos citado aquí, *la ciencia en nuestro tiempo*.

<sup>79</sup> Hobsbawm, Eric J. (1992). *Historia del siglo XX: 1914-1991*. Editorial Crítica. España, 2000. Capítulo XVIII “Brujos y aprendices. Las ciencias naturales”.

<sup>80</sup> Rose, Hilary y Rose, Steven (1976). *Economía política de la ciencia*. Traducción de Federico Sánchez Ventura. Editorial Nueva Imagen. México, 1979. Página 15.

a una *comunidad científica* al servicio de la tercera guerra mundial.

Desde nuestro punto de vista, esta dinámica de subordinación no termina tampoco cuando acaba la guerra fría, sino que fue esa proclamación del capitalismo como triunfador, lo que entre otras tantas cosas sumergió en el bajo perfil las voces críticas, pero la ausencia de denuncias, no es ausencia de problemas, sobre todo cuando ahora el contexto de guerra total es más amplia que la confrontación entre lo que coloquialmente se llamó primer y segundo mundo, sino que ahora el escenario de guerra es global,<sup>81</sup> y habría que por lo menos preguntarse si la ciencia y las comunidades que legitiman el qué, y el cómo del quehacer científico actual juegan un papel y en qué sentido en la contradicción llevada al extremo, ya no sólo del capital con el trabajo, sino del capital con la naturaleza.

Esta figura nueva y aséptica del científico investigador y su laboratorio o cubículo, como bien reflexiona Robert Young, en el que la división social del trabajo se hace tan patente no deja de ser una relación social refleja, y si bien existen las honrosas excepciones, también existen los casos en los que es ahí donde se muestra una vez más la forma alienada de concebir el mundo y construir conocimiento alrededor de la misma. Y esto aplica desde la producción para el sistema capitalista como hasta los mínimos detalles que se expresan en el quehacer cotidiano en los laboratorios.<sup>82</sup>

---

<sup>81</sup> “La globalización moderna, el neoliberalismo como sistema mundial, debe entenderse como una nueva guerra de conquista de territorios. El fin de la III Guerra Mundial o "Guerra Fría" no significa que el mundo haya superado la bipolaridad y se encuentre estable bajo la hegemonía del triunfador. Al terminar esta guerra hubo, sin lugar a dudas, un vencido (el campo socialista), pero es difícil decir quién fue el vencedor. ¿Europa Occidental? ¿Estados Unidos? ¿Japón? ¿Todos ellos? El caso es que la derrota del ‘imperio del mal’ (Reagan y Thatcher dixit) significó la apertura de nuevos mercados sin nuevo dueño. Correspondía, por tanto, luchar para tomar posesión de ellos, conquistarlos. No sólo eso, el fin de la ‘Guerra Fría’ trajo consigo un nuevo marco de relaciones internacionales en el que la lucha nueva por esos nuevos mercados y territorios produjo una nueva guerra mundial, la IV. Esto obligó, como en todas las guerras, a una redefinición de los Estados Nacionales. Y más allá de la redefinición de los Estados Nacionales, el orden mundial volvió a las viejas épocas de las conquistas de América, África y Oceanía. Extraña modernidad esta que avanza hacia atrás, el atardecer del siglo XX tiene más semejanzas con sus brutales centurias antecesoras que con el plácido y racional futuro de algunas novelas de ciencia-ficción. En el mundo de la Posguerra Fría vastos territorios, riquezas y, sobre todo, fuerza de trabajo calificada, esperaban un nuevo amo... Pero uno es el puesto de dueño del mundo, y varios son los aspirantes a serlo. Y para lograrlo se desata otra guerra, pero ahora entre aquellos que se autodenominaron el ‘imperio del bien’. Si la III Guerra Mundial fue entre el capitalismo y el socialismo (liderados por los Estados Unidos y la URSS respectivamente), con escenarios alternos y diferentes grados de intensidad; la IV Guerra Mundial se realiza ahora entre los grandes centros financieros, con escenarios totales y con una intensidad aguda y constante.” Subcomandante Insurgente (SCI) Marcos, Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN) (1997). 7 piezas sueltas del rompecabezas mundial. México, junio de 1997. Disponible a través del sitio palabra zapatista, del EZLN: <http://palabra.ezln.org.mx/>

<sup>82</sup> “In some areas it is relatively easy to see that science is social relations. Once we demystify the myth that in a lab 'We are all a team working together', we can see the caste and class structure of the workbench and the tea room. We learn to notice the structures of who can tell whom what to do, who makes decisions about appointments and tenure (i.e., who has the power, however much 'consultation' may occur), whose names go on papers (and in what order), who decides the

### 3.4. La tecnología capitalista, la ciencia y la Naturaleza

La tecnología es más vieja que la ciencia, ésta segunda, como proceso histórico, lleva apenas unos siglos, pero la ciencia y la tecnología no habían tenido un grado de relación tan superpuesto como el que ahora tienen si no fuese éste un proceso largo de maduración que se inició cuando, en el desarrollo general de fuerzas productivas sociales que posibilitaron también la maduración del capitalismo, comenzó un proceso de *tecnologización* de la ciencia, a la vez que un proceso de *cientifización* de la tecnología. Esta es la idea central de la dimensión histórica del por qué causa tanta confusión y ambas se presentan de manera tan fetichizada en nuestra época.

Hay otro punto que no hemos mencionado aún explícitamente, y es el que parte de la modificación de la estructura institucional para adaptarse al nuevo quehacer científico reflejando una transformación estructural de la producción. En la apropiación y concentración paulatina del trabajo social en tareas y problemas encaminados a la valorización de capital, en forma general y agregada, ¿de dónde surge la capacidad de encaminar tales recursos para la nueva ciencia y tecnología si no es de la extracción de plusvalor social? Por supuesto que es un proceso tendencial y no homogéneo, pero el cómo se ajustan las estructuras, por ejemplo en las universidades y en comunidades especializadas, primero al servicio de las cortes y después a los gobiernos de los estados-nación en la medida en que éstos asumen el poder, es un proceso que no podemos dejar al menos de mencionar. Pero no por esta circunstancia debe adquirirse un camino fácil en la interpretación del quehacer científico. Partiendo de la circunstancia anterior, en los años setenta del siglo pasado, por ejemplo, se puede encontrar una discusión que plantea la pregunta de si la ciencia pertenece a la estructura o la superestructura, dado que de pertenecer a una u otra, los científicos podrían

---

direction and priorities of research, who gets paid how much and on what length of contract. Science perfectly reflects the existing division of labour in a class, hierarchical and authoritarian society. How many of us know (much less alter) the spread of pay at their place of work; how many have an equal say about appointments; how many take it in turns to scrub toilets or even wash glassware in a lab or empty bedpans in a hospital, much less fix the tea and make and serve meals? These may seem merely naive and utopian questions: I intend them to be both, but not merely so. We may have become aware of and begun to change aspects of the division of labour in the family as a result of the women's movement, but I think it's a rare scientist who has applied the same attitudes and critique to his or her place of work, as are by now becoming commonplace when thinking about the division of labour in the home and in industrial factory settings." Young, Robert M. (1977) Science is social relations. En *Radical Science Journal* No. 5. Inglaterra, 1977. Página 78.

ser considerados o no, como políticamente correctos.<sup>83</sup> Ante tal situación, por un lado cabría la pregunta ¿y a dónde pertenece el trabajo de Marx, por ejemplo?... En realidad esto constituye un falso debate, ya que como bien señalan Hilary y Steven Rose, “la ciencia abarca tanto la base como la superestructura; tiene un papel productivo y un papel ideológico, cuya comprensión se hace confusa por la referencia a la ‘comunidad científica’ como un todo indiferenciado. De hecho, esta ‘comunidad’ está dividida, por una parte, en la mayoría de los *trabajadores científicos* enajenados y proletarizados y, por otra, en la pequeña mayoría de los portadores elitistas de la ideología burguesa, los *hombres de ciencia*”.<sup>84</sup>

Tal controversia sobre estructura y superestructura está inmensa en realidad en el debate sobre si la concepción del materialismo histórico cae en un *determinismo tecnológico*. Sustentamos a continuación que tal controversia surge confundir, principalmente, las *fuerzas productivas* con el *desarrollo tecnológico*.

### 3.4.1. Fuerzas productivas, relaciones sociales de producción y tecnología

Ya en la introducción señalamos cómo el proceso de trabajo, de acuerdo a como Marx lo define, no es *una* relación, sino *la* relación humanidad-naturaleza y que además, dicha relación se activa en tanto interacción de las capacidades humanas como capacidades naturales, por lo que en sí mismo, humanidad-naturaleza no son mutuamente excluyentes, sino que adquieren una posición relativa en el *proceso de trabajo*. Es por esta misma razón que la naturaleza en su conjunto es, al mismo tiempo, el objeto general de trabajo, pero también constituye el primordial *medio* de trabajo (en tanto es el *locus* de la producción).

<sup>83</sup>Hilary y Steven Rose apuntan en la introducción de *Economía política de la ciencia*, recreando la forma que esta discusión había sido planteada por otros: “¿Dónde se ubica la ciencia dentro de las categorías marxistas de ‘base’ y ‘superestructura’? ¿Es la ciencia parte del proceso de producción? Éste no es una pregunta abstracta, puesto que si es puramente superestructural, entonces los hombres de ciencia, cualesquiera que sean las contradicciones dentro de su papel, no pueden ser considerados como trabajadores, sino primordialmente dentro de o asociados con la clase gobernante, ya sea colaborando al mantenimiento estructural del aparato capitalista –como en el caso de los abogados o los contadores– o como transmisores de sus valores ideológicos, como sucede con los profesores o los periodistas. Esto es, que los hombres de ciencia en general encontrarán que las contradicciones de la sociedad capitalista no los oprimen sino que sirven para proteger su posición de sus privilegios. Por su parte, si la ciencia constituye un factor del proceso de producción, los ‘científicos’ en realidad son *trabajadores* científicos que venden su labor al capitalista al igual que otros trabajadores; como otros trabajadores, se enajenan de sus creaciones, de los productos su labor: en una palabra, son proletarios y como tales forman parte de las fuerzas revolucionarias potenciales dentro de la sociedad. Por mucho tiempo este punto ha sido fuente de debate y discusión porque de él depende la cuestión de si, políticamente, los científicos han de ser considerados como amigos o como enemigos.” Rose, Hilary y Rose, Steven (1976). *Economía política de la ciencia*. Traducción de Federico Sánchez Ventura. Editorial Nueva Imagen. México, 1979. Página 20

<sup>84</sup>*Ibidem*, página 21.

Estas categorías sólo adquieren sentido en tanto *relación*, y por tanto, no son sólo particular sino históricamente determinadas. Por otro lado, los *elementos componentes* de una relación, no son definidos por *la* relación, y sin embargo, su concreción *conjunta* no puede partir solamente de sus especificidades particulares vistas cada una por aparte. En el caso del proceso de trabajo, bien podemos señalar que el trabajo *no es ni la Naturaleza ni la Historia, pero sí su matriz*.<sup>85</sup>

Quizá la controversia señalada más arriba parte de una de las premisas fundamentales del materialismo histórico en el cual, llegado a un estadio de desarrollo de las fuerzas productivas, éstas entran en contradicción con las relaciones sociales de producción y se abre un panorama propicio para la transformación del modo de producción. Además de la consabida relación entre estructura y superestructura en la medida en que, al ser todas las alusiones sobre esta relación puestas unidireccionalmente, entonces es la falsa identificación de *fuerzas productivas* con *tecnología*, el único indicio que hace suponer que en el materialismo histórico existe un determinismo tecnológico. Para dejarlo más claro, vamos al controversial extracto: “En la producción social de su existencia, los hombres establecen determinadas relaciones necesarias e independientes de su voluntad, relaciones de producción que corresponden a un determinado estadio evolutivo de sus fuerzas productivas materiales. La totalidad de esas relaciones de producción constituye la estructura económica de la sociedad, la base real sobre la que se alza un edificio [*Uberbau*] jurídico y político, y a la cual corresponden determinadas formas de conciencia social. El modo de producción de la vida material determina [*bedingen*] el proceso social, político e intelectual de la vida en general. No es la conciencia de los hombres la que determina su ser, sino, por el contrario, es su existencia social lo que determina su conciencia”<sup>86</sup> Salta a primera vista que la estructura, o base real, no son cosas, o no sólo, sino primordialmente la totalidad de relaciones de producción. Procederemos paso a paso.

La primera aclaración es que la tecnología *no* es solamente las máquinas, las incluye,

---

<sup>85</sup> “Marxism is an ontology in which persons (not men, not minds, not bodies) and labour (not subjects, not objects, not nature) are the most basic concepts, along with class, mode of production, and the historicity of concepts themselves. Its most basic definition of reality, that is, focuses on human endeavour. Labour is neither nature nor history, but their matrix” Young, Robert M. (1985) Is Nature a Labour process? En L. Levidow y Robert. M. Young, editores. Science, Technology and the Labour Process: Marxist Studies. Volumen 2. Free Association Books. Inglaterra, 1985, página. 206.

<sup>86</sup> Marx, Karl (1859). Contribución a la Crítica de la economía política. Cuarta edición en español. Traducción de Jorge Tula. Editorial Siglo XXI. México, 1990. Páginas 3-4.

pero va más allá. La tecnología es la concreción de *la forma* en la que se producen las cosas, por lo que puede adquirir la forma particular de una máquina, pero las cosas, no son por sí mismas tecnología.<sup>87</sup> La segunda aclaración consiste, de acuerdo al mismo Marx, en qué es aquello que transforma a la fuerza productiva, particularmente la del trabajo humano, en la medida en que “está determinada por múltiples circunstancias, entre otras por el nivel medio de destreza del obrero, el estadio de desarrollo en que se hallan la ciencia y sus aplicaciones tecnológicas, la coordinación social del proceso de producción, la escala y la eficacia de los medios de producción, las *condiciones naturales*.”<sup>88</sup> En esa multiplicidad de determinaciones hay tanto factores que dependen del ser humano, como incluso otras que no dependen de él, pero nuevamente, no es simplemente el agregado de cada una por separado, sino la interrelación de las múltiples determinaciones las que hacen del *desarrollo de las fuerzas productivas* algo multicausal. La tercera aclaración consiste en que, aún a pesar de ser repetitivo, la *base real* sobre la que se levanta la superestructura es *la totalidad de relaciones de producción*, incluso no una, sino todas, además de que en general, las *relaciones sociales de producción* no son cosas (ni sólo personas), sino eso, *relaciones sociales* (el *capital* mismo, como aclaramos también en el capítulo anterior, no es tampoco una cosa, sino una *relación social de producción*). Uniendo estas tres aclaraciones tenemos que, como argumenta David Harvey, “la tecnología es la forma material del proceso de trabajo, a través de la cual se expresan las fuerzas y relaciones que sirven de base a la producción”<sup>89</sup> y la identificación de las fuerzas productivas con la tecnología por un lado, y una acepción reducida de la misma por el otro, constituyen un error, tanto para la

---

<sup>87</sup> “cuando Marx habla de tecnología se refiere a la forma concreta que toma un proceso de trabajo real en un caso determinado, la forma observable en que se producen determinados valores de uso. Esta tecnología se puede describir directamente en términos de las herramientas y máquinas usadas, el diseño físico de los procesos de producción, la división técnica del trabajo, el empleo real de las fuerzas de trabajo (sus cantidades y cualidades), los niveles de cooperación, las cadenas de mando, la autoridad jerárquica y los métodos particulares de coordinación y control usados.” Harvey, David (1982). *Los límites del capitalismo y la teoría marxista*. Traducción de Mariluz Caso. Fondo de Cultura Económica. México, 1990. Páginas 106-107.

<sup>88</sup> Marx, Karl (1867). *El Capital. Crítica de la Economía Política*. Traducción de Pedro Scaron. Vigésimo séptima edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2007. Tomo I, página 49.

<sup>89</sup> “De todas las malas interpretaciones del pensamiento de Marx, quizá la más extraña es aquella que lo convierte en un determinista tecnológico. Marx no consideró el cambio tecnológico como la fuerza motora de la historia. Esta mala interpretación de su argumento se debe, en parte, a que se impusieron significados contemporáneos a las palabras de Marx, y también a que no se entendió su método de indagación. [...] Por “fuerza productiva” Marx quiere decir el poder para transformar la naturaleza. Por “relaciones sociales de producción” quiere decir la organización social y las implicaciones sociales del qué, cómo y por qué de la producción [...] la identificación de la “tecnología” con las “fuerzas productivas” es errónea y es la causa de las malas interpretaciones que se hacen de Marx las cuales lo convierten en un determinista tecnológico. La tecnología es la forma material del proceso de trabajo, a través de la cual se expresan las fuerzas y relaciones que sirven de base a la producción. Equiparar a la tecnología con las fuerzas productivas sería como equiparar el dinero, la forma de valor material, con el propio valor” *Ibidem*.

comprensión del marxismo, pero más aún para la comprensión del desarrollo tecnológico históricamente determinado. Con ello además, podemos afirmar, por lo tanto, que la *tecnología* no es *causa*, sino *consecuencia*.

Aclarado lo anterior, proseguimos hacia el punto que nos interesa llegar, al de la relación correspondiente entre el modo de producción capitalista con la ciencia, tomando a esta como una forma particular de conocimiento.

En alguna borrosa frontera de la historia humana, no necesariamente situada en el mismo plano cronológico para cada cultura, la división social del trabajo implicó el extrañamiento entre el conocimiento producido socialmente, y la concentración de parte de ese conocimiento como figura de poder. No buscamos aquel origen, sino simplemente referirnos al estado actual de tal separación, en la que por un lado están, o parecen estar, los que saben y los que no saben, como una extrapolación de la organización social entre aquellos que tienen y los que no tienen, al igual que los que mandan y los que obedecen. Pero analizado el punto desde el *proceso de trabajo*, todo conocimiento no surge sino al interior del mismo, es decir, de la relación humanidad-naturaleza, y el humano mismo antepuesto como capacidad natural.<sup>90</sup> En el tenor de la función transhistórica de los valores de uso, llanamente *la necesidad* impulsa toda atención hacia los procesos de los que se obtienen, y si *la necesidad* no fuese un inconveniente, seguramente encontraríamos formas aún más caprichosas de conocimiento que todo el universo multiforme que existe ahora en tantas culturas. Pero en tanto la atención de los *objetos de conocimiento* sigue acotada por la necesidad, la forma particular del *qué se produce y cómo se produce*, es decir, los valores de uso sociales, acota *necesariamente* todo objeto de conocimiento y su forma *específicamente* histórica, a la vez que también es alimentada por su carácter práctico. Lo anterior, en palabras de Alfred Schmidt, *bajo pena de extinción*.<sup>91</sup>

<sup>90</sup> “La necesitada naturaleza del hombre está limitado por la exterioridad material. Marx no se cansa de insistir en que los hombres, para reproducir su vida, deben mantenerse en un interrumpido proceso de intercambio con la naturaleza. Los hombres transforman las ‘formas de las sustancias naturales’ de una manera tanto más útil para ellos cuanto más exactamente conozcan estas formas. Por lo tanto para Marx el proceso del conocimiento no es un mero proceso teórico interno. Está al servicio de la vida. La idea de que el conocimiento tenga una existencia autosuficiente separada de la vida, en una palabra, cualquier concepción contemplativa de la filosofía, constituye para Marx la expresión del autoextrañamiento humano.” Schmidt, Alfred (1962). El concepto de naturaleza en Marx. Editorial Siglo XXI. México-España 1976. Página 109.

<sup>91</sup> “Bajo pena de extinción, los hombres deben familiarizarse con las ‘formas’, es decir, con las leyes del material sobre el que ellos trabajan, con la esencia de los fenómenos naturales que los rodean. Todo dominio de la naturaleza presupone

Atendiendo ahora a la *forma histórica*, el modo de producción predominante sigue siendo hoy, el modo de producción capitalista, por lo que bajo el contexto del mismo, las formas de conocimiento en tanto dimensión constitutiva del proceso de trabajo, queda inmersa bajo la tendencia de los procesos de subsunción formal y real. Por esta razón vemos cómo –al igual que el trabajo que es subsumido desde formas precapitalistas y recorre después un camino hasta ser reproducido funcionalmente tanto en forma como en contenido– las distintas concreciones del conocimiento, sea en tradiciones medievales en Europa o de otra índole ahí a donde el capitalismo llega, son subordinadas y tragadas por el capitalismo desde esas formas anteriores, para después refuncionalizarlas, modificando sus métodos y propósitos, hasta obtener una *interrelación madura*, entre esas formas de conocimiento, y la extracción de plusvalor, esto es, el camino histórico que va de la subsunción formal, a la subsunción real de la formas de *generación de conocimiento* bajo el capital. Sobra decir aquí que *la ciencia* va incluida en este proceso.

Reforzando esta *tendencia*, encontramos también la apropiación por parte del capital de las fuerzas colectivas del trabajo: “La fuerza productiva social que resulta de la cooperación es gratuita. Los trabajadores individuales o, mejor dicho, las capacidades de trabajo, se pagan, pero en términos singulares. Su cooperación, la fuerza productiva que resulta de ella, no se paga. [...] Lo que determina este intercambio es el valor de cambio de la capacidad de trabajo individual, valor que es independiente tanto de la fuerza productiva que ella adquiere dentro de una cierta combinación social como del hecho de que el tiempo durante el que ella trabaja y puede trabajar es mayor que el tiempo de trabajo requerido para su reproducción. La cooperación, esta fuerza productiva del trabajo social, se presenta como una fuerza productiva del capital, no del trabajo. Y esta transposición, dentro de la producción capitalista, acontece con todas las fuerzas productivas del trabajo social”,<sup>92</sup> incluidas también, para el caso que aquí nos ocupa, los desarrollos colectivos de la ciencia.

Esta dinámica que tiene por objetivo la valorización de capital, mantiene además un proceso que podría parecerse paradójico, porque corren al paralelo el desarrollo del

---

conocimiento de las vinculaciones y procesos naturales, así como este conocimiento, a su vez, sólo surge de la transformación práctica del mundo.” *Ibidem*.

<sup>92</sup> Marx, Karl (1863). La tecnología del capital. Subsunción formal y subsunción real del proceso de trabajo al proceso de valorización (extractos del manuscrito de 1861-1863) Selección y traducción de Bolívar Echeverría. Editorial Itaca. México, 2005. Páginas 21-22.

conocimiento científico, y particularmente aquel que arroja luz respecto a los procesos naturales, a la vez que en otra línea corre la transformación y utilización de esos procesos para convertirlos en industriales como un nuevo *medio de producción*, que el capital inserta entre objeto y el trabajo vivo. Pero una resultante reiterada de estos procesos industriales es la extorsión ambiental, misma que alcanza niveles insospechados hoy en día. Esta inmersión de los procesos de producción bajo la lógica general del sistema, mantiene dicha lógica tanto en el terreno productivo, como en su legitimación teórica. Insistimos en señalar que como *tendencia*, este no es un proceso homogéneo.

La representación teórica de los procesos productivos, es igualmente indiferente al objeto general de su trabajo, como lo es la producción misma. Si partiéramos de que realmente un estado contable mantuviera un equilibrio entre los elementos involucrados en la actividad productiva, del lado del *debo* haría falta contabilizar todo aquello que se toma gratuitamente del medio ambiente o se deposita en él, es decir, que en tal situación debieran contabilizarse los pasivos ambientales.<sup>93</sup> Y sin embargo, es esto una clara muestra de lo que las empresas no contabilizan, y en la omisión está la forma también, en que una empresa y su administración, conciben a la naturaleza, siendo precisamente las empresas, la modalidad institucional capitalista que articula la producción y que deja ver así, esa lógica que hemos mencionado anteriormente. Pero más allá de lo que pueda indicar la teoría, es más importante aún señalar lo que ocurre con ese ciclo productivo.

Joan Martínez Alier, haciendo un análisis de los flujos energéticos y de recursos que intervienen en la producción, conduce a través del mismo una crítica ecológica de la economía actual: “El análisis energético mostró que la eficiencia de la agricultura moderna es inferior a la de la agricultura tradicional. [...] Pero, en principio, podemos afirmar que el análisis energético y el económico convencional llevan algunas veces a juicios contrapuestos sobre un mismo proceso. La productividad de la agricultura no ha aumentado, sino

---

<sup>93</sup> “El término “pasivo ambiental” tiene orígenes empresariales: en el balance de ejercicio de una empresa, el pasivo es el conjunto de deudas y gravámenes que disminuyen su activo. Sin embargo, mientras las deudas financieras están minuciosamente inscritas en el balance, muchas deudas ambientales y sociales no se registran en la contabilidad de las empresas. Si estas entidades fuesen obligadas a considerar como costos al conjunto de daños que transfieren a la colectividad, probablemente los daños ambientales producidos se reducirían, porque las empresas son hábiles para minimizar los costos si tienen que pagarlos ellas mismas.” Russi, Daniela; Martínez Alier, Joan (2002). Los pasivos ambientales. En ÍCONOS. Revista de Ciencias Sociales, no. 15. FLACSO, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Quito, Ecuador. Diciembre. 2002 1390-1249. Acceso al texto completo: [http://www.flacso.org.ec/docs/i15\\_rusi.pdf](http://www.flacso.org.ec/docs/i15_rusi.pdf)

disminuido, desde el punto de vista energético esto no significa que se debe introducir un nuevo criterio de eficiencia económica, como sería el rendimiento energético de los inputs energéticos, que sustituiría al criterio usual de eficiencia económica. Es un hecho, por ejemplo, que diversos productos agrícolas tienen valores de uso, los cuales no siempre concuerdan con su contenido energético y todavía menos con su costo energético, sino con su contenido proteínico o vitamínico o con el placer obtenido al comerlos o beberlos.”<sup>94</sup>

A la luz de esta crítica podemos señalar dos cosas; la primera es que al igual que en la contradicción capital-trabajo, en la contradicción capital-naturaleza la economía industrial de nuestros tiempos mantiene ya un terreno bastante avanzado; y por el otro lado, que la terreno de acción contrasistémica en lo que a ecología se refiere, se extiende más a partir de la agudización de las contradicciones capitalistas, pero que es precisamente en los lugares del mundo en donde el proceso de trabajo guarda una configuración diferente en donde los movimientos ecologistas mantienen no sólo una lucha por el medio ambiente, sino que esta dimensión de lucha va integrada a un todo orgánico bajo diversas concepciones del cosmos, incluyendo también, por supuesto, una práctica y una lógica diferente en la relación humanidad-naturaleza.<sup>95</sup>

La relación humanidad-naturaleza se concatena entonces con la configuración histórica del proceso de trabajo, singularmente, los procesos industriales agregados y sus consecuencias reflejan una parte de la lógica y tendencias del modo de producción capitalista, misma que impone su razón y recrea sus propias formas de entender, comprender, estudiar y analizar el objeto general de trabajo. Que ahora se parta de procesos en algún sentido más complejos, en algún sentido simplemente diferentes, a los procesos por los cuales antiguamente se aproximaba el conocimiento al objeto de estudio, implica precisamente la historicidad en la selección de los mismos y el reflejo, por tanto, de un *telos*

<sup>94</sup> Martínez Alier, Joan (1991). La economía y la ecología. Fondo de Cultura Económica. México, 1991. Páginas 16-17.

<sup>95</sup> "Es frecuente encontrar en audiencias universitarias, no solo de países europeos o de Estados Unidos sino también de países latinoamericanos o la India, la siguiente reacción a la tesis aquí propuesta del 'ecologismo de los pobres': 'el ecologismo es una preocupación o un movimiento social de los países ricos. Los que ya tienen cubiertas sus necesidades en exceso, pueden entonces preocuparse y movilizarse por la calidad de vida, por la ecología. Los pobres, no. Al contrario, los pobres, debido a su demografía galopante y debido a la crisis económica que ha azotado tantos países en los años 1980, se han visto obligados a depredar el ambiente para garantizar su supervivencia inmediata. Nada más lejos de sus preocupaciones y de sus posibilidades que el ecologismo'. Contra ese punto de vista, argumento aquí que la historia está llena de movimientos ecologistas de los pobres, es decir, de conflictos sociales con contenido ecológico y cuyos actores tenían una preocupación ecológica. La palabra ecología no se refiere a los flujos estéticos de la vida sino el flujo de energía y materiales, a la diversidad biológica y al uso agroecológico del suelo, y por tanto resulta absurdo pensar que la conciencia ecológica es una novedad nacida en círculos ricos de los países ricos." *Ibid*, página 9

general que por ahora se mantiene sujeto a la valorización de capital. Es esta también quizá una de las razones que impregnan el sentido de las discusiones para que pueda concebirse a la naturaleza como la suma de *máquinas y procesos de información*; el programa reduccionista que describimos en el primer capítulo. Y no sólo como programa, sino también como aplicación, como vamos a mostrar a continuación en la biotecnología, quizá la que lleva el mayor camino recorrido de todas las tecnologías convergentes a la nanoescala.

### 3.4.2. La biotecnología y las semillas en el ciclo D-M-D'

Una de las muestras más contundentes de desenvolvimiento del modo de producción capitalista se encuentra en el proceso de subsunción real de la agricultura, cuyo nacimiento constituye en la mayor parte del mundo, uno de los grandes hitos en la historia humana. Culturas enteras construyeron durante milenios (y siguen construyendo) alrededor de ella la seminal relación con la *Madre Tierra*. La cultura babilónica, la egipcia, la Sumeria, la china, la Inca, la maya, son todas ejemplos de culturas que bajo distintas cosmovisiones y con distintas prácticas sentaron sin duda, gran parte de las bases de lo que el ser humano es, y que como característica común tienen precisamente el haber sido culturas agrícolas. Ese rico pasado forjado bajo la agricultura, y que se manifiesta hoy aunque aparentemente en una manera más imperceptible en la producción agrícola más inmensa de la historia diseminada globalmente, se tambalea bajo una ofensiva del capital que se dirige hacia sus núcleos mismos, representados materialmente en las semillas.

Nicolai Ivanovich Vavilov (un contemporáneo de Hessen<sup>96</sup>), que durante varios años

---

<sup>96</sup> En el trabajo anteriormente citado de Hobsbawm, hay un pasaje particularmente importante respecto a Vavilov: “En otras circunstancias, la polémica entre biólogos evolucionistas seguidores de Darwin (que consideraban que la herencia era genética) y los seguidores de Lamarck (que creían en la transmisión hereditaria de los caracteres adquiridos y practicados durante la vida de una criatura) se hubiera ventilado en seminarios y laboratorios. De hecho, la mayoría de los científicos la consideraban decidida en favor de Darwin aunque sólo fuese porque nunca se encontraron pruebas satisfactorias de la transmisión hereditaria de los caracteres adquiridos. Bajo Stalin un biólogo marginal, Trofim Denisovich Lysenko (1898-1976), obtuvo el apoyo de las autoridades políticas argumentando que la producción agropecuaria podía multiplicarse aplicando métodos lamarckianos, que acortaban el relativamente lento proceso ortodoxo de crecimiento y cría de plantas y animales. En aquellos días no resultaba prudente disentir de las autoridades. El académico Nikolai Ivanovich Vavilov (1885-1943), el genetista soviético de mayor prestigio murió en un de trabajo por estar en desacuerdo con Lysenko –como lo estaban el resto de genetistas soviéticos responsables–, aunque no fue hasta después de la segunda guerra mundial cuando la biología soviética decidió rechazar oficialmente la genética tal como se entendía en el resto del mundo [sic], por lo menos hasta la desaparición del dictador. El efecto que ello tuvo en la ciencia soviética fue, como era de prever, devastador” Hobsbawm, op. cit., página 526-527. El hermano menor de Nicolai, Sergei, fue el director del Instituto de Física de Moscú

estudió las relaciones geográficas entre plantas cultivadas por los seres humanos y sus antepasados silvestres llegó a la conclusión de que la agricultura había sido en realidad *descubierta* varias veces. De este modo, existían en realidad varios *centros de origen de la agricultura*; “la Media Luna Fértil en Medio Oriente, el Centro de Asia, el Sudeste de Asia, la India, Mesoamérica y Los Andes”.<sup>97</sup>

Uno de las rutas que siguen hoy las semillas transgénicas, es el devolver a los centros de origen de la agricultura, los versiones capitalistas agroindustriales de sus productos milenarios. El ejemplo más cercano que tenemos de este proceso es el caso de maíz transgénico que ha comenzado ya el proceso de sustitución de las decenas de diversidades de maíz generadas a través de los siglos y que constituyeron la base alimenticia de tantas culturas. El capitalismo avanza aquí, nuevamente bajo la lógica de destrucción/desplazamiento y reconstrucción/reordenamiento,<sup>98</sup> después de la desolación de los territorios cultivables y la expulsión de los campesinos en (y de) México, avanza ahora sobre sus territorios la diseminación de la variedad transgénica de las semillas *terminator*, con una sola lógica, la de los agronegocios *eficientes y rentables*, no sin encontrar, claro está, una resistencia frente a tal despojo: “Desde el punto de vista del mercado, lo importante es que las mercancías, los granos y las semillas, existen como valores de cambio. Y como mercancías capitalistas, lo importante es que esas mercancías le dan ganancia a uno o más patrones. Si al mejorar las semillas-mercancía se destruyen las culturas, la diversidad de las semillas o la posibilidad de consumirlas de acuerdo a una identidad específica, eso es lo de

---

mientras Boris Hessen desempeñó funciones ahí. La muerte de Hessen también ocurrió bajo el stalinismo, en 1936 fue arrestado y condenado a muerte por la policía política del régimen.

<sup>97</sup> “Vavilov, lector temprano de las obras de Darwin y Mendel sobre la evolución y la genética, al estudiar la distribución actual de las plantas cultivadas y las de sus parientes silvestres más cercanos, estableció el concepto de centro de origen de la agricultura. Si las plantas cultivadas tuviesen un solo origen geográfico, una sola región del mundo debería de albergar a los parientes silvestres ancestros de los cultivos actuales. Sin embargo, los primos silvestres más cercanos de plantas como el maíz, el jitomate o la calabaza viven en Mesoamérica, mientras que los parientes silvestres de la cebada, el trigo, el higo y la avena viven en Medio Oriente. En los lugares donde la siembra de un cultivo es más antigua, el proceso de diversificación ha tenido más tiempo para gestar más variedades de estos cultivos. Así, Vavilov concluyó que la agricultura se originó varias veces y es posible reconocer una serie de centros de origen y diversidad de las plantas cultivadas. En general, se puede hablar de seis grandes centros de origen de la agricultura: la Media Luna Fértil en Medio Oriente, el Centro de Asia, el Sudeste de Asia, la India, Mesoamérica y Los Andes” Jardón Barbolla, Lev (2010). La lucha por las semillas: el gris de la conquista y la policromía de la resistencia. En Revista Rebeldía. Año 8, número 71. México, 2010. páginas 60. Disponible en: <http://revistarebeldia.org>

<sup>98</sup> “Países enteros se convierten en departamentos de la megaempresa neoliberal. El neoliberalismo opera así la DESTRUCCIÓN / DESPOBLAMIENTO por un lado, y la RECONSTRUCCIÓN / REORDENAMIENTO por el otro, de regiones y de naciones para abrir nuevos mercados y modernizar los existentes.” Subcomandante Insurgente (SCI) Marcos, Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN) (1997). 7 piezas sueltas del rompecabezas mundial. México, junio de 1997. Disponible a través del sitio *palabra zapatista*, del EZLN: <http://palabra.ezln.org.mx/>

menos, pues el valor de cambio subordina al valor de uso. En el capitalismo, el valor de uso sólo existe porque es condición necesaria de las mercancías, pero si pudiese, el capitalismo prescindiría de él, y de hecho prescinde de todos los valores de uso que no puede controlar y para eso, destruye a quienes los generan. Nuestra lucha es, en este sentido, una lucha por los valores de uso. Pero no por valores de uso en abstracto, sino por el control de la producción de nuestros valores de uso. Sobre la mesa y desde la milpa, eso significa decidir qué sembrar, cómo sembrarlo, qué comer y cómo comerlo.”<sup>99</sup>

Desde esta óptica tenemos pues, que la semilla es inicio y fin del ciclo agrícola, y que en ella se sintetizan generaciones y generaciones de trabajo humano, saberes, e interrelaciones humanidad-naturaleza, que por supuesto, nunca han sido del mismo modo y menos aún como el sistema del trabajo asalariado se pretende legitimar.

Sin embargo, el hecho de que la semilla se reproduzca a sí misma como una característica natural es un obstáculo para el capital, cuyo triunfo sobre la agricultura va paulatinamente transformando a ésta bajo la forma mercancía, y no sólo, sino que además, echando la mirada hacia el pasado, la industrialización conjunta de los Estados-Nación modernos, se sustentó sobre la base de la intensificación de la explotación agrícola, tanto de los suelos, como de sus trabajadores, y si fijamos nuestra mirada en el presente, sigue siendo la agricultura, aquel gran cimiento sobre el que parte la alimentación y subsistencia de la humanidad entera. Por lo que este punto es especialmente estratégico en la extensión continua del modo de producción capitalista.

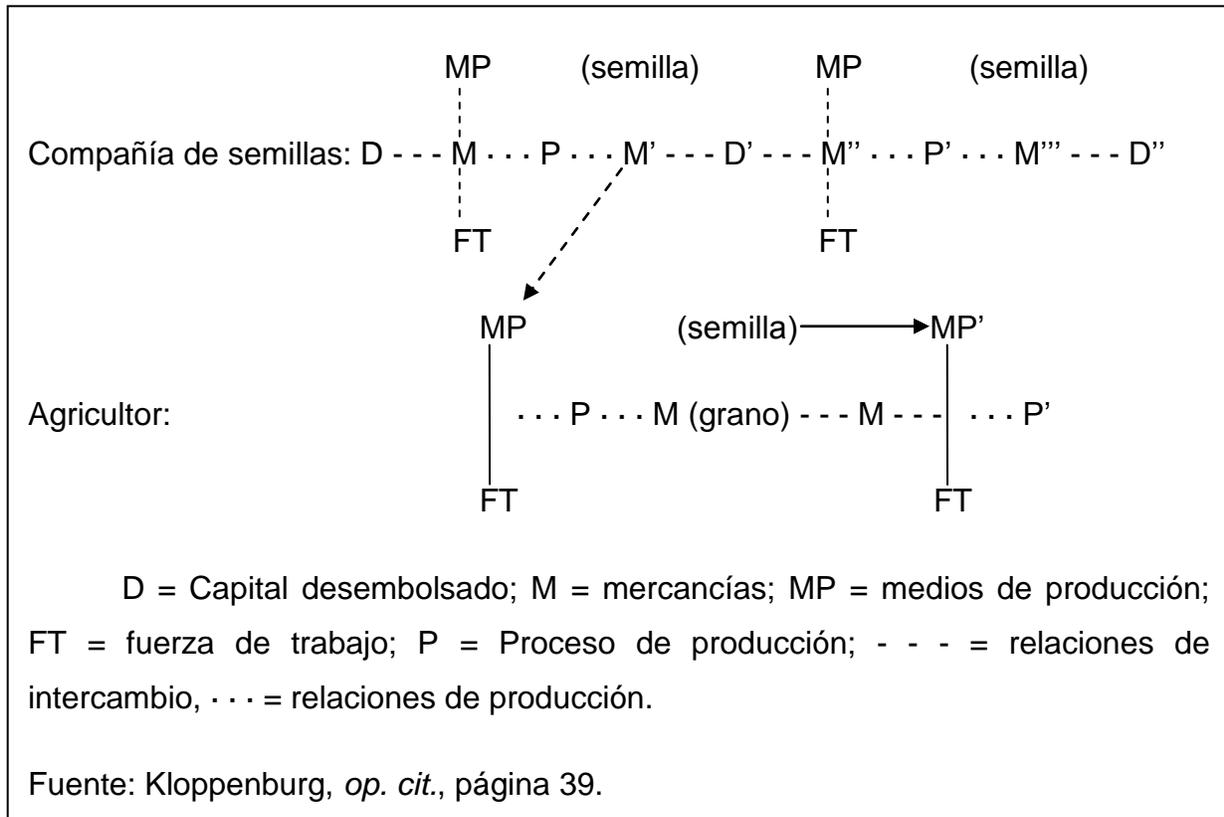
El elemento de acumulación originaria en la agricultura como proceso de separación entre fuerza de trabajo y medios de producción ocurre entonces en la semilla como elemento central de los medios de producción agrícola. La total maduración de esta separación y la consiguiente subsunción real de este proceso de producción al capital puede encontrarse en dos formas; la primera es en la separación del agricultor del proceso de reproducción de las semillas con las que lleva a cabo primordialmente su trabajo, y la segunda es aquella que se presenta en la contención que efectúan las compañías comercializadoras de semillas sobre la propiedad natural de éstas para reproducirse.<sup>100</sup> Esto es, una vez madurada la separación

---

<sup>99</sup> Jardón, op. cit., páginas 63.

<sup>100</sup> Éste es el argumento básico del trabajo de Jack Kloppenburg, en donde se sustenta que este proceso es la forma en que la acumulación de capital se presenta en la agricultura y cómo ésta contribuye a su vez al marco general de acumulación

del productor directo de sus medios de producción, aún cuando éste sea independiente o se mantuviese en el autoconsumo, si el modo de producción capitalista ha avanzado lo suficiente en la dirección antes descrita, la subordinación del proceso del agricultor a la producción de las compañías de semillas se presenta del siguiente modo (ver Figura 5).



**Figura 5.** “Semillas y los ciclos de capital”

Tenemos por un lado a la compañía de semillas cuya inversión deriva en la adquisición de Medios de Producción y Fuerza de trabajo (y el que sea un trabajador industrial común o un doctor del MIT no hace diferencia) con las cuales va a producir y valorizar su capital. Al final de su primer ciclo va a obtener una mercancía preñada de plusvalor (M'), aunque claro está que permanecerá aún bajo la forma *semilla-mercancía*. Al venderla realizará el valor de la mercancía, el cual está por encima de su valor inicial (M) con lo que podrá incrementar un nuevo ciclo a partir de D'. Por el otro lado tenemos al agricultor, quien de no tener semillas, tendrá necesariamente que adquirirlas en el mercado, por lo que

durante un largo proceso histórico que data de los últimos cinco siglos: Kloppenburg, Jack Ralph (2004). *First the seed. The political economy of plant biotechnology. 1492-2000*. Segunda edición. The University of Wisconsin Press. Estados Unidos, 2004. Puede revisarse particularmente el capítulo 2 “Science, agriculture, and social change”.

su ciclo de producción se ve sujeto a la compra con la compañía de semillas. Cabe aquí señalar, que si las semillas pierden su capacidad natural de reproducirse a sí mismas, entonces cada ciclo del agricultor está subsumido a comprarle y contribuir a un paso más de la realización del plusvalor de la compañía. Con ello tenemos, por decirlo de alguna forma, una *estrategia triangular de proletarización de los agricultores*.

Ahora bien, si eso pasa en la agricultura con, ¿Cómo repercute en el resto de procesos de trabajo cuando también se subsumen otras formas biológicas?...

El 16 de junio de 1980, la Suprema Corte de los Estados Unidos dio un fallo histórico en este sentido al resolver a favor de Ananda Chakrabarty, un empleado de General Electric, el derecho de patente sobre un microbio transgénico. Esta decisión sentó precedente y partir de ese momento, toda una oleada de patentes fue concedida sobre organismos vivos y sus procesos a empresas biotecnológicas estadounidenses, inicio del *boom* del negocio biotecnológico en los años ochenta y que se comenzaría a extender internacionalmente hacia finales del siglo pasado,<sup>101</sup> y que curiosamente, también mantuvo y sigue manteniendo un discurso sobre *los beneficios que traería para la humanidad*, cuando en realidad, uno de sus consecuencias principales, es el proceso de subsunción real antes descrito. Por otra parte, esta lógica de patentes de formas naturales tiene una doble moral, ya que se argumenta que todas las formas de vida son patrimonio de la humanidad, pero también que en tanto entran los derechos de patente, son propiedad exclusiva de las empresas.

<sup>101</sup> “En 1971, Ananda Chakrabarty, empleado de General Electric, solicitó una patente sobre un microbio transgénico que consumía petróleo. La USPTO rechazó la solicitud con el argumento de que las formas animadas de vida no eran patentables. Chakrabarty apeló y ganó el caso, pero entonces un comisionado de la Oficina de Patentes, Sydney Diamond, llevó el litigio a la Suprema Corte de Estados Unidos. El 16 de junio de 1980, por un estrecho margen de 5-4, la Suprema Corte de Estados Unidos sentenció que el microbio come-petróleo de Chakrabarty no era producto de la naturaleza, que también organismos vivos podrían considerarse invenciones humanas y por lo tanto eran materia patentable. Un irónico pie de página a la saga es que la “invención” nunca funcionó. La enorme importancia que tuvo la decisión a favor de Chakrabarty no fue percibida apropiadamente por la Corte —o por el público— en aquel tiempo. (Algunos ambientalistas estaban dispuestos a no protestar contra el patentamiento de la vida si ello significaría que los microbios podrían devorarse los derrames de petróleo). En 1980 la Suprema Corte subrayó específicamente que la decisión Chakrabarty era un caso aislado que no afectaría “el futuro de la investigación científica.”<sup>45</sup> La Corte lo entendió mal. Según el activista y abogado Andrew Kimbrell, ‘la total incapacidad de la Corte para evaluar correctamente los impactos de la decisión Chakrabarty puede pasar a la historia entre los equívocos judiciales más grandes cometidos en todos los tiempos.’ Como resultado del caso Chakrabarty, este desliz legal de otorgar propiedad intelectual sobre organismos vivos se convirtió en una avalancha de patentes y en bonanza para la industria biotecnológica. En una sola década, el gobierno de Estados Unidos reinterpreto las leyes de propiedad intelectual para permitir control monopólico exclusivo sobre todos los productos y procesos biológicos. Después de Chakrabarty, el patentamiento de genes, plantas, animales, microorganismos y material genético humano, que era impensable, se ha vuelto práctica común en Estados Unidos —lo cual da a la industria y al gobierno de Estados Unidos ventaja para sentar precedente de regímenes de propiedad intelectual en todo el mundo mediante la Organización Mundial de Comercio y los acuerdos de comercio bilaterales y regionales.” Grupo ETC (2005). Las patentes de nanotecnología: más allá de la naturaleza. Implicaciones para el sur global. Editado por ETC group, junio de 2005.

Esta marco regulatorio está sustentado pues en la mancuerna de dos reduccionismos, el reduccionismo genético molecular y el reduccionismo económico. El primero lo describimos en el capítulo primero en los antecedentes de las tecnologías convergentes, recordando aquí solamente que consistía de aquella ruta en que la *molecularización* de la biología llevó del estudio de la herencia en el ADN hasta el código genético y las técnicas de ADN recombinante que dieron origen a una concepción en la que todo podía ser reducido a una simple suma determinista de ácidos nucleicos.<sup>102</sup> El segundo, el reduccionismo económico, es el sustentado igualmente en que toda operación económica tiene por unidad básica al consumidor, su curva de ingreso gasto, etc, todo tomado de forma igualmente individual y, en la teoría microeconómica es explícito este resultado, la demanda (u oferta) de un mercado no es otra cosa que la suma de las cantidades individuales, y en el mercado un mecanismo de maximización de utilidad y ganancia permitirá encontrar el punto óptimo donde la oferta se cruza con la demanda y se determinarán los precios. Kathleen McAfee, sostiene que el enfoque de regulación en la comercialización biotecnológica está fundamentalmente sobre estos dos pilares, ambos reduccionismos, el molecular y el

---

<sup>102</sup> Después de que James Watson, coautor del modelo de la doble hélice, declarara que “los negros” no son igual de inteligentes que los “blancos” europeos *por razones genéticas*, y que por tanto debía cambiarse la lógica de los programas de ayuda económica al continente africano. Julio Muñoz responde con una excelente nota de opinión en *La Jornada*, que de paso nos sirve aquí como una magnífica síntesis de la crítica a la visión reduccionista de la ideología predominante, reproducimos a continuación unos extractos: “Una de las características de las pseudociencias que afirman que las conductas del ser humano están determinadas genéticamente es la de la comisión de al menos dos falacias. En la primera, se afirma correctamente que todos los seres humanos tenemos un código genético; luego, sin argumentar claramente por qué, se sostiene que éste constituye la esencia de los seres vivos y los humanos, para concluir que todas las características de éstos provienen directamente del código genético y, por lo tanto, todo lo que sea o parezca ser común a los seres humanos está determinado por los genes. [...] La conclusión del primer razonamiento es falaz porque del hecho de que el código genético sea común para todo ser humano y determine características, no se desprende que todas las características estén determinadas genéticamente, en particular los comportamientos y los rasgos culturales. En el segundo razonamiento, el que la selección natural y la adaptación sean mecanismos universales de la evolución biológica (lo cual ha sido puesto en duda en varias ocasiones) no implica que todas las características, como las culturales, sean producto de la evolución por selección natural. Al juntar estos dos razonamientos falaces quienes como el doctor Watson se ponen del lado del determinismo biológico, concluyen que todas las desigualdades y las injusticias sociales tienen una explicación biológica [...] Nada en el universo tiene sentido por sí solo. Aislados, los genes no hacen nada. Son las relaciones las que constituyen y producen los fenómenos, tanto de la materia inanimada como de la materia viva. Los genes son genes no en sí mismos, sino porque se relacionan con otros componentes de la célula y del organismo, pero sin que alguno de ellos tenga una prioridad ontológica sobre los demás. [...] No tiene sentido la existencia y la aparición de ácidos nucleicos sin las proteínas con las que se relacionan ni al revés. ¿Por qué se insiste en que los ácidos nucleicos son lo esencial? No está demostrado eso por ningún lado. Pero desde luego, al ignorar esto personas como Watson piensan que automáticamente se pueden conectar características como el color de la piel, con características como la inteligencia y la capacidad intelectual. ¿Dónde está la conexión? ¿De qué manera los genes que determinan una cierta cantidad de síntesis de una proteína que da color a la piel se conectan con otros que otorgan capacidades intelectuales? ¿Dónde están esos genes? Esa es la exigencia elemental que se debe hacer a quienes, como el doctor James Watson, son expertos en biología molecular. Mientras no se muestre en los hechos esa relación, esas afirmaciones racistas son meras especulaciones vulgares, aunque provengan de un destacado Premio Nobel.” Muñoz Rubio, Julio (2007). Nota “Contra James Watson”. En Periódico *La Jornada*, 27 de octubre de 2007.

económico.<sup>103</sup> Con el primero se direcciona a la conducción de firmas privadas en el control de la biotecnología y con el segundo se justifica un marco en el que los genes son comercializables. Además de estar fundamentado en una visión que no corresponde con la práctica científica contemporánea.<sup>104</sup> De esta *forma*, tenemos integrada la versión posmoderna de la producción biológica, por un lado ingresan los *inputs* de recursos genéticos y por el otro lado salen *los outputs* de organismos genéticamente modificados.

Finalmente, tenemos siempre al lado de esas formas productivas su legitimación superestructural, que en el caso de la biotecnología, resulta, por ejemplo, en un complicado discurso que puede caerse al primer asomo de crítica: “importa analizar las características de la biotecnología que el primer mundo nos quiere vender con tanta insistencia, para determinar si es posible y deseable. Esta biotecnología para el subdesarrollo tiene dos características notables: a) no tiene requisitos intelectuales, y es totalmente ‘apropiada’ a nuestra debilidad científica y tecnológica; b) es ‘buena’ y ‘poco egoísta’, adecuada para nuestras condiciones naturales y, curiosamente, desprovista de problemas de patente. Estas características contrastan con las que exhibe la biotecnología del Primer Mundo, brutalmente competitiva y basada en la creación y el dominio de las fronteras siempre en expansión de la biología molecular. [...] A nosotros se nos propone una biotecnología que puede dominarse mediante la asistencia a cursillos que nos equiparan con todo el arsenal necesario para acometer nuestro destino biotecnológico. Nuestra biotecnología no requiere patentes, ni trabas comerciales; no está contaminada por cuestiones de propiedad intelectual. Resulta evidente, pues, que hay dos biotecnologías: *la de ellos y la nuestra*”<sup>105</sup>

Con el ejemplo de la biotecnología y el ciclo de reproducción del capital pasamos a continuación a resolver el tema principal del capítulo. Un marco de referencia para encuadrar las repercusiones futuras de las tecnologías convergentes desde el *proceso de trabajo*.

<sup>103</sup> McAfee, Kathleen (2002). Neoliberalism on the molecular scale. Economic and genetic reductionism in biotechnology battles. En *Geoforum* 34 (2003), páginas 203–219.

<sup>104</sup> “What we call ‘genes’ have different functions in different contexts. The effects produced by ‘genes’ (gene expression) are the result of dynamic, continuing processes of interactions among different sites on the genome, among information from DNA and RNA and information carried by other molecules in the cell, among cells and larger-scale physiological systems and the organism as a whole, and between complexes of organisms and their geophysical environments, as well as the interactions between natural environments and their social co-determinants [...] For example, it has long been known among scientists who work with living plants outside the laboratory that animals and plants with identical genomes—twins or clones of the same plant—grow very differently, often according to no pattern yet discernable, in response to temperature fluctuations, differing elevations, or other variations in their environments” *Ibidem*, página 205.

<sup>105</sup> Goldstein, Daniel J. (1989). *Biotecnología*, Universidad y Política. Editorial Siglo XXI. México, 1989. Página 192-193.

### 3.5. Tecnologías convergentes y el proceso de trabajo

A riesgo de perder vigencia en muy poco tiempo, vamos a mostrar en cinco partes otras características del estado actual de las tecnologías convergentes para después proponer un marco simple sobre sus posibles relaciones futuras con el proceso de trabajo.

#### 3.5.1. Cinco características del estado actual de las tecnologías convergentes.

**Primera característica: *El plan*.** Si bien está siempre presenta la diferencia entre *diseño y desempeño*, es importante mantener como referente cuál es el plan y la ruta que *pretende* seguir el desarrollo nanotecnológico. Regresamos como *referencia* a nuestro caso de estudio, la NNI, con las reservas por las observaciones hechas sobre las diferencias en los objetivos de ésta y del Departamento de Defensa mostradas en este capítulo. Después de varias revisiones, en 2007 se publicó el resultado de varios talleres coordinados entre 2002 y 2004 por el subcomité de Ciencia, Ingeniería y Tecnología Nanoescalar<sup>106</sup> (NSET, por sus siglas en inglés) en el que se definían las 4 generaciones estratégicamente necesarias en la producción de tecnologías nanoescalares, cada una caracterizada por el planteamiento de un control sistémico de fenómenos y su respectivo proceso de manufactura para el lanzamiento de prototipos comerciales<sup>107</sup>. Las 4 generaciones que se proponen son las siguientes:

Primera Generación de productos (Iniciada hacia el año 2000): Función pasiva de nano estructuras, ejemplificadas por nanorecubrimientos, la dispersión de nanopartículas, nanocompuestos, y materiales a granel, metales nano estructurados, polímeros, cerámicas. A esta primera generación pertenecen la mayor parte de los productos citados en conexión a los problemas de salud de trabajadores de la nanoindustria.

Segunda Generación de productos (inicia alrededor del año 2005): función

---

<sup>106</sup> National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2004). Manufacturing at the nanoscale. Report of the National Nanotechnology Initiative Workshops 2002-2004. Estados Unidos, 2007.

<sup>107</sup> *Íbidem*, página 19.

evolucionada, productos activos. En esta generación se consideran nanoestructuras, ejemplificadas por transistores, amplificadores, drogas y sustancias químicas específicas y estructuras adaptadas. De los casos que mencionamos, la mayor parte de los productos de la medicina nanológica y de aquellos encaminados a la electrónica entran en esta categoría.

Tercera Generación de productos (inicia alrededor del año 2010): nano sistemas 3D y *sistemas de nanosistemas* usando varias técnicas de síntesis y ensamblaje, tales como bio-ensambles, robots a nano escala, sistemas evolutivos, creación de redes a nano escala y arquitecturas multi escalares. Un buen ejemplo de aquellos que entran en esta generación son los producidos por biología sintética, como el organismo autoreplicante de Craig Venter en asociación con BP y Exxon.

Cuarta Generación de productos (inicia alrededor del año 2015): nanosistemas moleculares heterogéneos, donde cada molécula en los nanosistemas tiene una estructura específica y juega un papel diferente. Esto es básicamente la manufactura molecular al estilo de la que podría ser una buena candidata a la *plaga gris* de Drexler. Las moléculas serán usadas como dispositivos y fundamentalmente nuevas funciones surgirán desde sus estructuras y arquitectura manipuladas mediante ingeniería.

De acuerdo al reporte de la NNI, esta ruta llevaría al menos 10 o 12 entre los descubrimientos básicos, hasta la aplicación nanotecnológica por lo que los inicios de este década fueron el mejor tiempo para empezar.<sup>108</sup>

**Segunda característica. Las áreas de concentración en la investigación.** Un termómetro sobre qué tanto estos planes comienzan a robustecerse en la investigación, puede encontrarse en cuáles son las áreas principales en las que se concentran los artículos publicados sobre nanotecnología. Alan Porter y Jan Youtie publicaron el año pasado un artículo llamado *¿a dónde pertenece la nanotecnología en el mapa de la ciencia?*<sup>109</sup> Uno de los resultados mostrados ahí consiste en un mapa de las áreas de investigación, número de artículos y citas interrelacionales registradas.

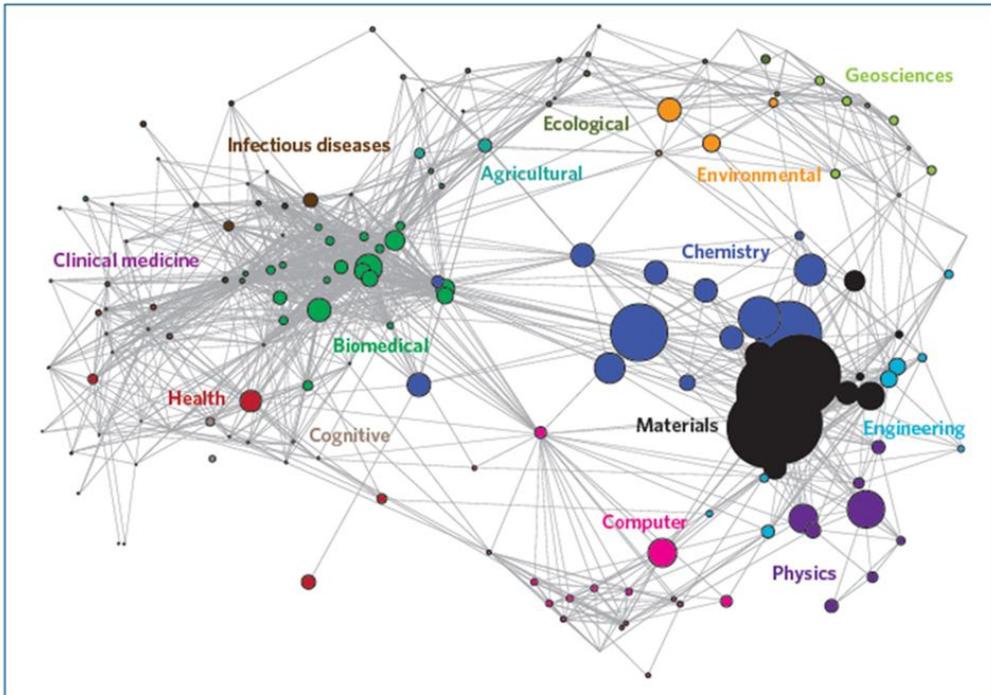
---

<sup>108</sup> *Ibidem.*

<sup>109</sup> Porter Alan L. y Youtie, Jan (2009). Where does nanotechnology belong in the map of science? En Revista Nature nanotechnology, Volumen 4, Septiembre de 2009. Páginas 534-536. Disponible en: <http://www.thevantagepoint.com/resources/articles/Porter-Youtie%20where%20does%20nano%20belong%20in%20map%20of%20science-nnano.2009.pdf>

La forma en que se genera el mapa es la siguiente. Primero realizaron una base de con los artículos del reporte de citas de artículos en revistas científicas (el *Journal Citation Report*). El algoritmo utilizado fue el llamado Kamada-Kawai. Cada punto en el mapa corresponde a cada una de las 176 categorías del reporte que contempla el periodo de enero a julio de 2008, mientras que el número de artículos de cada una está en proporción con el

tamaño de su respectivo círculo. Los colores conforman proximidades temáticas y las líneas entre puntos representan las citas interrelacionales (ver Figura 6).



**Figura 6.** A dónde pertenece la nanotecnología en el mapa de la ciencia. Fuente: Porter op. cit., página 534.

La interpretación no es directa, una gran cantidad de artículos en un

área determinada no implica tampoco una mayor cantidad de productos o patentes en la misma, etc. Ahora bien, tampoco podría saberse de manera certera, cuando un número incluso relativamente reducido de investigaciones podrían traer consigo resultados revolucionarios. Lo que sí podemos observar de aquí, es apuntar simplemente hacia aquellas áreas que más llaman la atención. Recordemos que la selección de qué objetos de estudio son investigados, implica hacia qué área se encaminan esfuerzos sociales, y eso es también una característica del *proceso de trabajo*.

**Tercer característica. Las patentes y su área de aplicación.** La OCDE clasificó las patentes nanotecnológicas de acuerdo a cinco sub-áreas como mostramos en el capítulo segundo de este trabajo. Tanto las sub-áreas en que se dividen como los ejemplos más

representativos de las patentes que contiene cada área se explican a continuación:<sup>110</sup>

**Nanomateirales.** Nanopartículas, compuestos, nanotubos y fullerenos en general, sistemas supramoleculares, películas ultradelgadas (nanoescalares), sistemas auto-ensamblaje de monocapa, almacenamiento de hidrógeno en materiales nanoestructurado.

**Nanoelectrónica.** Computación molecular y registro de ADN, computación cuántica, sistemas lógicos de *un solo electrón*, pantallas hechas en base a nanotubos, biomoléculas para el almacenamiento de información, cabezas lectoras con precisión nanométrica.

**Instrumentos.** Métodos de medición de propiedades físicas, químicas y biológicas sobre superficies con resolución nanométrica, métodos de medición de la distribución de nanopartículas y los estándares de ambos, herramientas ultraprecisas para la ingeniería nanoescalar, uso de marcas de puntos cuánticos para el análisis de material biológico.

**Nanobiotecnología.** Nanocápsulas como agentes transmisoras de terapia y tratamientos farmacéuticos, motores biomoleculares, arreglos moleculares para biocatalisis. Preparaciones radioactivas farmacéuticas o complejos anfitrión-visitado.

**Nanomagnetismo.** Magnetismo de bajas dimensiones, magnetoimpedancia, magnetoresistencia y magnetoresistencia de túnel.

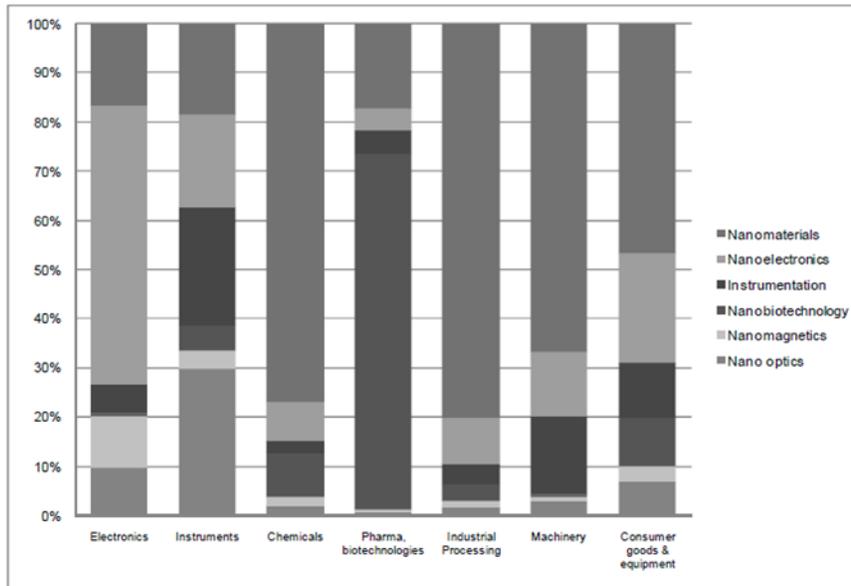
**Nano óptica.** Óptica cuántica, cristales fotónicos, estructuras de óptica cuántica, y superficies ópticas nanoescalares.

A su vez, la misma OCDE clasifica también los campos de aplicación (principales) por cada patente y las agrupa bajo las categorías de electrónica, instrumentos, químicos, fármacos biotecnológicos, Procesos industriales, maquinaria y, finalmente, bienes de consumo y equipo. Cada una de las sub-áreas de patentes atraviesa en general los 7 campos de aplicación. En el total acumulado hasta 2005, tal relación se presentaba de la forma en que mostramos a continuación en la Gráfica 1.

---

<sup>110</sup> OECD, Directorate for Science, Technology and Industry (DSTI), (2009). Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics. STI working paper 2009/7. Apendix 1.

**Gráfica 1.**  
 Porcentaje de patentes en sub-áreas nanotecnológicas por principal campo de aplicación hasta 2005.



Fuente: base de patentes de la OCDE. OCDE, 2009, op. cit., página 58.

En general, son las patentes de la sub-área de nanomateriales las que juegan un papel primordial en el porcentaje de participación en los distintos campos de aplicación siendo el mayor en cuatro de los 7, de los otros casos, de acuerdo a su categoría es desplazada por la especificación misma de los campos, siendo las patentes en nanoelectrónica las de mayor participación en el campo de la electrónica y

las de nanobiotecnología en el campo de fármacos biotecnológicos. Aquí la observación importante va en dos sentidos; el primero es la forma en que hacia mediados de la década (no hay acceso a datos más actuales) los nanomateriales –que podrían corresponderse con los elementos constitutivos de la primera generación de las descritas por la NNI de los EUA– son aún la mayoría, mostrando que aún en el terreno de los patentes, lo cual no indica completamente que tenga productos ya en el mercado, no existe un terreno que muestre la heterogeneidad suficiente para mostrar, por lo menos desde este campo, que nuevas generaciones de productos nanotecnológicos se preparan masivamente; la segunda observación consiste en que aún a pesar de que las otras sub-áreas de patentes permanecen relativamente a la baja, eso no implica que por un lado sean pocas, y por el otro que el solo hecho de que existan, aún sin la certeza suficiente sobre sus conexiones respecto a productos industrializables, nos da una referencia de que ya las hay. Esta segunda observación parece muy obvia en principio, pero lo que deseamos señalar es que incluso, el hecho de que la clasificación de la OCDE marque esas y no otras sub-áreas o la ausencia de alguna de ellas, no arroja luz sobre la importancia cualitativa y no solamente cuantitativa de las patentes nanotecnológicas. Estos es, porque en la medida en que hay

patentes en esa sub-área, hay también un trabajo social encaminado hacia la misma.

**Cuarta característica Quien patenta.** El hecho de que señalemos que en la existencia de patentes de una sub-área exista un trabajo social, no implica que dicho trabajo social se encamine al bienestar general o al mejoramiento humano, ya que la mayoría de las patentes, siguen siendo propiedad de empresas privadas. En un artículo publicado por Xin Li, Yiling Lin, Hsinchun Chen y Mihail C. Roco en 2007<sup>111</sup> sobre el total de patentes nanotecnológicas en las oficinas de patentes de Estados Unidos, Europa y Japón, podemos encontrar, que más allá de una competencia inter-nacional por la nanotecnología,<sup>112</sup> lo que ocurre es una competencia inter-capitales, y ésta se deja sentir en quiénes son los propietarios del mayor número de derechos de patente.

En el *top veinte* del número de patentes nanotecnológicas *por institución* encontramos para el caso de la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de los Estados Unidos (USPTO, por sus siglas en inglés) a empresas como IBM, Eastman Kodak Company, Minnesota Mining and Manufacturing Company, Xerox Corporation, Micron Technology, Inc., L’Oreal, Texas Instruments, Motorola, General Electric, Hewlett-Packard Development Company, entre otras.<sup>113</sup> Para el caso de la Oficina Europea de Patentes (EPO) encontramos en primer lugar a L’Oreal, seguida de IBM, Rohm & Haas, Eastman Kodak, Samsung Electronics, Matsushita Electric, Bayer, Hewlett Packard, y otras más.<sup>114</sup> Mientras que para la Oficina Japonesa de Patentes (JPO) están Nippon Electric, Japan Science & Tech. Corp. Matsushita Electric Ind Co. Ltd., Sony Corp., Canon Kk, Sharp Kk, Hitachi Ltd., IBM y otras más.<sup>115</sup> Ciertamente hay participación también de cuerpos de regentes de universidades y otras instancias gubernamentales y educativas de investigación, pero nadie puede negar que

<sup>111</sup> Li, Xin, Lin, *et ál.* (2007). “Worldwide nanotechnology development: a comparative study of USPTO, EPO, and JPO patents (1976–2004)” en *Journal of Nanoparticle Research*. 2007, 9. Páginas 977–1002.

<sup>112</sup> En otro estudio también citado en el capítulo 2 y bajo otra metodología, además de ser aplicado solamente a la base de Estados Unidos, podemos encontrar el siguiente balance en el resumen: “The number of USPTO patents originated from all countries that include nanotechnology-related keywords in 2003 is about 8600, an increase of about 50% over the last 3 years, which is significantly larger than the increase of about 4% for patents in all technology fields (USPTO, 2004). The top five countries are U.S. (5228 patents in 2004), Japan (926), Germany (684), Canada (244) and France (183). Fastest growing are the Republic of Korea (84 patents in 2003) and Netherlands (81). For the first time in 2003, four electronic companies have reached the top five institutions: IBM (198 patents), Micron Technologies (129), Advanced Micro Devices (128), Intel (90) and University of California (89).” Zan Huang, Hsinchun Chen, Zhi-Kai Chen, and Mihail C. Roco (2004). “International nanotechnology development in 2003: Country, institution, and technology field analysis based on USPTO patent database” en *Journal of Nanoparticle Research* 6. 2004. página 325.

<sup>113</sup> Li, *op. cit.*, página 988.

<sup>114</sup> *Ibidem*, página 989.

<sup>115</sup> *Ibidem*.

las empresas son la inmensa mayoría.

Si bien la inversión se reparte en aproximadamente partes iguales entre el sector público y privado, es este segundo el que finalmente tiene, como señalamos antes, tanto el mayor desempeño en investigación, como en el hecho de que concentra la mayor cantidad de ingresos provenientes de nanotecnología y, en este caso, el mayor número de patentes. ¿Por qué habría de ser que aquello que patenta IBM tenga que ser para *el mejoramiento del desempeño humano* en general? Y en tanto en diversos lugares se disputan la manera de insertarse en esta dinámica, el capital aprovecha y presenta como suyos, los logros que sólo pueden ser alcanzados bajo una enorme acumulación de esfuerzos sociales, esto es, que la cooperación, la ciencia, el ingenio del obrero social, no se presenta como una cualidad de éste, sino como una cualidad del capital, lo cual deja al descubierto la situación de subsunción real que presentan todos los elementos sociales, políticos, económicos, educativos, jurídicos, etc., involucrados al servicio de la valorización de capital.

**Quinta característica. Otra división internacional del trabajo.** Ya el transcurso del desarrollo tecnológico capitalista había implementado materialmente una división internacional del trabajo en la dinámica desarrollo-subdesarrollo, misma que adquiere distintas configuraciones además de acentuar algunas de sus tendencias (mismas que abordamos a detalle en el capítulo segundo) en la globalización.

Pero lejos de que este escenario deje de observarse entre los países desarrollados, ahí se muestra una vez más como las formas jerárquicas y hegemónicas sobre la *producción estratégica*, permaneces y en ocasiones se acentúan también entre aquellos países desarrollados. Angela Hullmann, en un reporte preparado para la Comisión Europea<sup>116</sup> resumía la vanguardia estadounidense en el terreno de patentes como mostramos en la siguiente Tabla 2. Bajo una metodología particular, agregó las patentes nanotecnológicas de la EPO en distintos campos muy parecidos a las de la OCDE, pero también aparecen algunos como el de nanodispositivos. Posteriormente realizó un conteo y tomo a los 10 países con mayor número de patentes por campo. El resultado es que aún en Europa, los Estados Unidos ocupó el primer lugar en todos ellos.

---

<sup>116</sup> Hullmann, Angela. Comisión Europea, DG Research Unit (2006) “Nano S&T - Convergent Science and Technologies” Versión del 28 de noviembre de 2006. Disponible en Internet: <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/>

**Tabla 2.**

Top 10 de patentes por países a nivel mundial en cada campo nanotecnológico.  
Número redondeado de patentes de la EPO, hasta 2003.

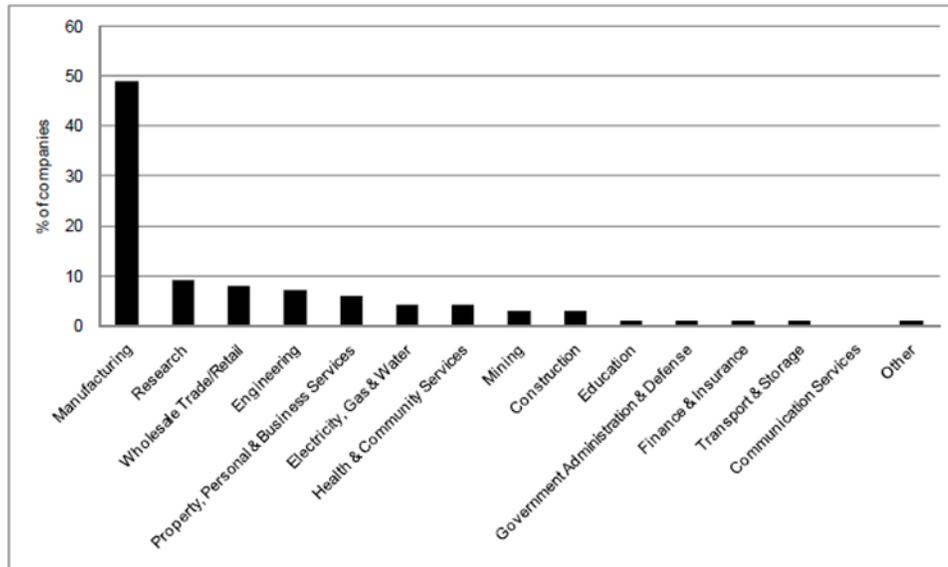
nanotechnology (y01n)				nanobiotechnology (y01n2)				nanoelectronics (y01n4)				nanomaterials (y01n6)			
Appl. Country	No.	Inv. Country	No.	Appl. Country	No.	Inv. Country	No.	Appl. Country	No.	Inv. Country	No.	Appl. Country	No.	Inv. Country	No.
USA	1136	USA	1177	USA	146	USA	188	USA	422	USA	413	USA	303	USA	345
Japan	461	Japan	600	Germany	25	Germany	27	Japan	192	Japan	258	Japan	114	Japan	146
Germany	199	Germany	200	Japan	14	Japan	17	Germany	55	Germany	60	Germany	65	Germany	61
UK	59	South Korea	73	France	11	Canada	12	Netherlands	28	South Korea	40	UK	21	UK	21
France	52	UK	68	Canada	10	UK	10	South Korea	24	Netherlands	19	France	17	South Korea	21
South Korea	48	Canada	38	Italy	8	France	9	Canada	11	Switzerland	12	South Korea	15	Taiwan	15
Netherlands	37	France	37	UK	6	Italy	9	France	10	UK	11	Belgium	8	France	14
Canada	32	Taiwan	29	India	6	India	6	UK	8	Sweden	10	Taiwan	8	Canada	9
Italy	16	Netherlands	29	Israel	3	Israel	4	Sweden	6	Taiwan	10	Canada	6	Belgium	7
Taiwan	15	Switzerland	21	South Korea	2	South Korea	4	Taiwan	5	Canada	10	China	5	Singapore	7
ranks 11-25:															
Singapore	13	Israel	19	nanodevices (y01n8)				nanooptics (y01n10)				nanomagnetics (y01n12)			
Belgium	13	Sweden	19	Appl. Country	No.	Inv. Country	No.	Appl. Country	No.	Inv. Country	No.	Appl. Country	No.	Inv. Country	No.
Switzerland	13	Italy	19	USA	103	USA	106	USA	171	USA	162	USA	214	USA	191
China	13	Singapore	17	Japan	30	Japan	35	Japan	102	Japan	120	Japan	112	Japan	166
Sweden	12	Belgium	16	Germany	21	Germany	19	UK	26	UK	25	Germany	29	Germany	27
Israel	12	Denmark	14	Switzerland	8	Switzerland	9	Germany	16	Germany	18	Netherlands	10	South Korea	7
Denmark	10	China	14	South Korea	7	South Korea	8	France	10	South Korea	9	France	6	Netherlands	5
Australia	7	Australia	10	Singapore	4	Singapore	4	South Korea	6	Canada	8	South Korea	5	France	3
African IPO	7	African IPO	7	Sweden	4	Sweden	4	Canada	6	Denmark	7	China	2	China	2
India	6	Finland	7	Israel	3	Israel	4	Israel	5	Italy	6	India	2	Finland	2
Finland	5	India	6	France	3	UK	3	Singapore	5	Singapore	6	Israel	1	Israel	2
Spain	3	Russia	5	Netherlands	2	France	3	Denmark	5	Israel	5	Brasil	1	India	1
Brasil	3	Spain	4	Spain	2	Netherlands	3					Singapore	1	Brasil	1
Austria	3	Cyprus	3	China	2									Singapore	1
Russia	3	Brasil	3											Belgium	1
Cyprus	2	Austria	3											Taiwan	1

Fuente: Hullman, *op. cit.*, página 24.

Por otra parte, en el estudio antes citado de la OCDE se muestra una clasificación de las empresas nanotecnológicas de Australia,<sup>117</sup> otro de los primeros competidores internacionales en este rubro (ver gráfica 2). En tal clasificación existe una peculiaridad, la mayor parte de las empresas se dedican a la aplicación de tecnologías, la investigación mantienen entre ellas un segunda plano de importancia. Y de dónde sino de la investigación y procesos ya existentes obtienen la tecnología para aplicar a su industria, misma que como hemos visto antes, se encuentra concentrada y bajo una dura competencia de las empresas estadounidenses.

<sup>117</sup> OECD, *op. cit.*, página 94.

**Gráfica 2.**  
Empresas australianas de nanotecnología por industria principal.



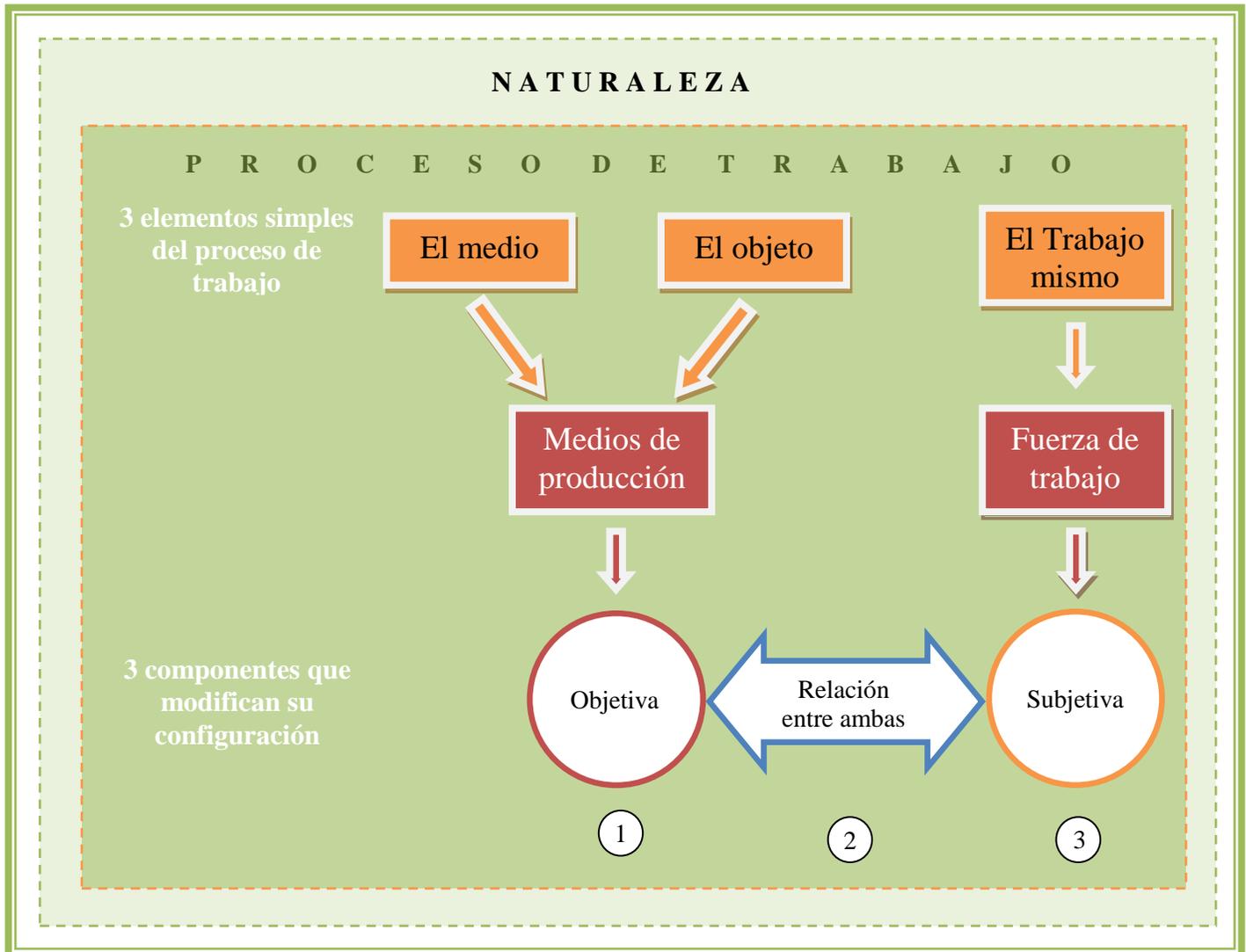
Fuente: OECD, *op. cit.*, página 94.

Esta competencia en la vanguardia, tiene lógicamente una retaguardia, aunque sea relativa. Y los resultado de esa competencia, apuntan claramente a una división internacional del trabajo.

### 3.1.1. Un marco simple de interpretación de las Tecnologías convergentes en el Proceso de Trabajo

Con todos los antecedentes puestos hasta aquí, la formulación de un marco que pueda estudiar la relación presente y el impacto de posibles desarrollos futuros, es relativamente simple, además de englobar bajo la misma óptica, la controversia respecto a si es o no una nueva *revolución tecnológica* y ésta idea a la vez debatida por la diferencia entre una revolución industrial y una tecnológica, o si constituye otro paradigma tecno-económico, etc. Nuestra forma de responder a esta pregunta, que introdujimos casi como una provocación, consiste en llevar el análisis a *otro terreno completamente*, a uno donde, por un lado, todas estas categorías y sus debates quedan acotadas bajo una sola forma, y por el otro abre un panorama más extenso en espera del estudio de formas que –ya no en términos de *desarrollo tecnológico*, sino de *desarrollo de las fuerzas productivas*– sean capaces de ir

más allá de lo nunca antes visto. Para ello nos auxiliamos de nuestro *Esquema 0*.<sup>118</sup>



**Esquema 0.** Naturaleza, Proceso de trabajo y componentes que lo configuran.

La concepción humana de la Naturaleza sólo deriva de la relación que la humanidad tenga con la Naturaleza y que dicha relación se configure de uno u otro modo no cambia en nada esta circunstancia. Por otro lado, en tanto relación, el *proceso de trabajo* (inmerso en líneas punteadas debido a la *naturaleza* de las fronteras de éste, que sólo se conciben funcionalmente y no de manera absoluta) es la base de lo que el ser humano es en tanto su vida se activa a partir de sus capacidades y necesidades. Pero anteponer *capacidades*

<sup>118</sup> Que lleva este número porque es en realidad el principio subyacente que guió toda la exposición hasta este punto, y porque no podría ser simplemente el último de esta investigación, sino el primero bajo este marco de referencia para futuros trabajos.

*naturales* a una *naturaleza externa*, no hace más que *potencialmente* a la Naturaleza, en su totalidad, el objeto general de trabajo. Claramente puede existir Naturaleza sin existencia humana, pero sin existencia humana, es ocioso pensar en *concepciones* diferentes de Naturaleza, incluso carece de sentido *pensar en pensar*. En esto reside la amplitud del concepto de *Proceso de trabajo* como totalidad *humana*. Y en la que sus elementos simples; el objeto de trabajo, el medio de trabajo y el trabajo mismo lo han de acompañar inseparablemente.

Por otra parte, las configuraciones históricas señalan hacia el contenido histórico específico de esa *naturaleza* humana y de la *humanización* natural. Dado el carácter del trabajo como relación concreta, tanto en potencia como materializada, hay 3 componentes que la configuran y por tanto, la modifican; su componente objetiva, su componente subjetiva y su componente dada por la relación entre ambas.

Al modificar cualquiera de las tres se modifica la relación total, ya que, sin pérdida de la generalidad, al modificar un extremo, se modifica por vía de la relación su contrapuesta, si se modifica la relación, por esa vía también se modifican ambos. Ejemplos históricos los constituyen el cambio en la relación fuerza de trabajo – medios de producción en la acumulación originaria de capital, que propiciaron una transformación de la componente objetiva con el *motor universal* de Watt, y que al combinarse con éste, dieron el gran salto históricamente evidente al que, en gran consenso, se le llama *Revolución Industrial*. Esto es, fue el cambio en la componente relación y no en la componente objetiva la que dio el impulso primero. Si deseamos ver un ejemplo actual de esta óptica, tenemos que en la flexibilización productiva de finales del siglo XX, si se ve por el lado de la organización de la producción, es la *componente relación* la que es modificada aquí, y si se ve por el lado de su *materialización* tecnológica en la electro-informática, es la componente objetiva la que se modifica. En cuyo caso pueden encontrarse históricamente las combinaciones de la transformación de una o dos componentes simultáneas a lo largo de estos cinco siglos precedentes.

Hasta ahora, sin embargo, la componente subjetiva, ha sido modificada sólo en tanto *rebote* de la transformación de *la componente objetiva* o *la componente relación* o por combinación de ambas, esto es, ha sido modificada como consecuencia de la transformación general del proceso de trabajo. Con las tecnologías convergentes sin embargo,

principalmente por cuando los cambios cuantitativos se convierten en cualitativos, o como hemos dicho aquí, cuando los cambios de escala se convierten en cambios de grado y de modo, se ha abierto por primera vez el panorama para transformar directamente la componente subjetiva, y no sólo, sino *las tres componentes a la vez*.

Si las tecnologías convergentes logran recorrer el camino que se propone el capital, para nombrar tal transformación, nos quedarán chicos los conceptos de revoluciones industriales. Pero falta que esto se logre o se pueda; por un lado porque el programa reduccionista consista en una apuesta arriesgada pero inlograble;<sup>119</sup> y por el otro porque quizá antes, o bien la contradicción capital trabajo modifique radicalmente nuestro panorama actual, o bien porque la contradicción valor de uso – valor, que agudiza la extorsión del capital sobre la naturaleza, plantee también otro escenario nunca antes sospechado...

Como bien dice Richard Lewontin: “En ciencia como en política, una revolución genuina no es un hecho sino un proceso”<sup>120</sup>

---

<sup>119</sup> Baste decir aquí, como ejemplo, que durante los capítulos en los que describimos el programa reduccionista en que se sustentan las tecnologías convergentes, al paso de cada ciencia que constituía el antecedente de cada tecnología, se podían encontrar los límites actuales que develaban su propia conmensurabilidad; La ciencia burguesa promete crear inteligencias artificiales ilimitadas basándose en lógicas consistentes que desde hace casi un siglo Gödel y Turing demostraron que no serían capaces incluso con los problemas más simples para la mente humana como procesar la oración “*estoy mintiendo*”; promete además que tales inteligencias pueden partir de un acoplamiento con el cerebro humano cuando aún no es demostrable siquiera el lugar donde residiría una supuesta inteligencia que, nuevamente desde el carácter burgués, se presentaría casi como un ente independiente, ni qué decir de entender por lo menos por qué aunque el cerebro puede articular y *crear* plenamente en una forma discursiva, y sin embargo actuar y concretar la conducta en una forma que *pareciera* totalmente inconsistente e incoherente; se promete también que el mapa genético y la biotecnología acabarían con una gama de problemas mismos que hasta la fecha sólo se han concretado, en una parte, en un traslado de conocimiento social sobre el genoma humano hacia las industria farmacéuticas y el capital privado, y en otra parte, en una agricultura cada vez más dependiente de su forma capitalista en la que se somete al productor agrícola a la megaempresa productora de semillas; de esta forma se han visto concretadas, con sus honrosas excepciones, las investigaciones conducentes a las tecnologías convergentes (info, cogno, bio) y ahora se promete manipular la materia átomo por átomo en la nanoescala para el mejoramiento del desempeño humano. ¿de dónde asirse históricamente para probar que tal promesa burguesa será cierta? No hay elementos serios por ningún lado.

<sup>120</sup> Lewontin, Richard (2000). El sueño del genoma humano y otras ilusiones. Traducción de Ramón Ibero Iglesias. Ediciones Paidós Ibérica. España, 2001. Página 54.

## Conclusiones

**“La lucha entre el capitalista y el asalariado principia con la relación capitalista misma, y sus convulsiones se prolongan *durante todo el período manufacturero*. Pero no es sino con la introducción de la maquinaria que el obrero combate contra el medio de trabajo mismo, contra el *modo material de existencia del capital*. Su revuelta se dirige contra esa forma determinada del *medio de producción* en cuanto fundamento material del *modo de producción capitalista* [...] Se requirió tiempo y experiencia antes que el obrero distinguiera entre la *maquinaria* y su *empleo capitalista*, aprendiendo así a transferir sus ataques, antes dirigidos contra el *mismo medio material de producción*, a la *forma social de explotación* de dicho medio.”**  
**Karl Marx. El Capital**

Hemos estudiado las *Tecnologías convergentes*, esto es, nanotecnología, biotecnología, aquellas basadas en las ciencias cognitivas, y las tecnologías de la información desde el caso particular de la inversión en las mismas en Estados Unidos, particularmente en el marco de la *National Nanotechnology Initiative (NNI)* que entró en vigor a partir del año 2001.

Aunque este trabajo parte principalmente del análisis histórico-económico, se mantuvo un enfoque desde otras disciplinas principalmente en lo que se refiere a la explicación de qué es la nanotecnología. A partir de ello mostramos que cada una de las tecnologías que convergen tienen sus respectivos antecedentes; la ciencia cognitiva para el enfoque de procesamiento de información neuronal en los procesos de aprendizaje; la ciencia de la computación para las tecnologías de la información; la biología molecular para la biotecnología; y con ello mostramos como tienden a converger en la nanoescala. Sin embargo, al exponer los puntos de las teorías que lo sustentan señalamos también su carácter reduccionista. Por otro lado mostramos desde varias fuentes el *boom* que existe a nivel mundial en la inversión en nanotecnología como un negocio y cómo esta se presenta, en una *visión pop*, como una competencia inter-*nacional* que podría traer grandes beneficios para la humanidad así como solucionar gran parte de sus problemas actuales, desde los sociales hasta los medioambientales. Pero planteado así el panorama, nos encargamos de desmenuzarlo y estudiarlo no sólo en su comportamiento actual sino en sus antecedentes

tanto inmediatos como de larga duración, mostrando lo falaz de tal visión.

Hay dos grandes marcos por los que pudo estudiarse las tecnologías convergentes en esta tesis. El primero de ellos lo constituyó la relación general entre el desarrollo tecnológico y el desarrollo económico capitalista y cómo en el marco de dicha relación, el Estado participó activamente con la burguesía. En el desarrollo tecnológico visto desde una óptica de varios siglos, puede observarse la transformación material no sólo de los procesos industriales vistos en forma aislada sino también, como procesos paralelos, la transformación del mundo que trajo consigo el surgimiento del capitalismo y la consiguiente maduración del mercado mundial hasta lo que hoy en día conocemos como globalización, en donde opera la ley general de acumulación capitalista y la ley de la baja tendencial de la tasa general de ganancia. Las características que describe el desarrollo nanotecnológico en los Estados Unidos no presenta diferencias con los rasgos del desarrollo tecnológico capitalista en general, por el contrario, acentúa la relación Estado-Capital y subordina a su lógica la actuación y trabajo de la infraestructura pública a favor de la acumulación de capital. El contexto de Estados Unidos sustentando hegemonía en la reproducción mundial de capital imprime en el desarrollo nanotecnológico en ese país una aliciente más de su carácter estratégico. Por estas razones la nanotecnología en Estados Unidos presenta continuidad respecto del proceso donde nace y sus resultados son indisolubles de los de la ley general de acumulación capitalista, además de poner en marcha, de seguir sus tendencias actuales, una nueva división internacional del trabajo que no sustituirá sino que acentuará también la existente superponiéndose a ella.

El segundo marco de estudio fue el de la relación entre ciencia y desarrollo tecnológico capitalista, mismo que fue expuesta a partir de varios casos y tendencias históricas desde el caso emblemático del nacimiento de la ciencia moderna y cuyo momento de mayor síntesis se alcanzó con la mecánica clásica de Newton. Si bien, los resultados, metodología y propósitos de aquellos que hacen ciencia no se explican solamente por sus relaciones *externas*, tampoco se pueden tomar como sucesos aislados de su contexto histórico. La *tecnología* es mucho más vieja que la *ciencia*, pero a partir del capitalismo ocurre también un proceso tanto de cientificación de la tecnología como de *tecnologización* de la ciencia. Estos procesos que se complementan son funcionales en su contexto histórico a las configuraciones particulares del proceso de trabajo. Los procesos de generación de

conocimiento práctico, en tanto son parte del trabajo humano, se ven inmersos también en la subsunción formal y posteriormente en la subsunción real del trabajo al capital, situación por la cual puede encontrarse cómo estas formas de conocimiento son incorporadas a la dinámica del modo de producción capitalista, primeramente desde formas antiguas como la alquimia, la astrología y otras tantas con reminiscencias teológicas, pero en tanto comienzan a poner en marcha las grandes transformaciones del mundo, comienza también el proceso bajo el cual, hasta el día de hoy, podemos encontrar cómo en el caso de la NNI existe una completa complementariedad entre ciencia, tecnología y capital. En donde antes había la explicación del universo como un gran proyecto funcional a la comprensión y figura de un *Dios* (como en el caso de Kepler o Newton), ahora hay necesidades apremiantes por acortar tiempos entre la investigación y su culminación aplicada a *productos comerciables*. Por otro lado, en ese transcurso, necesariamente se devela también el carácter de clase de los trabajadores científicos que al igual que el resto pueden o no estar consientes de su contexto: el trabajo enajenado.

Estos dos grandes marcos constituyen los instrumentos de estudio para la relación entre *Tecnologías convergentes* y *Proceso de trabajo* como categoría marxista. A partir de ellos y de esta última se integra el comienzo de una línea crítica de investigación de dicha relación, misma que pone entonces sobre la mesa de debate no sólo los señalamientos sobre la nocividad de las tecnologías en la salud y el medio ambiente, o la forma en que unos *países* se quedan rezagados en la competencia *inter-nacional*, sino que al poner en descubierto su carácter capitalista deja ver una dinámica que no contrapone *naciones*, sino *capitales*, y que no ve sólo la nocividad en tanto extorsión del medio ambiente, sino como contradicción capital-naturaleza, debate que sólo se encuentra en muy pocos casos de análisis sobre este tema. Pero en tanto las tecnologías convergentes son la punta de lanza del desarrollo tecnológico capitalista, muestran también la cabeza de un proceso de largo alcance, que ya no tiene que ver solamente con la *tecnología*, sino con el *desarrollo de las fuerzas productivas*, en el que la primera sólo es una concreción particular de las segundas. Y es en este contexto y bajo este estado actual que la gran conclusión de este trabajo es en realidad el comienzo de otra investigación:

De acuerdo a Marx, el proceso de trabajo tiene 3 elementos simples, el objeto de trabajo, el medio de trabajo y el trabajo mismo, que vistos desde la producción constituyen

los medios de producción como componente objetiva y la fuerza de trabajo como componente subjetiva. Ahora bien, nuestro análisis histórico nos lleva a considerar que son 3 las componentes en la configuración del proceso de trabajo, la objetiva, la subjetiva y la relación entre ambas. Al estar relacionadas así, al alterar cualquiera de las tres, entonces un cambio en una, resulta en un cambio en las 3. Hasta el momento, históricamente podemos encontrar transformaciones históricas en las que han sido modificadas *directamente* o bien la componente objetiva o bien la componente de relación entre ambas, o bien una combinación de esas dos componentes, con lo que ocurre una modificación en la componente subjetiva como *consecuencia*. A partir de este marco, que engloba por lo demás incluso las discusiones sobre los diversos calificativos y clasificaciones de las revoluciones industriales, puede entenderse por qué las tecnologías convergentes pueden resultar en cambios trascendentales; su *tendencia*, es a que por primera vez en la historia sea posible modificar *directamente* las tres componentes de configuración, logrando un nivel inusitado en el proceso de subsunción real del trabajo al capital. Si lo logra, incluso los términos de revolución industrial nos quedarán chicos para entender sus repercusiones. Pero el hecho de que sea una tendencia, no quiere decir que eso pueda lograrse, por un lado por el carácter reduccionista de la teoría que lo sustenta, y por el otro porque el capital, en tanto relación social de producción, mantiene también diversas contradicciones capaces de plantear como en tantas ocasiones, otros escenarios, otras reglas e incluso *otro(s) mundo(s)*; la contradicción valor de uso-valor y la contradicción capital-trabajo.

Este trabajo, finalmente, se ha hecho bajo el consabido riesgo de equivocarse parcial o totalmente, si por contraparte logramos conjuntar en un mismo lugar y hacemos converger el debate entre *ciencias naturales* y *ciencias sociales*, tan distanciados y segmentados como el obrero colectivo mismo, con esa sola conjunción esperamos que esta tesis sea útil para aquellos que tanto están involucrados en el desarrollo científico y tecnológico como para aquellos que investigan sus repercusiones; sólo con haber logrado ello habrá valido la pena. Por otro lado, puede también que para cerrar este trabajo advirtamos al lector que, como bien dijo André Breton, *el mundo y lo que de él se escribe son dos cosas diferentes*. Compruébelo usted mism@.

### **COROLARIO: el contrapoder tecnológico.**

Cuando Marx estudió la maquinaria y gran industria, anotó entre sus notas al pie de página: “Una *historia crítica de la tecnología* demostraría en qué escasa medida cualquier invento del siglo XVIII se debe a un solo individuo. Hasta el presente no existe esa obra. Darwin ha despertado el interés por la historia de la tecnología natural, esto es, por la formación de los órganos vegetales y animales como instrumentos de producción para la vida de plantas y animales. ¿No merece la misma atención la historia concerniente a la formación de los órganos productivos del hombre en la sociedad, a la base material de toda organización particular de la sociedad? ¿Y esa historia no sería mucho más fácil de exponer, ya que, como dice Vico, la historia de la humanidad se diferencia de la historia natural en que la primera la hemos hecho nosotros y la otra no? La tecnología pone al descubierto el comportamiento activo del hombre con respecto a la naturaleza, el proceso de producción inmediato de su existencia, y con esto, asimismo, sus relaciones sociales de vida y las representaciones intelectuales que surgen de ellas. Y hasta toda historia de las religiones que se abstraiga de esa base material, será acrítica. Es, en realidad, mucho más fácil hallar por el análisis el núcleo terrenal de las brumosas apariencias de la religión que, a la inversa, partiendo de las condiciones reales de vida imperantes en cada época, *desarrollar* las formas divinizadas correspondientes a esas condiciones. Este último es el único método materialista, y por consiguiente científico. Las fallas del materialismo abstracto de las ciencias naturales, un materialismo que hace caso omiso del *proceso histórico*, se ponen de manifiesto en las representaciones abstractas e ideológicas de sus corifeos tan pronto como se aventuran fuera de los límites de su especialidad.”<sup>1</sup> Con este pequeño trabajo no deseamos elaborar tal *historia crítica*, sino contribuir con elementos para la misma, no sólo por el reconocimiento de las limitantes que nuestra humilde aportación tiene sino también porque tenemos la convicción que al igual que tantas otras herramientas de lucha, serán suficientemente fuertes si toman dicha fuerza de su carácter de obras colectivas con la riqueza que le da la riqueza de múltiples, diversas y heterogéneas miradas. La necesidad a la que apunta esta obra es entonces no sólo un trabajo histórico, sino también, como aquellos que abordan el trabajo

---

<sup>1</sup> Marx, Karl (1867). *El Capital. Crítica de la Economía Política*. Traducción de Pedro Scaron. Vigésimo séptima edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2007. Tomo I, capítulo 13 “Maquinaria y gran industria”, página 453.

asalariado, que ese pasado histórico y el análisis actual le den un sentido a la *acción* y no sólo al análisis inconexo y contemplativo, que muestre también que ahora más que nunca es necesario, por sus raíces y consecuencias, entender el trabajo asalariado y adquirir ante él una posición de clase, desde el trabajo más simple, hasta el socialmente más complejo. En estos términos se ha puesto aquí una discusión que no tiene que ver con entrar al juego del *poder* desde sus distintas concreciones. Hay quienes ante el escenario del desarrollo nanotecnológico concluyen de sus investigaciones recomendaciones de política pública y es válido que encaminen su trabajo en la dirección que más les plazca y dirigido al interlocutor que más les convenga. El mismo derecho tenemos nosotros. Y nuestro interlocutor es cualquiera que desde su trabajo vea, sienta y se dé cuenta desde *su* realidad cotidiana de las consecuencias devastantes que el capitalismo encierra tanto para el trabajo mismo como para la naturaleza, y se disponga entonces a transformarla, más aún cuando se proponga una praxis revolucionaria. Y que así como existe un poder político, un poder económico, un poder ideológico, un poder tecnológico, etc., pueda entonces contraponerse a cada uno un contrapoder político, un contrapoder económico, un contrapoder ideológico, y para el caso que aquí nos ocupó, un *contrapoder tecnológico*. En palabras de Hessen, nuestra invitación concuerda así: “El gran significado histórico del método creado por Marx consiste en que el conocimiento se entiende no como la percepción pasiva, contemplativa, de la realidad; sino como un medio para la activa reestructuración de esta. La ciencia es, para el proletariado, el medio y el instrumento para esta reestructuración. Por eso no tememos revelar ‘el origen terrestre’ de la ciencia, su estrecha relación con los medios de producción de la vida material. Sólo tal comprensión de la ciencia contribuye a la total liberación de ésta de aquellas vías por las cuales la ha conducido la sociedad burguesa clasista. El proletariado no sólo no teme al desarrollo de las fuerzas productivas, sino que sólo él puede crear las condiciones para un florecimiento aún no visto de estas fuerzas y, junto con ellas, el florecimiento de la ciencia”.<sup>2</sup> La historia está repleta de ejemplos de que es posible.

*Un contrapoder tecnológico ejemplar, creado por el obrero colectivo, emblemático por su actuación en uno de los campos más mistificados, es el software libre y su nombre clave es Proyecto GNU.*

---

<sup>2</sup> Hessen, Boris (1931). Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton. En Juan José Saldaña, compilador, (1989). Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias. Editado por la Coordinación de Humanidades de la UNAM. México 1989. La cita se ha extraído de las página 145.

## Fuentes biblio-hemerográficas y electrónicas

### Fuentes Biblio-hemerográficas y electrónicas

- Adleman, Leonard M. (1994). "Molecular Computation of Solutions To Combinatorial Problem" En la revista Science número 266. Estados Unidos, 1994. Páginas 1021-1024. El artículo también puede encontrarse en la página de Adleman hospedada a su vez en la página de la University of Southern California: <http://www.usc.edu/dept/molecular-science/papers/fp-sci94.pdf>
- AFP (2007). Nota "Indigna a científicos de EU actitud 'racista' de premio Nobel de Medicina" en Periódico La Jornada. México, viernes 19 de octubre de 2007.
- Afp, Dpa y Reuters (2010). Nota "Acepta BP depositar 20 mil mdd para pagar indemnizaciones por el derrame". En Periódico La Jornada. México, 17 de junio de 2010, p. 20.
- Aguirre, Beatriz; Bravo, Sara; Ramírez, Alejandra (2010). La aceleración de la pesadilla en el trabajo: toyotismo o modelo flexible de producción. En Revista Rebeldía. Año 8, número 71. México, 2010. páginas 46-58. Disponible en: <http://revistarebeldia.org>
- Aguirre, Beatriz; Bravo, Sara; Ramírez, Alejandra (2010). Las Máscaras que esconden la explotación: la terciarización y la subcontratación. En Revista Rebeldía. Año 8, número 69. México, 2010. páginas 13-22. Disponible en: <http://revistarebeldia.org>
- Altwater, Elmar (2006). ¿Existe un marxismo ecológico?. En: La teoría marxista hoy. Problemas y perspectivas. Boron, Atilio A.; Amadeo, Javier; González, Sabrina. 2006, ISBN 987-1183-52-6. Disponible a través de la dirección: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/campus/marxis/P3C2Altwater.pdf>
- Álvarez G., José Luis; Marquina F., José E. (1983). Galileo y la ciencia medieval. En Revista ContactoS, Número 9. Editada por la UAM. 1983.
- Álvarez, Carlos y Barahona, Ana (cocompiladores) (2002). La continuidad en las ciencias. Coeditado por la UNAM y el Fondo de Cultura Económica. México, 2002.
- Aragónes Castañer, Ana María (1997). Migración internacional de trabajadores. Una perspectiva histórica. Editorial Plaza y Valdes. México 1997.
- Arancibia, Juan (2009). "La crisis actual del capitalismo como crisis de desigualdad" conferencia del 31 de octubre de 2009 en el marco del Diplomado El mercado de Trabajo en México. Instituto de investigaciones Económicas, UNAM. México. Version digital.
- Argonne National Laboratory (2007). Nota "Atomic layer deposition fuels future solutions to nation's energy challenges". En la página del laboratorio Nacional Argonne del Departamento de Energía y la Universidad de Chicago. Estados Unidos, 2007. Disponible a través de su portal en la dirección: [http://www.anl.gov/Media\\_Center/News/2007/ES070720.html](http://www.anl.gov/Media_Center/News/2007/ES070720.html)
- Argüello Altúzar, Gilberto (1980). Minas, agricultura y política en la formación del capitalismo mexicano. Edición electrónica del CEIICH de la UNAM. México 2008.
- Arriola, Verónica Esther (2004). Computación Cuántica. Editorial Las prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México 2004.

Bambirra, Vania (1974). El capitalismo dependiente latinoamericano. Siglo XXI Editores, decimo quinta edición. México, 1999.
Barahona Echevarría, Ana (2004). "Ingeniería Genética: origen y desarrollo" En Muñoz Rubio, Julio (Coordinador) (2004). Alimentos transgénicos. Ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto. Edición conjunta del CEIICH de la UNAM y Siglo XXI editores. México, 2004.
Baran, Paul A. (1957). La Economía Política del crecimiento. Segunda edición en español. Editorial Fondo de Cultura Económica. México 1987.
Barnes, Harry Elmer (1967). Historia de la Economía del mundo occidental. Unión tipográfica Editorial Hispano Americana (UTEHA), México, 1967.
Bensaude-Vincent, Bernadete (2006) "¿Dos culturas de la Nanotecnología?" En Foladori, Guillermo & Invernizzi, Noela, coordinadores, et al Nanotecnologías Disruptivas, México, Editorial Porrúa. Capítulo 4
Bernal, John D. (1954). La ciencia en nuestro tiempo. Cuarta edición en español. Edición conjunta de la UNAM y Editorial Nueva Imagen. México 1981.
Bottomore, Tom (1984), Coordinador. Diccionario del Pensamiento Marxista. Madrid, Editorial Tecnos.
Braudel, Fernand (1968). La Historia y las ciencias sociales. Traducción de Josefina Gómez Mendoza. Alianza Editorial. España, 1968.
Bünger, Mark, Lux Research Inc. (2007) "Forecasting Impact of science based Innovation". Conferencia del director de investigaciones de Lux Research en el Centro para la Nanotecnología en la Sociedad, Universidad del Estado de Arizona. Estados Unidos, 13 de abril de 2007.
Burns, Rob (2007). "International Nanotechnology Initiatives: Measuring Progress" Lux Research Inc. Nueva York, Estados Unidos. 29 de Marzo de 2007.
Careaga, Alfredo A. et ál. (2002). El teorema de Gödel. Serie Hiper cuadernos de Divulgación Científica. UNAM, México, 2002. Página 8. Disponible a través de la dirección: <a href="http://www.dgdc.unam.mx/Assets/pdfs/teorema_godel.pdf">http://www.dgdc.unam.mx/Assets/pdfs/teorema_godel.pdf</a>
Ceceña, Ana Esther y Barreda Marín, Andrés (1995). Producción estratégica y hegemonía mundial. Siglo XXI Editores. México.
Colerus Egmont (1943). Historia de la matemática de Pitágoras a Hilbert. Editorial Progreso y Cultura. Argentina, 1943
Copernicus, Nicolaus (1543). Sobre las revoluciones (de los orbes celestes). Edición preparada por Carlos Mínguez Pérez, Editorial Tecnos. España, 1987.
Coriat, Benjamin (1991). Pensar al revés. Trabajo y Organización en la empresa Japonesa. Editorial siglo XXI, séptima edición en español. México 2006.
Covarrubias Robles, Alejandra A. (2004). "Ventajas y limitaciones de la biotecnología en la obtención de variedades resistentes a estrés ambiental". En Muñoz Rubio, Julio (Coordinador) (2004). Alimentos transgénicos. Ciencia, ambiente y mercado: un debate abierto. Edición conjunta del CEIICH de la UNAM y Siglo XXI editores. México, 2004.
Cueva, Agustín (1979). El desarrollo del capitalismo en América Latina. Siglo XXI Editores, México, 1979.
Dabat, Alejandro; Rivera Ríos, Miguel Ángel; Wilkie, James W. (coordinadores) (2004). Globalización y cambio tecnológico. Edición conjunta de la Universidad de Guadalajara, UNAM, UCLA, PROFMEX y Editorial Juan Pablos. México-Estados Unidos, 2004.
De la Garza, Enrique y Alfonso Bouzas (1998). "Flexibilidad del trabajo y contratación colectiva en México". En Revista Mexicana de Sociología, volumen 60, número 3, IIS-UNAM, julio-septiembre de 1998.
De la Peña, Sergio (1972). El Antidesarrollo de América Latina. Siglo XXI Editores, 2ª edición. México 1975.
Dekker, Cees (1999). "Carbon nanotubes and molecular quantum wires". En la revista Physics Today, del American Institute of Physics. Estados Unidos, Mayo de 1999. Disponible en línea a través de la página del

EECS de la Universidad de Berkly: <a href="http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~ee230/sp08/dekker%20nanotube%20quantum%20wires%20phys%20today%201999.pdf">http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~ee230/sp08/dekker%20nanotube%20quantum%20wires%20phys%20today%201999.pdf</a>
Del Valle Rivera, María del Carmen (2010). "Innovación Tecnológica. Intensidad". Exposición presentada para el diplomado "El Mercado de trabajo en México" del Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM, 26-27 de febrero de 2010.
Delgado Wise, Raúl. Globalización y migración laboral internacional. Reflexiones en torno al caso de México en Nuevas tendencias y desafíos de la migración internacional México-EU Editorial MAP, México 2004.
Delgado-Ramos, Gian Carlo (2006) "Alcances y límites del sistema científico tecnológico chino" en Revista CONfinés de Relaciones Internacionales y Ciencia Política Número 5, año 2006. Editada por el Instituto de Estudios Superiores Monterrey, México.
Delgado-Ramos, Gian Carlo (2008). Guerra por lo invisible: Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología. Editado por el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México 2008.
Department of Defense, DoD (USA) (2007). Defense Nanotechnology Research and Development Program. Estados Unidos, 26 de abril de 2007.
Department of Energy (2008). Approach to Nanomaterial ES&H. Estados Unidos. Revision 3-a, mayo de 2008.
Derry, Thomas Kingston (1978). Historia de la tecnología. Editorial Siglo XXI. México, 1978.
Dpa y Reuters (2010). Nota "Acepta BP depositar 20 mil mdd para pagar indemnizaciones por el derrame". En Periódico La Jornada. México, 17 de junio de 2010, p. 20.
Drexler, K. Eric (1982). La nanotecnología : El surgimiento de las maquinas de creación. Traducción de José Ángel Álvarez. Editorial Gedisa. España 1993.
Ejército Zapatista de Liberación Nacional, EZLN (2005) Sexta Declaración de la Selva Lacandona. México, junio de 2005. Disponible a través de la dirección electrónica: <a href="http://enlacezapatista.ezln.org.mx/sdsl-es/">http://enlacezapatista.ezln.org.mx/sdsl-es/</a>
Fajnzylber, Fernando (1983). La industrialización trunca de América Latina. Editorial Nueva imagen. México, 1983.
Federal Ministry of Education and Research (2009). Nano.DE-Report 2009. Status Quo of Nanotechnology in Germany. Publicado por el Ministerio de Educación e Investigación. Alemania, 2009.
Feynman, Richard (1981). "Simulating Physics with computers". En International Journal of Theoretical Physics, VoL 21, Nos. 6/7, 1982. Disponible en línea a través de la dirección: <a href="https://www.cs.berkeley.edu/~christos/classics/Feynman.pdf">https://www.cs.berkeley.edu/~christos/classics/Feynman.pdf</a>
Feynman, Richard P. (1959) "There's Plenty of Room at the Bottom. An invitation to enter a new field of physics" en la Revista Engineering and Science. California Institute of Technology. Estados Unidos, 1960. Esta misma conferencia puede ser consultada libremente en internet, por ejemplo, a través de la dirección: <a href="http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html">www.zyvex.com/nanotech/feynman.html</a>
Foladori, Guillermo & Invernizzi, Noela, coordinadores, et al (2006) Nanotecnologías Disruptivas, México, Editorial Porrúa, 2006.
Galilei, Galileo (1638). Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias. Edición en español del Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica & i movimenti local. Editora Nacional. España, 1976
Galviz Casas, José (2003). Elogio de la pereza: la ciencia de la computación en una perspectiva histórica. Editorial Las prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. México 2003.
Gibbin, John y White, Michel (1997). Richard Feynman: A Life in Science. Editado por Dutton. Estados Unidos, 1997.
Goldstein, Daniel J. (1989). Biotecnología, Universidad y Política. Editorial Siglo XXI. México, 1989.

González Casanova, Pablo (1969). Sociología de la explotación. Edición corregida por CLACSO. Argentina, 2006.
González Chávez, Gerardo. 2004. "La Globalización y el mercado de trabajo en México" en Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía. Vol. 35 No. 138 julio/septiembre de 2004.
González Rojo, Enrique (1977). Teoría científica de la Historia. Cuarta edición. Editorial Diógenes. México, 1987.
Goodsell, David S. (2004). Bionanotechnology. Lessons from nature. Editorial Wiley-Liss. Estados Unidos 2004.
Gould, Stephen Jay (1996). La falsa medida del hombre. Traducción de Antonio Bosch. Editorial Crítica. España, 1997.
Gramsci, Antonio (~1937). Cuadernos de la cárcel. Volumen 6 "El Risorgimento". Editorial Juan Pablos. México, 1980.
Grupo ETC (2003). La Inmensidad de lo mínimo. De los genomas a los átomos. Editado por ETC group, enero de 2003.
Grupo ETC (2004). ¡No es poca cosa! Las partículas nanotecnológicas penetran las células vivas y se acumulan en los órganos animales. Communiqué No. 76, Mayo/junio de 2002.
Grupo ETC (2005). Las patentes de nanotecnología: más allá de la naturaleza. Implicaciones para el sur global. Editado por ETC group, junio de 2005.
Grupo ETC (2005). Manual de bolsillo en tecnologías nanoescalares y la teoría del little BANG. Editado por ETC group, junio de 2005.
Grupo ETC (2006). En Estados Unidos, abierta irresponsabilidad para regular la nanotecnología. Boletín de prensa del 18 de octubre de 2006.
Grupo ETC (2006). Medicina Nanológica. Aplicaciones Médicas de las nanotecnologías. Editado por ETC group, septiembre de 2006.
Grupo ETC (2006). Retirada de producto nanotecnológico del mercado enfatiza la necesidad de una moratoria: ¿Desapreció la magia? Boletín de prensa del 10 de abril de 2006.
Grupo ETC (2007). Ingeniería genética extrema. Una introducción a la biología sintética. Editado por ETC group, enero de 2007.
Grupo ETC (2010). Sintia está viva ... ¡y reproduciéndose! ¿Panacea o caja de Pandora? Boletín de prensa del 20 de mayo de 2010.
Harvey, David (1982). Los límites del capitalismo y la teoría marxista. Traducción de Mariluz Caso. Fondo de Cultura Económica. México, 1990.
Headquarters, U.S. Army Training and Doctrine Command. (2008) Operations FM 3-0. Estados Unidos. Febrero de 2008.
Hessen, Boris (1931). Las raíces socioeconómicas de la mecánica de Newton. En Juan José Saldaña, compilador, (1989). Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias. Editado por la Coordinación de Humanidades de la UNAM. México 1989.
Hobsbawm, Eric J. (1971). En torno a los orígenes de la Revolución Industrial. 9ª edición en español. Traducción de Ofelia Castillo. Editorial Siglo XXI. México 1977.
Hobsbawm, Eric J. (1992). Historia del siglo XX: 1914-1991. Editorial Crítica. España, 2000.
Holzmann, Robert (2002). "Soporte del Ingreso en la vejez en el siglo XXI: una perspectiva internacional de los sistemas de pensiones y de sus reformas". CIEDESS. Santiago de Chile 2002.
Huang, Zan, Chen, Hsinchun, Chen, Zhi-Kai y Roco, Mihail C. (2004). "International nanotechnology development in 2003: Country, institution, and technology field analysis based on USPTO patent database" en Journal of Nanoparticle Research número 6, 2004. páginas 325-354.
Hullmann, Angela. Comisión Europea, DG Research Unit (2006) "Nano S&T - Convergent Science and Technologies" Versión del 28 de noviembre de 2006. Disponible en Internet:

<a href="http://cordis.europa.eu/nanotechnology/">http://cordis.europa.eu/nanotechnology/</a>
Iñigo Carrera, Nicolás (2003). “El concepto de clase obrera”. Manuscrito. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina, 2003. Disponible en Internet a través de la dirección: <a href="http://www.iisg.nl/labouragain/documents/inigocarrera.pdf">http://www.iisg.nl/labouragain/documents/inigocarrera.pdf</a>
Jardón Barbolla, Lev (2009) “La evolución y la historia humana” en Muñoz Rubio, Julio. Contra el oscurantismo; defensa de la laicidad, la educación sexual y el evolucionismo. Editado por el CEIICH de la UNAM
Jardón Barbolla, Lev (2010). La lucha por las semillas: el gris de la conquista y la policromía de la resistencia. En Revista Rebeldía. Año 8, número 71. México, 2010. páginas 59-79. Disponible en: <a href="http://revistarebeldia.org">http://revistarebeldia.org</a>
Juan Carlos Alonso de Mena (2007). El mundo mágico de la tecnología. Disponible en línea a través de la dirección: <a href="http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2007/06/14/163572.php">http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2007/06/14/163572.php</a> consultado el 15 de mayo de 2010.
Kandel, Eric R., James H. Schwartz, Thomas M. Jessell (2000). Principios de Neurociencia. Editorial McGraw Hill Interamericana. México, 2001.
Kemp, Tom (1974). La revolución industrial en la Europa del siglo XIX. Editorial Fontanella. Barcelona, España. 1974.
Kepler, Johannes (1596). El secreto del universo. Edición en español de Alianza Editorial. España, 1992.
Kloppenborg, Jack Ralph (2004). First the seed. The political economy of plant biotechnology. 1492-2000. Segunda edición. The University of Wisconsin Press. Estados Unidos, 2004.
Koestler, Arthur (1963). Los sonámbulos: origen y desarrollo de la cosmología. Editado por el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Dirección General de Publicaciones. México, 2007.
Kreuzer, Helen y Massey, Adrienne (2001). ADN Recombinante y Biotecnología. Traducción de María Isabel Mora. Editorial Acribia. España, 2001.
Kuhn, Thomas S (1978). La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental. Traducción de Domenec Bergada. Editorial Ariel. España, 1996.
Lenin, Vladimir I. (1917). El Estado y la Revolución. Edición del Marxists Internet Archive, 2003, disponible en la dirección electrónica: <a href="http://www.marxists.org/espanol/lenin/obras/1910s/estyrev/index.htm">http://www.marxists.org/espanol/lenin/obras/1910s/estyrev/index.htm</a>
Lewontin, Richard (2000). El sueño del genoma humano y otras ilusiones. Traducción de Ramón Ibero Iglesias. Ediciones Paidós Ibérica. España, 2001
Li, Xin, Lin, Yiling, Chen, Hsinchun y Roco, Mihail C. (2007). “Worldwide nanotechnology development: a comparative study of USPTO, EPO, and JPO patents (1976–2004)” en Journal of Nanoparticle Research. 2007, 9. Páginas 977–1002.
Lozano Arrdondo, Luis, et ál. (2009). De llantas y atropellos. Trabajo, salario, productividad, y derechos laborales en la industria llantera mexicana. Edición conjunta del Centro de Análisis Multidisciplinario (CAM) de la facultad de economía de la UNAM, el Sindicato Nacional de Trabajadores de General Tire de México y la FES-Iztacala. México 2009.
Lux Research (2004). Lux Research, The Nanotech Report 4th Edition 2004. Estados Unidos, 2004.
Maddison, Angus (1971). Crecimiento económico en el Japón y la URSS. Editorial Fondo de Cultura Económica. México 1971.
Magoun, H.W (1958). El Cerebro despierto. Traducción de Raúl Hernández Peón a la 2a edición en Inglés. La Prensa Médica Mexicana. México 1964.
Malanowski, N, Heimar, T, Luther, W and Werner, M, (2006). Growth market Nanotechnology. An analysis of technology and innovation. Wiley VCH Verlag.
Maldonado Francisco (2010). Guadalajara: La explotación en la maquila electrónica. En Revista Rebeldía. Año 8, número 70. México, 2010. páginas 50-54. Disponible en: <a href="http://revistarebeldia.org">http://revistarebeldia.org</a>

Malen Ruiz de Elvira (2006). Nota "El ruso Perelman rechaza la medalla Fields, la mayor distinción matemática" Periódico el País. Madrid, 22 de agosto de 2006.
Marquina, José E. (2003). La tradición de investigación newtoniana. Editado por la Universidad Autónoma Metropolitana. México 2003.
Martínez Alier, Joan (1991). La economía y la ecología. Fondo de Cultura Económica. México, 1991.
Martínez Alier, Joan (1992). De la economía ecológica al ecologismo popular. Editorial Icaria. España, 1992.
Marx, Karl (1844). Manuscritos Económico-Filosóficos de 1844. Traducción de Miguel Vedda. Editorial Colihue. Argentina, 2004.
Marx, Karl (1849). Trabajo asalariado y capital. Editorial Progreso. Moscú, Rusia, 1977.
Marx, Karl (1858). Elementos fundamentales para la Crítica de la economía política (Grundrisse) 1857-1859. Novena edición en español. Traducción de Pedro Scaron. Editorial Siglo XXI. México, 1982.
Marx, Karl (1859). Contribución a la Crítica de la economía política. Cuarta edición en español. Traducción de Jorge Tula. Editorial Siglo XXI. México, 1990.
Marx, Karl (1861) La Tecnología del Capital (Extractos del Manuscrito 1861-1863), Selección y Traducción de Bolívar Echeverría, México Editorial Itaca 2005
Marx, Karl (1863). La tecnología del capital. Subsunción formal y subsunción real del proceso de trabajo al proceso de valorización (extractos del manuscrito de 1861-1863) Selección y traducción de Bolívar Echeverría. Editorial Itaca. México, 2005.
Marx, Karl (1867) El Capital, Libro I Capítulo VI (inédito), Décimo sexta edición. Siglo XXI Editores. México, 2001
Marx, Karl (1867). El Capital. Crítica de la Economía Política. Traducción de Pedro Scaron. Vigésimo séptima edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2007. Tomo I, II y III.
McAfee, Kathleen (2002). Neoliberalism on the molecular scale. Economic and genetic reductionism in biotechnology battles. En Geoforum 34 (2003), páginas 203–219.
McPhee, Andy (2002). A Student's guide to biotechnology. Volume 3. The History of Biotechnology. Greenwood Press. Estados Unidos, 2002.
Mikulinsky, S. R. (1977). La controversia Internalismo-Externalismo como falso problema. En Juan José Saldaña, coompilador, (1989). Introducción a la Teoría de la Historia de las Ciencias. Editado por la Coordinación de Humanidades de la UNAM. México 1989.
Muñoz Rubio, Julio (2007). Nota "Contra James Watson". En Periódico La Jornada, 27 de octubre de 2007.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA) Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology (IWGN) (1999). Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report. Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade. Estados Unidos, Septiembre de 1999.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2000). National Nanotechnology Initiative. The Initiative and its Implementation Plan. Estados Unidos, julio de 2000.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2003). Regional, state, and local initiatives in nanotechnology. Reporte del taller de la National Nanotechnology Initiative (NNI), Estados Unidos, septiembre-octubre de 2003.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2004). Manufacturing at the nanoscale. Report of the National Nanotechnology Initiative Workshops 2002-2004. Estados Unidos, 2007.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2004). National Nanotechnology Initiative. Strategic Plan. Estados Unidos, julio de 2004.

National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2005). The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel. Estados Unidos, Mayo de 2005.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2006). Environmental, Health, and Safety Research needs for Engineered Nanoscale Materials. Estados Unidos, septiembre de 2006.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2007). National Nanotechnology Initiative. Strategic Plan. Estados Unidos, Diciembre de 2007.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2008). National Nanotechnology Initiative. Strategy for Nanotechnology-Related Environmental, Health, and Safety Research. Estados Unidos, febrero de 2008.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2009). Nanotechnology-enabled sensing. Estados Unidos. Reporte del taller de la NNI los días 5 a 7 de mayo de 2009.
National Science and Technology Council (NSTC) (USA), Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee (2010). The National Nanotechnology Initiative. Research and Development leading to a revolution in technology and industry. Estados Unidos, Febrero de 2010.
Newton, Isaac (1687). Principios matemáticos de la filosofía natural. Alianza Editorial. España, 1987.
Nosik, Abraham y Elguea, Javier (1985). La discusión sobre el crecimiento del conocimiento científico en el cuento de la filosofía de la ciencia. En Revista Estudios. Filosofía, Historia y Letras. Editado por el Instituto Tecnológico de México, Número 2, primavera de 1985.
OCDE. Working Party on Nanotechnology (WPN) (2009). Inventory of national science, technology and innovation policies for nanotechnology 2008. 17 de Julio de 2009
O'Connor, James (1998). Causas Naturales. Ensayos de marxismo ecológico. Editorial Siglo XXI. México, 2001.
OECD (2010). Main science and technology 20 indicators. Volumen 2009/2.
OECD, Directorate for Science, Technology and Industry (DSTI), (2009). Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics. STI working paper 2009/7.
Oh, Paul S. (2009). "Future strategic environment in an era of persistent conflict". En Military Review. Revista mensual del Combined Arms Center (CAC) y el Command and General Staff College (CGSC) del Ejército de los Estados Unidos. Julio agosto de 2009.
Ondarza, Raúl N. (1994). Biología Molecular. Antes y después de la doble hélice. Editorial Siglo XXI. México, 1994.
Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2002) El trabajo decente y la economía informal. Conferencia Internacional del Trabajo, Informe VI. 90a reunión 2002.
P.W. (1999) "La obra crítica de la teoría marxista del desarrollo". En <i>Una introducción a la teoría del desarrollo</i> . México. Siglo XXI Editores, 1999.
Pedreño Muñoz, Andrés (2009). Crisis económica, conocimiento y políticas para el desarrollo de la nanotecnología. En Revista Mundonano. Volumen 1, número 2. Editada por la UNAM. México, enero-junio de 2009. Páginas 78-87.
Pérez, Carlota (2001) Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil. En Revista de la CEPAL, Número 75, diciembre de 2001. Páginas 115-136.
Polanyi, Karl (1975). La Gran Transformación. Editorial Juan Pablos, México 1992.
Prime Minister's Science, Engineering and Innovation Council (PMSEIC) (2005). Nanotechnology. Enabling technologies for Australian innovative industries. Australia, 11 de marzo de 2005.

Project of emerging technologies (PEN). (2009). "First publicly available on-line inventory of nanotechnology-based consumer products" disponible a través de: <a href="http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis_draft/">http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis_draft/</a>
Project of emerging technologies (PEN). (2009). "Putting Nanotechnology on the map (Updated June 2009)" disponible a través de: <a href="http://www.nanotechproject.org/">http://www.nanotechproject.org/</a>
Rafols, I y Porter, A. (2008), "Mapping nanotechnology (1991-2007)". Manuscrito.
Ribeiro, Silvia (2009). Nota "De riesgo a realidad: muertes por nanotecnología". En Periódico La Jornada, 29 de agosto de 2009
Ricardo, David (1817). Principios de Economía Política y Tributación. Sexta reimpression de la primera edición en español. Editorial Fondo de Cultura Económica, México, 2004
Roco, Mihail C. (2007). The NNI: Past, Present and Future. In Goddard, W.A et ál. Handbook on Nanoscience, Engineering and Technology. CRC, Taylor and Francis, Boca Raton y Londres. 2007, página 1-3.
Roco, Mihail C. y Sims Bainbridge, William, et ál. (2002). Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Reporte patrocinado por la National Science Foundation y el Department of Commerce de los Estados Unidos. Junio de 2002. Arlington, Virginia. Página ix
Rodríguez-Ferrera Massons, Juan Claudio (1997). La Economía Mundial y el Desarrollo. Madrid. Acento Editorial, 1997.
Rose, Hilary y Rose, Steven (1976). Economía política de la ciencia. Traducción de Federico Sánchez Ventura. Editorial Nueva Imagen. México, 1979.
Rose, Steven (1997). Lifelines. Biology, freedom and determinism. Editorial Penguin Books. Inglaterra 1997
Russi, Daniela; Martínez Alier, Joan (2002). Los pasivos ambientales. En ÍCONOS. Revista de Ciencias Sociales, no. 15. FLACSO, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Quito, Ecuador: Ecuador. Diciembre. 2002 1390-1249. Acceso al texto completo: <a href="http://www.flacso.org.ec/docs/i15_rusi.pdf">http://www.flacso.org.ec/docs/i15_rusi.pdf</a>
Sabbatella, Ignacio (2010). Crisis ecológica y subsunción real de la naturaleza al capital. En Íconos. Revista de Ciencias Sociales. Num. 36. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales-Sede Académica de Ecuador. ISSN: 1390-1249. Quito, enero 2010, pp. 69-80
Sargent, John F. (2008). "Nanotechnology and U.S. Competitiveness: Issues and Options". Congressional Research Service, Report to Congress. May 15, 2008.
Schmidt, Alfred (1962). El concepto de naturaleza en Marx. Editorial Siglo XXI. México-España 1976.
Schrödinger, Erwin (1944). Qué es la vida. Traducción al español en la página de la Universidad de Salamanca disponible a través de la dirección: <a href="http://campus.usal.es/~licesio/Biofisica/QEV.pdf">http://campus.usal.es/~licesio/Biofisica/QEV.pdf</a>
Semo, Enrique (1973). Historia del capitalismo en México: los orígenes, 1521-1763. Editorial Era, 14ª edición. México, 1986.
Shehan, John (1990). Modelos de Desarrollo en América Latina: Pobreza, Represión y estrategia económica. México. Alianza Editorial Mexicana – Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 1990.
Smith, Adam (1776). Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones. Decimoquinta reimpression de la segunda versión en español. Editorial Fondo de Cultura Económica. México 2006
Solleiro, José Luis y Castañón, Rosario "Competitiveness and innovation systems: the challenges for Mexico's insertion in the global context" en Technovation #25, 2005. Disponible a través de la dirección electrónica: <a href="http://www.sciencedirect.com/">http://www.sciencedirect.com/</a>
Soriano Mas, Carles (Coordinador) Gemma Guillazo Blanch, Diego Antonio Redolar Ripoll, Meritxell Torras García, Anna Vale Martínez (2007). Fundamento de Neurociencia. Editorial UOC. España, 2007.
Sosa, Iván O. (2004) Nanotecnología, Instantáneas del cambio tecnológico, México, UCM, colección Umbral.

Sotelo Valencia, Adrián (1999) Globalización y precariedad del trabajo en México. Ediciones El Caballito S.A. de C.V. México,
Steven Connor (2007), Nota "Suspenden de su cargo a James Watson; cancela gira por GB" traducción de Jorge Anaya. En periódico La Jornada. Sábado 20 de octubre de 2007.
Stillings, Neil A., Steven E. Weisler, Christopher H. Chase, Mark H. Feinstein, Jay L. Garfield y Edwina L. Rissland (1995). Cognitive Science: an introduction. Massachusetts Institute of Technology, EUA, 1995.
Subcomandante Insurgente (SCI) Marcos, Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN) (1997). 7 piezas sueltas del rompecabezas mundial. México, junio de 1997. Disponible a través del sitio palabra zapatista, del EZLN: <a href="http://palabra.ezln.org.mx/">http://palabra.ezln.org.mx/</a>
Sunkel, Oswaldo y Paz, Pedro (1976). El subdesarrollo latinoamericano y la teoría del desarrollo. 9ª edición, Siglo XXI editores. México, 1976.
Turing, Alan M. (1936). "On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem". Versión completa digitalizada por The History Computing Project (THOCP). Disponible en línea a través de la dirección: <a href="http://www.thocp.net/biographies/papers/turing_oncomputablenumbers_1936.pdf">http://www.thocp.net/biographies/papers/turing_oncomputablenumbers_1936.pdf</a>
Velasco Edur y Roman Richard (1998). "Migración, mercados laborales y pobreza en el septentrión Americano" En Revista Chiapas. Número 6. Coedición de Editorial Era y el IIEc de la UNAM. México, 1998. Disponible a través de <a href="http://www.revistachiapas.org/">http://www.revistachiapas.org/</a>
Vence Deza, Xavier (1995). Economía de la innovación y del cambio tecnológico. Siglo XXI Editores de España. Madrid 1995.
Vilas, Carlos. "Seis ideas falsas sobre la globalización" en Globalización, crítica de un paradigma, John Saxe Fernández (Coord.) México, Plaza y Janés IIEc. 1999.
Villoro, Luis (1992). El pensamiento moderno. Filosofía del Renacimiento. Coeditado por el Colegio Nacional y el Fondo de Cultura Económica, México, 1994.
Viso G., Elisa y Canek Peláez V. (2007). Introducción a las Ciencias de la Computación con Java. Editado por la Facultad de Ciencias de la UNAM. México, 2007.
Wallerstain, Immanuel (1983). El capitalismo histórico. Quinta edición en español. Editorial Siglo XXI. México, 2003.
Watson, James D. y Crick, Francis H. (1953). "A structure for Deoxyribose Nucleotic Acid". En Revista Nature, número 171. Inglaterra, 25 de abril de 1953. Página 737. Una versión electrónica puede encontrarse en la siguiente dirección: <a href="http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf">http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf</a>
Westman, Robert S. (1975). The Melanchthon Circle, Rheticus, and the Wittenberg Interpretation of the Copernican Theory. En revista Isis, Vol. 66, No. 2. Editada por The University of Chicago Press y The History of Science Society. Estados Unidos, junio de 1975, pp. 164-193
Wiener, Norbert (1948). Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas. Traducción de Francisco Martín. Barcelona, Tusquets, 1985.
Young, Robert M. (1977) Science is social relations. En Radical Science Journal No. 5. Inglaterra, 1977. Páginas 65-129.
Young, Robert M. (1985) Is Nature a Labour process? En L. Levidow y Robert. M. Young, editores. Science, Technology and the Labour Process: Marxist Studies. Volumen 2. Free Association Books. Inglaterra, 1985, páginas. 206-232.
Zan Huang, Hsinchun Chen, Zhi-Kai Chen, and Mihail C. Roco (2004). "International nanotechnology development in 2003: Country, institution, and technology field analysis based on USPTO patent database" en Journal of Nanoparticle Research 6: 325-354, 2004

Otras fuentes disponibles por Internet:
Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO. Biblioteca virtual: <a href="http://www.biblioteca.clacso.edu.ar/">http://www.biblioteca.clacso.edu.ar/</a>
Galería de imágenes del IBM Research – Almaden: <a href="http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/gallery.html">http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/gallery.html</a>
Galería de imágenes y proyectos nanotecnológicos de la NASA: <a href="http://ipt.arc.nasa.gov">http://ipt.arc.nasa.gov</a>
Grupo de acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración. Grupo ETC. Todos los documentos citados están disponibles en: <a href="http://www.etcgrupop.org/es/">www.etcgrupop.org/es/</a>
Información del proyecto "BigDog" desarrollado por Boston Dynamics para DARPA: <a href="http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html">http://www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html</a>
Información del Proyecto ASIMO de Honda, a través de su sitio: <a href="http://world.honda.com/ASIMO/">http://world.honda.com/ASIMO/</a>
Institute for Scientific Information, ISI Web of Knowledge.
La mayoría de las imágenes fueron obtenidas de Wikimedia Commons: <a href="http://commons.wikimedia.org/">http://commons.wikimedia.org/</a>
Los artículos de Watson y Crick, el de Wilkins y el de Rosalind Franklin pueden encontrarse en el archivo histórico de la revista Nature en la siguiente dirección: <a href="http://www.nature.com/nature/dna50/archive.html">http://www.nature.com/nature/dna50/archive.html</a>
Nota "Become a wage slave to software" en la revista New Scientist. Número 2759. Año 2010. Sección tecnología > noticias. Página 19.
Página corporativa de google para inversionistas: <a href="http://investor.google.com/financial/tables.html">http://investor.google.com/financial/tables.html</a>
Periódico El País, España: <a href="http://www.elpais.com">http://www.elpais.com</a>
Periódico La Jorana, México:
Publicaciones referentes a la NNI. Todas pueden encontrarse en la página oficial de la misma, en la sección Recursos, a través de la dirección electrónica: <a href="http://www.nano.gov/html/res/home_res.html">http://www.nano.gov/html/res/home_res.html</a>
Red de Grupos de Investigación en Nanociencias y Nanotecnología, REGINA, de la UNAM: <a href="http://www.nano.unam.mx/">http://www.nano.unam.mx/</a>
Revista Rebeldía: <a href="http://revistarebeldia.org">http://revistarebeldia.org</a>
Sobre el concepto de tecnologías de la información: "Information Technology Association of America" (ITAA) cuya página de internet puede consultarse a través de la dirección: <a href="http://www.ita.org">www.ita.org</a> La asociación "TechAmerica" está formada por la fusión de la AeA (American Electronics Association), la Cyber Security Industry Alliance (CSIA), la ITAA y la Government Electronics & Information Technology Association (GEIA).
Wikipedia. Artículo "Informática". Disponible a través de: <a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Inform%C3%A1tica">http://es.wikipedia.org/wiki/Inform%C3%A1tica</a>