

Revista Iberoamericana de Ciencia,  
Tecnología y Sociedad - CTS

ISSN: 1668-0030

secretaria@revistacts.net

Centro de Estudios sobre Ciencia,  
Desarrollo y Educación Superior  
Argentina

Valdés Castro, Rolando; Tricio Gómez, Verónica; Rodríguez Cano, Luis R.  
Relaciones entre las actividades de investigación científica, desarrollo tecnológico y  
producción material desde 1850 hasta la actualidad. Implicaciones para el desarrollo  
humano

Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad - CTS, vol. 10, núm. 30,  
septiembre, 2015, pp. 231-263

Centro de Estudios sobre Ciencia, Desarrollo y Educación Superior  
Buenos Aires, Argentina

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92441742009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

**Relaciones entre las actividades de investigación científica,  
desarrollo tecnológico y producción material desde 1850  
hasta la actualidad. Implicaciones para el desarrollo humano**

**Relações entre atividades de pesquisa científica,  
desenvolvimento tecnológico e produção material desde 1850  
até hoje. Implicações para o desenvolvimento humano**

***Relationship between Scientific Research Activities,  
Technological Development and Material Production from 1850  
to Date. Implications on Human Development***

**Rolando Valdés Castro, Verónica Tricio Gómez  
y Luis R. Rodríguez Cano \***

A través del estudio de publicaciones científicas y patentes son detectadas algunas tendencias estadísticas de la evolución de las actividades de investigación y de desarrollo tecnológico, desde 1850 hasta la actualidad. Esas tendencias son interpretadas sobre la base del análisis de las relaciones entre investigación científica, tecnología y producción material en diferentes fases de la historia. Se introduce el concepto de revolución tecnológica del consumo social. Se enuncia la hipótesis de que en nuestros días la comunidad científica está creando el sistema de conocimiento (sobre la naturaleza, la tecnología y la sociedad), a partir del que podría emerger una revolución tecnológica del consumo social, centrada en el desarrollo humano sostenible.

**Palabras clave:** relaciones CTS, historia de la ciencia y la tecnología, desarrollo humano sostenible, infometría

\* Profesores del Departamento de Física de la Universidad de Burgos, España. Correos electrónicos: rvaldes@ubu.es, vtricio@ubu.es y lrcano@ubu.es. Los autores desean agradecer la labor del equipo de *Scirus*, que lamentablemente ha cesado sus servicios. De todos los motores de búsqueda que los autores conocen, *Scirus* ha sido el adecuado para realizar su trabajo. Animamos a la comunidad científica a conservar y desarrollar la herencia de *Scirus* como *software* de libre acceso.

A través do estudo de publicações científicas e patentes, são detectadas algumas tendências estatísticas da evolução das atividades de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico, desde 1850 até hoje. Essas tendências são interpretadas com base na análise das relações entre pesquisa científica, tecnologia e produção material em diferentes fases da história. É introduzido o conceito de revolução tecnológica do consumo social. Enuncia-se a hipótese de que, em nossos dias, a comunidade científica está criando o sistema de conhecimento (sobre a natureza, a tecnologia e a sociedade), a partir do qual uma revolução tecnológica do consumo social, centrada no desenvolvimento humano sustentável, poderia surgir.

**Palavras-chave:** relações CTS, história da ciência e da tecnologia, desenvolvimento humano sustentável, infometria

*Through the study of scientific publications and patents, we highlighted some statistical trends in the evolution of activities of research and technological development, from 1850 to date. These trends are interpreted on the basis of the analysis of the relationship between scientific research, technology and material production in different phases of history, such as the introduction of the concept of social consumption technology revolution. Our hypothesis is that nowadays the scientific community is creating a knowledge system (involving nature, technology and society), that could be the platform from where a social consumption technology revolution, centered on sustainable human development, could emerge.*

**Key words:** STS relationships (science, technology and society), history of science and technology, sustainable human development, infometrics

## Introducción

Las investigaciones científicas y la producción de nuevas tecnologías son decisivas para lograr el desarrollo humano sostenible (DHS). Conocer las tendencias de la evolución de estos dos géneros de actividades facilitaría definir las áreas de trabajo más prometedoras. Ello es particularmente importante en un mundo acuciado por graves problemas ambientales y sociales que requieren ser enfrentados con el conocimiento científico y la adopción de nuevas tecnologías.

Emplearemos los términos “investigación científica” y “desarrollo tecnológico experimental”, atendiendo a las acepciones dadas en el Manual de Frascati (OECD, 2002: 30-50). Para simplificar el lenguaje, habitualmente se usarán sólo las palabras “investigación” y “desarrollo”. El análisis de ambas áreas del desempeño humano será realizado sobre la base de las dos proposiciones siguientes:

- a) La investigación y el desarrollo contemporáneos son resultado directo de la labor de la comunidad mundial de investigadores, inventores e innovadores.
- b) La investigación y el desarrollo están sustancialmente ligadas a transformaciones de la producción material (de objetos materiales).

Atendiendo a que las iniciativas individuales en la comunidad de investigadores, inventores e innovadores se orientan con cierta aleatoriedad, de la proposición primera se infiere la posible existencia de regularidades estadísticas de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico. En consecuencia, para expresar tales regularidades es necesario definir aquellas magnitudes que permiten detectarlas. Es clave la interpretación fundamentada de las tendencias estadísticas supuestas. La consideración segunda es básica en dicha interpretación. Requiere esbozar el concepto de producción material y mostrar su relación con la evolución de las otras dos áreas de la actividad humana consideradas.

Los objetivos de este trabajo son:

- Revelar algunas tendencias estadísticas de la evolución global de la investigación científica y del desarrollo tecnológico experimental.
- Interpretar las regularidades estadísticas detectadas, examinando las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad (CTS).
- Argumentar una posible orientación principal de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico experimental en el mundo durante los próximos años.

## 1. Regularidades estadísticas de la evolución de la investigación científica y del desarrollo tecnológico

### 1.1. Definiciones, magnitudes y *software* utilizados

Existen diferentes modelos para describir la relación ciencia-tecnología (Acevedo, 2006; Núñez y Figaredo, 2008). Atendiendo al objetivo de revelar regularidades estadísticas de la evolución de la investigación y el desarrollo, nos hemos ceñido al enfoque del Manual de Frascati (OECD, 2002: 30). Según este documento, la actividad investigadora se desglosa en básica y aplicada. La primera consiste en trabajos teóricos o experimentales con el objetivo principal de aportar nuevos conocimientos sobre los fundamentos de fenómenos y hechos, sin pretender una aplicación determinada. En las investigaciones aplicadas la aportación de nuevos conocimientos está especialmente ligada a un objetivo práctico definido. Conforme al Manual de Frascati, los desarrollos tecnológicos experimentales aprovechan los conocimientos obtenidos de las investigaciones y de la experiencia práctica, en la creación de aplicaciones industriales concretas, la puesta en marcha de nuevos servicios o la mejora sustancial de los existentes. En este sentido, los desarrollos tecnológicos no pueden ser entendidos como meras aplicaciones de conocimientos científicos (Sánchez Ron, 2011; Valdés, Valdés, Guissasola y Santos, 2002).

En nuestra opinión, los conceptos de investigación y desarrollo tal como se exponen en el Manual pueden ser utilizados para describir la evolución del sistema ciencia-tecnología, al menos desde el siglo XVIII. Esos conceptos son una herramienta útil para analizar aspectos de una actividad humana que habitualmente se denota con la expresión I+D y a veces con el término tecno-ciencia, para referirse a los últimos 60-70 años (Acevedo, 2006; Núñez y Figaredo, 2008).

Considérense los siguientes tres tipos de publicaciones:

- *Publicaciones de investigación*: artículos, reseñas científicas y tesis, como formas de presentar los resultados y caracterizar el estado de las investigaciones en diferentes áreas del conocimiento.
- *Patentes*: documentos acreditativos de invenciones e innovaciones tecnológicas preparadas para ser introducidas en el consumo humano. Las consideraremos representativas de la actividad de desarrollo tecnológico experimental (OECD, 2002: 200).
- *Publicaciones de investigación y desarrollo* (en adelante solamente publicaciones): constituyen la unión de los dos conjuntos anteriores: artículos, reseñas científicas, tesis y patentes.

Denominamos intensidad media  $I_c$  de la actividad científico-investigadora durante un intervalo de tiempo de duración  $\Delta t$ , al cociente

$$I_t = \frac{M_t}{N} \quad (1)$$

donde  $N$  es el número de publicaciones generadas en el lapso considerado y  $M_c$  representa la cantidad correspondiente de publicaciones de investigación en todos los campos del conocimiento científico.

De forma análoga, la intensidad media  $I_t$  de la generación de desarrollos tecnológicos experimentales durante un intervalo de tiempo de duración  $\Delta t$ , será expresada mediante la razón

$$I_c = \frac{M_c}{N} \quad (2)$$

donde  $M_t$  es el número total de patentes generadas en el lapso considerado.

Las magnitudes  $I_c$  e  $I_t$  son frecuencias relativas. Si se supone que siempre se investiga y hay desarrollos tecnológicos, los valores de esas magnitudes quedan determinados dentro del intervalo (0, 1). Obviamente se cumple la relación

$$I_c + I_t = 1 \quad (3)$$

235

Es decir, la investigación y el desarrollo constituyen un sistema tal que cuando la intensidad de alguna de las dos actividades aumenta, la intensidad de la otra disminuye necesariamente. Existen distintas posibilidades de variación de las magnitudes  $I_c$  e  $I_t$  que satisfacen la expresión (3). Por ello nos propusimos establecer empíricamente la forma concreta de variación que en los últimos tiempos se ha manifestado en la realidad.

Es posible caracterizar cuantitativamente el interés de la I+D hacia un campo específico del conocimiento. Con este fin se define primeramente dicho campo, utilizando una serie de palabras clave relacionadas mediante operadores lógicos. Posteriormente se calcula la razón

$$I_e = \frac{M_e}{N} \quad (4)$$

donde  $M_e$  es el número total de publicaciones que en un intervalo de tiempo determinado hacen referencia al área de conocimiento definida. La magnitud  $I_e$  la denominamos interés específico medio (en adelante sólo diremos interés) y expresa la atención que la comunidad científica y de innovadores prestan a la rama del saber caracterizada. El valor  $I_e$  depende de las palabras claves elegidas y es también una

frecuencia relativa. El cálculo de frecuencias relativas y el uso de palabras claves para describir tendencias de las actividades de investigación y desarrollo son, desde hace años, herramientas para los estudios bibliográficos (Bar-Ilan, 2008; Rousseau y Yang, 2012).

Con el objetivo de obtener la información estadística necesaria para estimar las intensidades  $I_c$  e  $I_t$  y el interés  $I_e$ , fue utilizado el motor de búsqueda *Scirus*, que funcionó hasta enero de 2014. Las opciones de exploración de este *software* de acceso libre se adecuaban completamente a los tres tipos de publicaciones precisados. Su campo de exploración era Internet y no simplemente un grupo de selectas bases de datos. En esto *Scirus* se distinguía de *Scopus* o de la *Web of Science*. Gracias al amplísimo campo de búsqueda que tenía *Scirus*, pudimos utilizar aproximadamente 436 millones de títulos de documentos para el cálculo de las magnitudes definidas. Ello nos permite suponer que la información estadística recopilada es una muestra representativa de las actividades de investigación y desarrollo en el mundo. No obstante, tal suposición imprime carácter de hipótesis a las tendencias estadísticas que más adelante presentamos.

*Scirus* condicionaba la exploración atendiendo a los períodos siguientes:

- Publicaciones hasta 1900, sin posibilidades para elegir diferentes intervalos de tiempo.
- Publicaciones desde 1900 hasta 1960 inclusive, con opciones para obtener datos sobre intervalos consecutivos de 11 años: 1900-1910, 1910-1920... 1950-1960.
- Publicaciones desde 1960, con la posibilidad de elegir lapsos consecutivos de uno o más años de duración.

En consecuencia, al desarrollar este trabajo obtuvimos información a partir de 1900 y calculamos todos los valores de las intensidades  $I_c$  e  $I_t$  y del interés  $I_e$  para intervalos de tiempo de duración  $\Delta t = 11$  años.

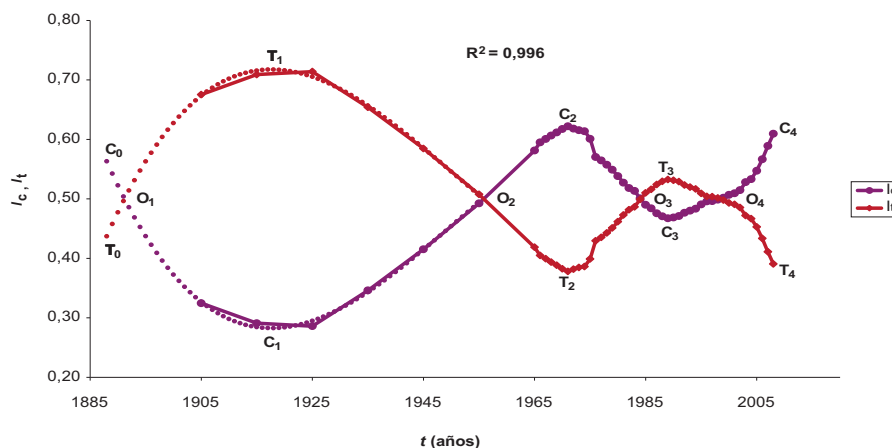
## 1.2. Evolución de las intensidades de las actividades de investigación y de desarrollo

El **Gráfico 1** muestra con polígonos de frecuencias la evolución de las intensidades  $I_c$  e  $I_t$  de las actividades de investigación y de desarrollo. Los puntos que representan datos empíricos son los de mayor tamaño. Tales puntos tienen de abscisa el año situado en la mitad del intervalo de tiempo para el que fueron hallados los valores medios  $I_t$  e  $I_c$ . Al analizar la figura debe considerarse que esos valores medios caracterizan un lapso de duración  $\Delta t = 11$  años. En el gráfico se observan claramente las oscilaciones de  $I_c$  e  $I_t$  y la coincidencia de los valores de dichas magnitudes en los puntos  $O_2$ ,  $O_3$  y  $O_4$ . De este modo queda precisada la forma concreta con que la relación (3) se manifiesta en la realidad. La interpretación posterior de la regularidad detectada será hecha sobre la base de la siguiente suposición:

*Las oscilaciones reveladas de las intensidades medias  $I_c$  e  $I_t$  son una regularidad que data, al menos, del siglo XIX y se puede extender al futuro.*

Los datos empíricos usados para determinar las intensidades analizadas caracterizan las actividades de investigación y desarrollo desde el 1900 solamente. Conforme a la suposición enunciada es posible obtener una idea aproximada de lo sucedido con antelación a 1900, si se extrapolan al pasado las tendencias observadas en la variación de las dos magnitudes. Para ello fueron ajustados sendos polinomios de tercer grado a los puntos comprendidos en el intervalo 1905-1955. Los puntos pequeños en la figura representan el ajuste y la extrapolación mencionados. El coeficiente de correlación de las funciones aproximadas es  $R^2 = 0,996$ . Los procedimientos matemáticos descritos permitieron estimar la fecha (1891) hacia la que pudieron igualarse los valores  $I_c$  e  $I_t$ . Sin embargo, mediante cálculos aproximados no es posible sugerir en torno a qué año del siglo XIX las intensidades  $I_c$  e  $I_t$  alcanzaron sus respectivos máximo y mínimo. Con el análisis cualitativo de la historia de la ciencia y la tecnología hemos estimado hacia qué fecha (aproximadamente 1850) esas magnitudes pudieron alcanzar valores extremos en dicho siglo.

**Gráfico 1. Evolución de las intensidades  $I_c$  e  $I_t$**



237

### 1.3. Evolución del interés hacia ramas específicas del conocimiento

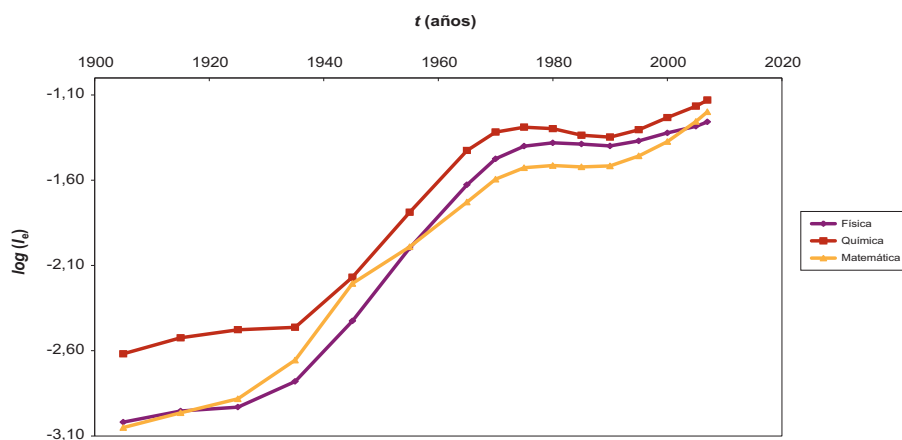
Atendiendo al significado que para la interpretación de las oscilaciones de las intensidades de la investigación y del desarrollo tienen las áreas de ciencias básicas y DHS, a continuación describimos la evolución del interés  $I_e$  hacia esos campos



específicos del conocimiento. Los cálculos de  $I_e$  evidencian variaciones de varios órdenes de magnitud. Por tanto, lo verdaderamente significativo en estas circunstancias es analizar el comportamiento de los logaritmos.

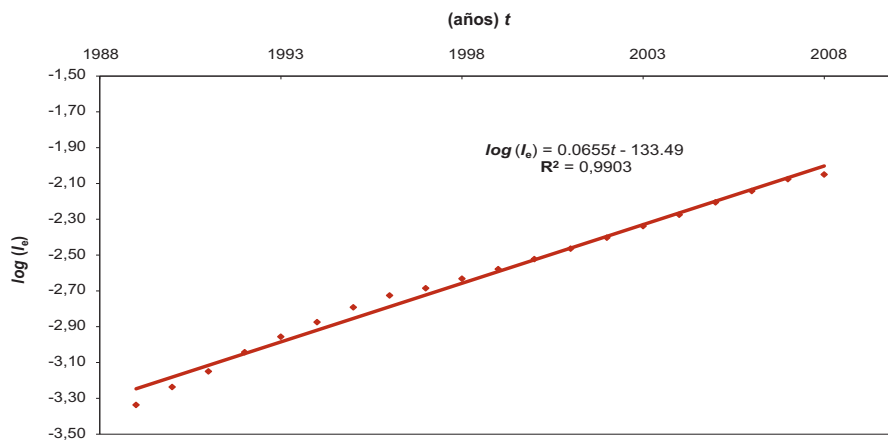
El **Gráfico 2** representa la variación del logaritmo de interés  $I_e$  hacia las áreas de física, química y matemática. Nótese que hasta 1925  $I_e$  aumentaba con relativa lentitud. Después de ese año la magnitud tuvo un crecimiento brusco (prácticamente exponencial) hasta la década de 1960. A partir de entonces el incremento fue menos significativo y finalmente se detuvo. Los valores de la magnitud incluso llegaron a descender, y después de 1990 se activó nuevamente el interés hacia las ramas del saber consideradas.

**Gráfico 2. Evolución del interés le hacia la física, la química y la matemática**



El **Gráfico 3** representa la variación del logaritmo del interés  $I_e$  hacia el DHS desde 1990 hasta 2008. Se aprecia que con un elevado coeficiente de correlación ( $R^2 = 0.99$ ), puede considerarse que la magnitud crece exponencialmente. Un ejemplo de definición (mediante palabras claves y operadores lógicos) de área de conocimiento se especifica en el **Cuadro 1**.

**Gráfico 3. Evolución del interés le hacia el DHS**



**Cuadro 1. Ejemplo de definición de área de conocimiento mediante palabras claves y operadores lógicos**

Campo a definir	Definición mediante palabras clave relacionadas con operadores lógicos
Desarrollo humano sostenible	("Sustainability" or "sustainable development") and ("climate change" or "ozone layer depletion" or "eutrophication" or "acidification" or "toxic contamination" or "urban environmental quality" or "biodiversity" or "cultural landscapes" or "waste generation" or "water resources" or "freshwater quality" or "forest resources" or "fish resources" or "soil degradation" or "desertification" or "population growth" or "GDP growth" or "energy supply" or "human development" or "social equality" or "equity" or "education" or "environmental chemistry" or "environmental geology" or "environmental statistics" or "environmental epidemiology" or "ecology" or "renewable energy" or "wind generator" or "wind turbine" or "photovoltaic generator" or "photovoltaic module" or "fuel cell" or "solar thermal energy" or "geothermal energy")

239

## 2. Fundamentos para el análisis de las tendencias estadísticas detectadas

Conforme a los objetivos del trabajo, deben ser interpretadas las oscilaciones de las intensidades  $I_c$  e  $I_t$ , las tendencias de variación del interés le hacia la física, la química y la matemática y el crecimiento exponencial del interés le hacia el área DHS. Ha de tenerse en cuenta que dichas magnitudes son cocientes que caracterizan la historia de la ciencia y la tecnología con relativa independencia de sucesos particulares como

guerras o crisis económicas mundiales, por importantes que éstas puedan parecer. Así, el interés hacia las ciencias básicas aumentó sostenidamente entre 1900 y 1965, a pesar de dos contiendas bélicas y un período de depresión económica entre ellas (**Gráfico 2**). Los datos estadísticos muestran claramente que durante los años de la Segunda Guerra Mundial disminuyó la cantidad  $M_e$  de publicaciones referidas a la matemática, la física o la química, y al propio tiempo, el total  $N$  de publicaciones generadas. De esta forma la razón  $I_e = M_e / N$  mantuvo su rumbo de crecimiento exponencial en ese período. Análogamente, entre 1940 y 1950 las tendencias al aumento y disminución de las intensidades  $I_c$  e  $I_t$  no se vieron significativamente alteradas por las circunstancias mencionadas (**Gráfico 1**). Lo anterior sugiere buscar la génesis de las regularidades estadísticas observadas, en características propias de la interrelación entre la investigación científica y el desarrollo tecnológico y, también, en acontecimientos sociales de mayor calado que determinadas guerras, decisiones específicas de gobiernos, ciertas crisis o depresiones económicas. Por el papel que en nuestra interpretación atribuimos al concepto de producción material, a continuación se resume su contenido.

## 2.1. Consideraciones sobre el concepto de producción material

Utilizamos el término “trabajo” para denotar el uso consciente de tecnologías en la transformación del mundo circundante. Esa transformación constituye siempre una relación (directa o indirecta) con la naturaleza. Es bien conocida la capacidad de la especie *Pan troglodytes* para fabricar y utilizar inteligentemente herramientas muy simples (McGrew, 2010; Osvath, 2009; Pruetz y Bertolani, 2007). Sin embargo, parecería absurdo afirmar que nuestros parientes vivos más cercanos han constituido algún tipo de formación socioeconómica. Tal vez lo apropiado es atribuir a esa especie y a algunos de nuestros antepasados ya extinguidos (por ejemplo, a los creadores del modo tecnológico olduvayense) solamente la capacidad para trabajar de manera rudimentaria. *Homo sapiens*, en cambio, se distingue no sólo por crear y usar tecnologías mucho más complejas sino también, y especialmente, por establecer relaciones sociales en cuanto al consumo, la distribución y el intercambio de los objetos y resultados del trabajo. En el pensamiento marxista esas relaciones son denominadas de producción. Utilizaremos el término “producción material” para denotar la actividad social que incluye el trabajo y las relaciones de producción. En virtud de la importancia que para el análisis posterior tiene el concepto de relaciones de producción, lo analizaremos brevemente. Por consiguiente, nos referiremos a las nociones de consumo, distribución e intercambio (Marx, 1973, 1975).

Es posible distinguir dos tipos de consumo material humano: el productivo y el individual. Con el primero, el trabajo transforma los medios de producción (incluidos objetos de la naturaleza), dando lugar a los más diversos bienes y, en particular, a nuevos medios de producción. Con el segundo, se gastan los medios de vida personal (como alimentos, ropa, vivienda y útiles para el ocio) y el producto del consumo es el propio consumidor. Con el término “consumo social” denotaremos la unidad del productivo e individual realizado por una población.

Para que exista consumo, debe haber apropiación de algo y, como consecuencia, ciertas formas de propiedad. Las dimensiones y formas de la propiedad (individual,

familiar, sociedad colectiva, estatal, accionarial o de otro tipo) y las posibilidades para controlar bienes, sustentan las relaciones de igualdad o de poder y subordinación entre personas y grupos. Algunas relaciones sociales en cuanto al consumo han sido expresadas cuantitativamente mediante proporciones. Así, por ejemplo, se estima la parte de las familias de una población que tienen ingresos per cápita inferiores a un nivel de pobreza definido o el tanto por ciento de una población con acceso a tecnologías de la información y las comunicaciones.

Las relaciones en cuanto a la distribución y el intercambio de objetos resultan de la división social del trabajo. Esta última supone cierta distribución de medios de producción y de trabajadores y se encuentra ligada a la estructuración de formas de propiedad. Dos ejemplos de relaciones sociales de producción en cuanto a la distribución de bienes materiales son los siguientes: la proporción de capital público y privado en cierto sector de la economía y el tanto por ciento del ingreso bruto mundial que pertenece a un número dado de empresas trasnacionales.

El intercambio de bienes abarca tanto el trueque como la compra y venta de mercancías; actividades donde a fin de cuentas una serie de objetos cambian de dueño. Por consiguiente, las relaciones respecto a la propiedad también son clave en las de intercambio. Atendiendo a la distribución geográfica de los medios de producción se pueden distinguir, por una parte, los países predominantemente exportadores de materias primas e importadores de tecnologías avanzadas, y por otra, los predominantemente exportadores de alta tecnología y grandes consumidores de materias primas. La diferenciación anterior expresa relaciones sociales en cuanto al cambio de bienes. Como en los casos anteriores, se pueden mencionar indicadores cuantitativos de las relaciones sociales de este tipo. Por ejemplo, el coeficiente de concentración de la producción en cuatro (u ocho) empresas se utiliza para caracterizar el poder que tales empresas tienen sobre un sector del mercado.

241

El consumo, la distribución y el intercambio están íntimamente ligados en la producción material. Estos tres aspectos versan sobre la propiedad de bienes y, en general, es totalmente convencional asociar determinada relación de producción con uno solo de ellos. Por ejemplo, el coeficiente de concentración de la producción en varias compañías de un sector de la economía, además de caracterizar el poder de esas empresas en el mercado, refleja la capacidad de consumo productivo de un grupo de compañías y una determinada distribución de medios de producción. Pero, en nuestra opinión, precisar las relaciones de producción como ciertas diferencias y proporciones es aún insuficiente. Las analizamos además como parte del entramado de acciones humanas conscientes a través de las que se manifiestan y modifican (Engels, 1974; Marx, 1976). Acciones tales como la disputa por las patentes, la coerción económica, las conquistas militares de yacimientos minerales, la publicidad comercial y la defensa de la propiedad pública. Consideramos también las interacciones entre sectores de la sociedad, la confrontación de intereses individuales y de grupos que expresan y transforman determinados patrones de consumo, distribución e intercambio de valores de uso.

## 2.2. Condicionamiento mutuo de la tecnología y las relaciones de producción

Las relaciones de producción condicionan directamente la adopción generalizada de determinadas tecnologías en la sociedad. Al propio tiempo, esas relaciones se transforman a medida que son adoptadas nuevas tecnologías. Inmediatamente desarrollamos esta idea clave.

El empleo de una tecnología novedosa se generaliza en la sociedad a través de una red de interacciones humanas mediante las cuales la invención se da a conocer, confronta con otras de su género y se evalúa. El valor de uso de una invención se constata a través del consumo. Al intercambiar productos las personas valoran la relación entre el beneficio esperado de los objetos adquiridos y el coste de obtenerlos y utilizarlos. De este modo determinan sus preferencias y favorecen en mayor o menor medida la difusión de unas u otras tecnologías. Las decisiones de incorporar nuevos medios de producción y otros objetos al consumo social están basadas en la distribución imperante de recursos y la modifican. Como consecuencia de todo el proceso, determinadas tecnologías se abren camino y generan modificaciones más o menos significativas de las relaciones de producción. Por una parte, se transforma lo que se consume, intercambia y distribuye, y por otra, surgen nuevas diferencias sociales en cuanto a la propiedad de medios de producción y el acceso a bienes. Tales modificaciones tienen estímulos y enfrentan resistencias diversas. Así, la instalación inicial de laboratorios en las grandes corporaciones fomentó, por supuesto, la creación de nuevas tecnologías. Pero además, estuvo ligada a la idea de patentar toda posible variación de un aparato, no con el interés de incorporar novedades al mercado sino con el fin de evitar futuros competidores y de garantizar la rentabilidad del capital invertido. Un ejemplo típico de esta segunda intención es el de los Bell Laboratories en sus primeras décadas de vida (Basalla, 2011: 154-160; Biddle, 2014; Reich, 1977).

242

No solamente los creadores, el ambiente natural, las necesidades humanas o la utilidad y la eficiencia de las herramientas diseñadas determinan la adopción generalizada de un invento. Del entramado de interacciones sociales referidas al consumo, distribución e intercambio de tecnologías emerge con los años un conjunto de medios que alcanza mayor difusión y se establece durante un período determinado. Por ejemplo, a partir del siglo XX el uso de motores de combustión interna en los automóviles se impuso sobre el de motores de vapor y electricidad. De forma análoga, la utilización de la electricidad para el alumbrado público triunfó sobre el empleo del gas. Desde mediados de los años 50 del pasado siglo, la electrónica de estado sólido comenzó a desplazar la de válvulas en múltiples aplicaciones. La historia de estas tres líneas de la invención e innovación muestra que determinados individuos o grupos de ellos, al pretender interactuar ventajosamente con el ambiente (incluido el social) idean e intentan aprovechar nuevas tecnologías. Pero tales tentativas pasan inevitablemente el filtro de las relaciones sociales de producción. Estas últimas modulan las intenciones de los creadores y, como resultado de un formidable juego de intereses, al final se imponen determinadas tecnologías. Se trata de la selección social de ciertos medios en el conjunto de posibilidades aportadas por la comunidad de inventores e innovadores y también de la emergencia de necesidades sociales.

### 3. Fases de la relación entre investigación científica y desarrollo tecnológico experimental

El **Gráfico 1** permite observar lo que denominamos fases ascendentes y descendentes de las intensidades  $I_c$  e  $I_t$  de la investigación y del desarrollo:

- Hasta aproximadamente 1920, ascendencia de la intensidad  $I_t$  de los desarrollos tecnológicos (segmento  $T_0O_1T_1$ ) y descendencia de la intensidad  $I_c$  de las investigaciones (segmento  $C_0O_1C_1$ ).
- Desde 1920 hasta 1970, aumento de la intensidad  $I_c$  de las investigaciones (porción  $C_1O_2C_2$ ) y disminución de la intensidad  $I_t$  de los desarrollos tecnológicos (porción  $T_1O_2T_2$ ).
- Entre 1970 y 1990, ascendencia de la intensidad de los desarrollos tecnológicos (segmento  $T_2O_3T_3$ ) y descendencia de la intensidad de las investigaciones (segmento  $C_2O_3C_3$ ).
- Desde 1990 hasta 2008, aumento de la intensidad de las investigaciones (porción  $C_3O_4C_4$ ) y disminución de la intensidad de los desarrollos tecnológicos (porción  $T_3O_4T_4$ ).

Por otra parte, también se aprecian claramente dos períodos de predominio de la intensidad de la actividad de desarrollo y dos en los que prevalece la intensidad de las investigaciones:

243

- Entre 1890 y 1956, predomina la intensidad de los desarrollos tecnológicos (tramo  $O_1T_1O_2$ ).
- Desde 1956 hasta 1984, prevalece la intensidad de la actividad investigadora (porción  $O_2C_2O_3$ ).
- Entre 1984 y 1998, predomina la intensidad de los desarrollos tecnológicos (tramo  $O_3T_3O_4$ ).
- Desde 1998 hasta la actualidad, prevalece la intensidad de la actividad investigadora (porción  $O_4C_4$ ).

Es fundamental interpretar las oscilaciones detectadas de  $I_c$  e  $I_t$ . Por “interpretación” entendemos:

- Asignar contenido social concreto a las relaciones cuantitativas anteriormente presentadas. Esto es, en nuestro caso, adecuar a las tendencias estadísticas detectadas una secuencia de hechos substancialmente ligados de la historia de la ciencia, la tecnología y la producción material.
- Revelar relaciones cualitativas generales, estructuras que se encuentran en la base de las regularidades estadísticas observadas.

La yuxtaposición coherente de hechos de la historia a las tendencias estadísticas supuestas puede tomarse como un indicador de la objetividad de dichas tendencias. A continuación centramos el análisis en las fases ascendentes y descendentes de las intensidades medias de las actividades de investigación y desarrollo.

### 3.1. Fases culminantes hacia 1920

Iniciamos el análisis por la fase ascendente de la intensidad  $I_t$  de la actividad de desarrollo finalizada en torno a 1920. La revolución tecnológica asociada al capitalismo del siglo XVIII condujo al siguiente esquema general de utilización de la energía:

*Motor (de vapor o hidráulico) → dispositivos para la transmisión de energía mecánica → máquina o grupo de máquinas (como las de hilar, tejer, o bombear agua).*

Pero en la segunda mitad del siglo XIX ese patrón de transmisión y consumo de la energía comenzó a ser cambiado como parte de la constante búsqueda de ventajas en el proceso de producción. Entre 1870 y 1920 se definieron y tomaron auge nuevos esquemas de utilización de la energía (Kudriatsev y Konfederatov, 1960: 269-288). Dos de estos esquemas pueden ser representados de forma generalizada de la manera siguiente:

*Estación eléctrica con generador de corriente alterna → transformadores elevadores de tensión → líneas maestras de transmisión de electricidad → transformadores reductores de tensión → líneas de distribución hacia grupos de dispositivos consumidores → grupos de equipos consumidores (motores eléctricos, soldadores, bombillas, telégrafos y teléfonos).*

*Fuel → motor de combustión interna → movimiento de máquinas.*

La introducción de nuevos esquemas de producción y transmisión de la energía estuvo asociada a la transformación de los medios de comunicación. Se expandió la telegrafía, la telefonía y la radio. No solamente el ferrocarril, sino también los automóviles comenzaron a ser ampliamente usados. Estas tecnologías se convirtieron en parte del consumo productivo e individual en buena parte del mundo.

Junto a la nueva energética progresaron también la metalurgia y la industria de la producción de maquinaria, lo que habría sido imposible sin investigar e innovar en torno a la resistencia mecánica de los materiales, a la obtención de aleaciones con las propiedades térmicas deseadas, a la adaptación y creación de maquinaria para alcanzar grandes frecuencias de rotación, usar motores eléctricos y la corriente trifásica. Todo ello supuso desarrollar instrumentos de medidas geométricas, mecánicas, térmicas y eléctricas. En este período tomaron auge las industrias del petróleo, de la conservación de alimentos, del vidrio, de la cerámica y del caucho; la

producción textil y de los colorantes artificiales y se desarrollaron la imprenta, la fotografía y los primeros plásticos (celuloide y baquelita). Las grandes embarcaciones de madera fueron sustituidas por las de metal y comenzaron a emplearse enormes estructuras metálicas para la construcción de edificios (Kudriatsev y Konfederatov, 1960: 267-332; Derry y Williams, 1990; Williams, 1990).

De la revisión detallada de la historia de la tecnología de esta época concluimos que, no obstante la diversidad de las invenciones realizadas, la mayoría se aglutinó en torno a un eje central: el cambio radical de los patrones de transformación, transmisión y consumo de energía y el desarrollo de nuevos medios de comunicación. En relación con esta característica general de la tecnología, es razonable suponer que la fase ascendente de la intensidad de los desarrollos tecnológicos pudo iniciarse en torno a 1850. La suposición se basa en que alrededor de esa fecha ocurrían los acontecimientos siguientes (Derry y Williams, 1990: 484-487, 898-903, 919-922; Kudriatsev y Konfederatov, 1960: 194-231):

- Los servicios regulares de transporte por ferrocarril y de barcos de vapor se consolidaban en el mundo.
- Los motores eléctricos y los generadores de corriente alterna salían de los laboratorios y se realizaban los primeros intentos para utilizarlos en procesos productivos.
- La telegrafía comenzaba a ser ampliamente empleada para la comunicación entre ciudades y países, incluso a través del mar.

245

Los acontecimientos mencionados señalan el establecimiento de las líneas clave de las transformaciones tecnológicas generadas hasta aproximadamente 1920. La creciente intensidad de la actividad de desarrollo tecnológico permitió elevar rápidamente la productividad de las empresas y acelerar la concentración y el crecimiento de la producción industrial. La emergente industria demandaba inversiones de capital sustancialmente superiores, préstamos mayores y bancos más solventes. Las empresas menos prósperas iban quedando fuera del mercado de las nuevas tecnologías y, en general, del mercado. Todo lo anterior estuvo asociado a transformaciones significativas de las relaciones de producción, a la formación de grandes empresas por ramas de la industria, a la creación del gran capital financiero y al tránsito hacia el denominado capitalismo monopolista.

La electrificación de las ciudades, el desarrollo de la telefonía, el uso de la radio y el empleo de automóviles beneficiaron no solamente a la población sino también, y muy especialmente, a las compañías monopolistas, incluidas las financieras. Estas últimas no solo otorgaban créditos mayores, sino que invertían sus capitales en la producción material. Utilizando la información sobre sus clientes y la capacidad para decidir los préstamos, la banca podía influir decisivamente en el movimiento de las inversiones y asegurarse enormes beneficios. En el lapso comprendido entre 1870 y 1910 adquirieron gran poder *Standard Oil Company*, *United States Steel Corporation*, *Bayer*, *General Electric* (inicialmente la compañía de Edison), *Siemens*, *Ford*, *Deutsche Bank*, *Crédit Lyonnais*, *Comptoir National*, *Société Générale* y *Morgan*



*Stanley*. A inicios del siglo XX se reportaba que el 0,9 % de las empresas alemanas disponía de más del 77% de la generación de electricidad. En los Estados Unidos, poco más del 1% de las compañías tenía empleado cerca del 30% de los obreros del país y abarcaba más del 43% de la producción nacional (Lenin, 1961: 4-39; Segura, 2005: 257-280).

Al terminar la Primera Guerra Mundial, las empresas monopolistas ya se habían repartido buena parte del mercado internacional y habían extendido su influencia prácticamente por todo el mundo. Las transformaciones tecnológicas alcanzaron no solamente a los países industrializados, también impactaron sobre regiones menos desarrolladas del mundo, convertidas en objetivo de la exportación imperialista de capitales. En consecuencia, el contenido principal de las transformaciones tecnológicas de esta fase puede ser resumido de la manera siguiente:

- Cambios radicales de los esquemas de transformación, transmisión y utilización de energía. Revolución de los medios de comunicación. Alrededor de estos cambios se aglutinan las más diversas invenciones e innovaciones tecnológicas desde aproximadamente 1850 hasta 1920.
- Crecimiento de la intensidad media  $I_t$  de la actividad de desarrollo tecnológico experimental.
- Introducción de la energía eléctrica y de las nuevas tecnologías de las comunicaciones en el consumo productivo e individual.
- Modificaciones significativas de las relaciones de producción a escala mundial, en torno al eje central de las transformaciones tecnológicas. Establecimiento del capitalismo monopolista en el mundo.

246

Las cuatro características anteriormente mencionadas permiten asociar el intervalo de tiempo considerado a una revolución tecnológica del consumo social (no solamente industrial), representada por el tramo  $T_0O_1T_1$  en el **Gráfico 1**.

Analicemos ahora la fase decreciente de la intensidad de la actividad investigadora. En relación con esta última, hacia 1850 ya se había conformado el cuerpo de conocimientos necesario para iniciar la revolución tecnológica referida. El estudio de los fenómenos electromagnéticos había hecho progresos extraordinarios y estaba consolidado como un campo de especial interés científico. En torno a la fecha señalada se establecieron el primero y segundo principio de la termodinámica y la ley de transformación y conservación de la energía. Así pues, alrededor de 1850 ya se había creado el cuerpo crítico de conocimientos científicos con el que podía comenzar la revolución tecnológica del consumo social a que nos hemos referido. Durante la fase representada por la curva  $C_0O_1C_1$  se desarrolló la electrodinámica, se inició el estudio de la estructura de los átomos y de la comprensión profunda de las propiedades de los elementos químicos (Kudriatsev, 1956: 358-556; Taton et al, 1973: 233-298, 313-316, 340-384).

Un rasgo distintivo de la época fue la acentuada integración de las actividades de investigación y desarrollo. Hacia 1920 ya estaban conformadas la termodinámica

técnica, la electrotecnia, electrónica y radiotecnia. Pero en torno a ese mismo año la actividad de desarrollo había agotado prácticamente el núcleo de la ciencia básica experimental acreditada entonces (mecánica, termodinámica, electrodinámica, óptica geométrica y ondulatoria, química). En tanto, las investigaciones fundamentales y aplicadas no habían tenido tiempo para construir un nuevo cuerpo de conocimientos que sustentara otra revolución tecnológica del consumo, similar a la ocurrida.

La física cuántica había tomado auge, pero no se había estructurado la mecánica cuántica (Taton et al, 1975: 149-168). Es preciso subrayar que una revolución tecnológica como la descrita no se sustenta en un campo único de investigación ni solamente en ciencias básicas, sino en múltiples áreas de conocimiento interrelacionadas, incluida la experiencia productiva acumulada. Cabe pensar que, para poder observar otra transformación radical de la tecnología y del consumo, las actividades de investigación y desarrollo debían construir el sistema crítico de conocimientos teóricos y prácticos necesarios.

Concluimos el análisis de este período de evolución de la ciencia y la tecnología enunciando la siguiente suposición:

A la finalización de cada revolución tecnológica del consumo social, sucede una fase de ascenso de la intensidad de la actividad científico investigadora. Durante el tiempo que ocupa esa fase se prepara el cuerpo crítico de conocimientos teóricos y prácticos que sustentará la siguiente revolución tecnológica del consumo.

### 3.2. Fases de 1920 a 1970

En torno a 1920 se inicia la fase ascendente de la intensidad de las investigaciones ( $C_1O_2C_2$ ), durante la cual tomaron auge la mecánica cuántica, la física nuclear, la teoría de la relatividad (especial y general), la física del estado sólido, los métodos experimentales para el estudio de materiales (entre los que destacan la espectroscopia infrarroja y de rayos X y la microscopía electrónica). La química, de ser una ciencia enfrascada en la búsqueda de sus fundamentos, se convirtió en un área de conocimiento edificada a partir de leyes fundamentales, con creciente impacto sobre otras disciplinas, la industria y la agricultura. Tomó auge la síntesis artificial de compuestos orgánicos y particularmente de polímeros. A partir de la década del 20 se desarrollan la teoría de la información y de las comunicaciones y los modelos de la computación digital, se estudian los procesos estocásticos y se establece la teoría axiomática de las probabilidades. Desde los años 30 comienzan a construirse la teoría de juegos y la programación lineal y con ello se inicia lo que hoy denominamos investigación de operaciones. Todos los campos mencionados de las ciencias básicas sustentaron múltiples investigaciones experimentales y aplicadas y también desarrollos tecnológicos en diversas ramas de la industria, efectuados después de 1920 (Taton et al, 1975: 102-140, 159-168, 210-222, 248-251, 466-485).

Entre las líneas de I+D de los años 1920-1970, particularmente destacadas por sus implicaciones posteriores, se encuentran las siguientes:

- Los estudios teóricos y experimentales en el campo de la física subatómica, cuyas aplicaciones militares pusieron claramente de manifiesto la posibilidad real de los humanos para cambiar la faz del planeta. Un ejemplo de colaboración internacional pacífica en esta área fue la creación del *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN) en 1954.
- Los proyectos de navegación e investigación cósmica, que han posibilitado el avance de la astrofísica y han tenido diversas aplicaciones a la meteorología, las comunicaciones y la detección de la posición de objetos en la superficie terrestre.
- Las investigaciones en física y electrónica del estado sólido, entre cuyos resultados se encuentra la invención del transistor bipolar (1947), la creación de la electrónica del silicio y de los circuitos integrados (1958) y la miniaturización de los dispositivos. Estas invenciones estuvieron fundamentalmente orientadas al control automático y a la computación electrónica digital (Bray, 2009: 149-167; Brock, 2012).
- La aparición de la optoelectrónica cuántica, con sus inicios en la creación de los primeros máseres (1954-1955), la fabricación de los primeros láseres (1960) y la investigación en torno a las fibras ópticas y sus posibilidades de utilización en las comunicaciones (Bray, 2009: 227-249; Photonics.com, 2010; Taton et al, 1975: 355-356).
- Los trabajos sobre la utilización de ordenadores en la resolución de problemas mediante métodos numéricos, la experimentación con modelos matemáticos y la automatización de experimentos y de la producción manufacturada (Tijonov y Kostomarov, 1979: 61-68). En particular, comenzaron los primeros ensayos de comunicación social a través de paquetes de información (*packet switches*) a mediados de la década del 60 (Leiner et al, 2012).

248

Las líneas de investigación y desarrollo mencionadas tuvieron dos características distintivas. En primer lugar, estaban estrechamente ligadas y permitieron construir el sistema crítico de conocimientos, con el que a partir de 1970 comenzó una nueva etapa de la relación tecnología-consumo social: el tránsito hacia la utilización masiva de equipos digitales de computación y comunicación. En segundo lugar, las líneas de investigación indicadas recibieron el sistemático apoyo de los estados de las potencias industrializadas durante el enfrentamiento tecnológico, militar, económico y político de los modos de producción dominantes en aquella época: el capitalismo monopolista y el socialismo soviético.

A continuación consideramos el vínculo que con las relaciones de producción tienen las fases analizadas de la evolución de las investigaciones y de los desarrollos tecnológicos. La revolución tecnológica culminada hacia 1920 evidenció que los resultados de las investigaciones científicas fundamentales y aplicadas, introducidos en el consumo productivo, son una fuerza productiva directa. Por otra parte, desde la primera década del siglo XX ya se comprendía que el desarrollo del conocimiento no podía ser la aventura de mentes brillantes aisladas y que la investigación requería contar con instituciones propias y mayores recursos (laboratorios, profesores asistidos por grupos de estudiantes, trabajadores y técnicos de la investigación). En 1911 se fundó la hoy conocida como *Max Planck Society for the Advancement of Science*, en 1939 el Centre National de la *Recherche Scientifique*, hacia 1914 había

más de 375 laboratorios de investigación en los Estados Unidos y en 1931 la cifra era de 1600. Grandes compañías como *American Telephone and Telegraph Company* y *General Electric* se destacaban por contar con científicos de renombre mundial. Las relaciones de producción fueron adecuadas al fomento de las actividades de investigación y desarrollo y desde el fin de la Segunda Guerra Mundial el capital invertido en I+D pasó a ser una parte apreciable del producto interior bruto de las potencias industriales (NSB, 1976: 3-6; Papon y Barré, 1996).

Hacia 1955 había cambiado la configuración socioeconómica del planeta. Por una parte, los Estados Unidos y los países de Europa occidental constituyeron la OTAN en 1949 y la OCDE en 1960. Por otra, en torno a la Unión Soviética se había conformado el campo socialista europeo, que constituyó el CAME en 1949 y el Pacto de Varsovia en 1955. Estas organizaciones militares y económicas influían significativamente en el consumo, la distribución y el intercambio de capitales y el antagonismo entre ellas expresaba la existencia de relaciones de producción muy diferentes.

Los dos regímenes opuestos requerían la activa participación de sus Estados en el enfrentamiento económico y militar y en la financiación de las investigaciones científicas. Tal vez el ejemplo más claro de la unidad formada por el estado, las empresas monopolistas (capitalistas o socialistas) y la actividad investigadora fue la creación del complejo militar industrial entre los años de la Segunda Guerra Mundial y 1960. En los Estados Unidos, a partir de 1960 las investigaciones fundamentales y aplicadas en gran medida pasaron a depender de los fondos del Gobierno Federal, la mayor parte de los cuales provenía de organismos directamente vinculados a la competencia con la Unión Soviética (NSB, 1976: 13-15), que, con un modo de producción diferente, también construyó su propio complejo militar industrial y dirigía de forma centralizada la actividad investigadora. El partido comunista de ese país declaraba en su programa que la contradicción fundamental del mundo era entonces la existente entre el socialismo y el imperialismo (PCUS, 1961: 32).

249

Entre las características de las actividades de investigación y desarrollo durante el periodo de tiempo considerado destacamos las siguientes:

- Los gastos en I+D pasan a ser una proporción considerable, no coyuntural, del producto interior bruto de los países industrializados.
- Los estados y las empresas monopolistas de los países industrializados conforman una unidad que influye decisivamente en las direcciones de I+D.
- Las aportaciones fundamentales de la I+D se realizan en torno a la confrontación militar y económica de dos regímenes socioeconómicos antagónicos: el capitalismo monopolista y el socialismo soviético.
- Las actividades de investigación y desarrollo se entrelazan como nunca antes, hasta el punto de que se han llegado a caracterizar con el término "tecno-ciencia".

El crecimiento exponencial del interés le hacia la matemática, la física y la química entre 1925 y 1965 (**Gráfico 2**) refleja que en las grandes empresas y Estados de los

países industrializados habían interiorizado la importancia de la I+D, y de la ciencia básica en particular, para la competencia económica y el enfrentamiento político y militar. A partir del año 1970 la intensidad  $I_c$  de las investigaciones científicas comenzó a descender, mientras aumentaba la intensidad  $I_t$  de la actividad de desarrollo tecnológico. De este modo culminaban la fases ascendente ( $C_1O_2C_2$ ) y descendente ( $T_1O_2T_2$ ) de las intensidades de las actividades de investigación y desarrollo (**Gráfico 1**).

### 3.3. Fases de 1970 a 1990

Esta etapa se encuentra asociada a una nueva revolución tecnológica del consumo social en el mundo, operada en los campos de la automatización y las comunicaciones digitales. Tal revolución se llevó a cabo durante el período de tiempo al que corresponde el tramo  $T_2O_3T_3$  (**Gráfico 1**) y tiene de base el cuerpo crítico de conocimientos construido durante las fases de 1920-1970. La incorporación de las tecnologías informáticas digitales al consumo productivo e individual ocurrió con la invención de los microprocesadores, la creación de Internet, el lenguaje HTML, el protocolo http y el desarrollo de la telefonía celular.

Los primeros microprocesadores comerciales fueron fabricados entre 1971 y 1972, pero desarrollados con la finalidad de realizar funciones muy específicas. A partir de 1975 comenzó la fabricación de la primera microcomputadora (Altair 8800) y durante la década del 80 los ordenadores de sobremesa se extendieron por los centros de investigación y desarrollo, las instituciones de educación de diferentes niveles y como utensilios de juego en numerosos países (Betker et al, 1997). Por otra parte, el uso de microprocesadores permitió la difusión de los sistemas de control automático en la industria: *programmable logic controllers* (PLC), *distributed control systems* (DCS) y robots. De este modo, los equipos de procesamiento automático de la información se convirtieron en objetos del consumo productivo e individual en el mundo.

En 1968 ya existía un plan completo aprobado por ARPA (*Advanced Research Projects Agency* de los Estados Unidos) para utilizar los paquetes de información en las comunicaciones. Pero no fue hasta octubre de 1972 que se presentó una demostración exitosa de ARPANET en la *International Computer Communication Conference*. En 1970 se probó la viabilidad de las fibras ópticas para las telecomunicaciones y ese mismo año se produjo la primera onda continua de un láser semiconductor a temperatura ambiente. Hacia 1985 Internet se había introducido como tecnología para sustentar las comunicaciones entre científicos e innovadores y se fomentaba el uso del correo electrónico. En noviembre de 1990 ya estaba creado el lenguaje HTML y definido el protocolo http. En 1993 el CERN decidió hacer la patente libre para todo el mundo y a partir de entonces internet se irá transformando en un elemento indispensable del consumo social (Bray, 2009: 267-285; Griset y Schafer, 2011; Leiner et al, 2012).

En torno a 1970 fue propuesto el uso de la telefonía celular, inicialmente analógica. Su utilización permitía ampliar extraordinariamente la cantidad de clientes mediante la reutilización de frecuencias cuando se pasa de unos clusters de células telefónicas a otros. A inicios de los años 80, la variedad de sistemas analógicos de telefonía móvil

ya era considerable. La introducción de la tecnología digital hizo mucho más eficiente el denominado traspaso (handover), que permite reemplazar un canal de frecuencias por otro durante el cambio de célula. Ello dio lugar a la aparición y difusión de la segunda generación de telefonía móvil (2G) a partir de 1990 (Bray, 2009: 287-293; Dunnewijk y Hultén, 2007).

En resumen, observamos que durante la ascendencia de la intensidad de la actividad de desarrollo entre 1970 y 1990 aproximadamente, tuvo lugar una nueva revolución tecnológica del consumo social. La esencia de dicha revolución fue el tránsito hacia la amplia utilización de sistemas electrónico-digitales para automatizar la adquisición, almacenamiento, procesamiento y comunicación de la información.

A continuación examinamos el vínculo que con las relaciones de producción tuvieron las fases consideradas de la investigación y desarrollo tecnológico. En primer lugar, se mostrará cómo las relaciones de producción imperantes en la época condicionaron el crecimiento de la intensidad  $I_t$  de los desarrollos tecnológicos y la disminución de la intensidad  $I_c$  de las investigaciones. En segundo lugar, se analizará de qué manera las nuevas tecnologías estuvieron vinculadas a las relaciones de producción en los países industrializados.

A fines de la década de los 60 hubo un proceso inflacionista de la economía mundial, seguido por la salida de los Estados Unidos de los acuerdos de Bretton Woods y dos crisis del petróleo (en 1973 y 1979). En los Estados Unidos, aunque aumentaba la cantidad de dinero que a precios corrientes se invertía en I+D, la verdad es que sólo se mantenían e incluso disminuían los fondos reales destinados a esas actividades (NSB 1976: 15-16). Pero desde nuestro punto de vista, más que con los procesos inflacionistas o crisis del petróleo, la fase descendente de las investigaciones y la ascendente de los desarrollos tecnológicos (que duraron unos 20 años), deben ser también relacionadas con fenómenos económicos de mayor alcance. Específicamente, con aquellas transformaciones de las relaciones de producción que condicionaron el establecimiento de las tendencias neoliberales en el mundo.

Las grandes corporaciones transnacionales (GCTN) tienen sus raíces en el capitalismo de los umbrales del siglo XX. Se estima que antes de la Segunda Guerra Mundial al menos el 60% de la inversión de esas empresas en el extranjero se hacía en países subdesarrollados y se orientaba especialmente a la obtención de materias primas. En cambio, hacia 1960 las GCTN invertían en esos países sólo algo más del 30% de sus capitales. Es decir, la exportación de capitales fue redirigida hacia el mundo desarrollado y más bien a la producción industrial (Jones, 1993: 1-20). Las grandes compañías que con anterioridad habían operado ventajosamente en sus países de origen o en los subdesarrollados, ahora debían hacerlo enfrentándose a un creciente mercado internacional y a poderosas empresas foráneas, tanto en el mercado interno como en el exterior. Por ejemplo, si en 1950 sólo el 2% de los productos industriales del mercado de los Estados Unidos eran importados, en 1971 era el 8% y hacia 1993 el 16%. Por otra parte, la inversión directa de GCTN foráneas en el territorio norteamericano obligaba a las empresas autóctonas a competir con otras cuyas casas matrices estaban en el exterior. Así, *General Motors* tuvo que

rivalizar no solamente con los vehículos importados de Toyota y Honda, sino también con los producidos por esas firmas dentro de los propios Estados Unidos (Kotz, 2002).

En el nuevo escenario de distribución de capitales y del mercado de productos de tecnologías avanzadas era necesario potenciar que la I+D estuviera al servicio de la competencia industrial. Desde la perspectiva supranacional las GCTN requerían el apoyo de instituciones internacionales fuertes que les beneficiaran claramente, se erigieran en exponentes del saber económico (por ejemplo, la OCDE y el FMI), trazaran las estrategias económicas internacionales y administraran grandes fondos monetarios (Lave et al, 2010). Desde la perspectiva nacional las grandes empresas preferían Estados que privatizaran a su favor los colosales medios públicos de producción e intervinieran menos en la regulación económica del país, redujeran los impuestos sobre las rentas y la protección de los trabajadores. Puesto que la I+D es una fuente clave de plusvalía, se promovió más la transferencia de los resultados desde los centros públicos a las instituciones privadas. La relajación de la presión fiscal no favoreció que los Estados mantuvieran el ritmo del incremento de la inversión real en I+D. A su vez, para enfrentar la competencia en el mercado de productos industriales tenía sentido priorizar las investigaciones aplicadas y los desarrollos tecnológicos, lo cual se hacía más claro al tener en cuenta que ya estaban desarrollados los fundamentos teóricos de la revolución tecnológica del consumo que se efectuaba. Todo ello es compatible con el estancamiento observado del interés hacia la matemática, la física y la química precisamente entre 1970 y 1990 (**Gráfico 2**).

252

En resumen, a partir de 1960 ocurrieron transformaciones de las relaciones de producción con enorme influencia sobre las actividades de investigación y desarrollo. Por una parte se habían modificado las características de la distribución de capitales (las GCTN los reorientaron preferentemente a los países industrializados). Por otra parte, desde 1970 las grandes empresas reforzaron las influencias para modificar a su favor las relaciones de propiedad, consumo, distribución y mercado (privatizar bienes públicos, disminuir la carga impositiva del estado, reorientar las inversiones en investigación y desarrollo, convertir el conocimiento en mercancía). Así pues, se abrió el camino al establecimiento de la ideología y políticas neoliberales, al aumento de la intensidad  $I_t$  de la actividad de desarrollo y al decrecimiento de la intensidad  $I_c$  de las investigaciones.

Examinemos muy brevemente ahora cómo repercutieron las nuevas tecnologías en las relaciones de producción del mundo capitalista industrializado. La revolución de la automatización y las comunicaciones proporcionó las herramientas necesarias para que durante los años 1990-2000 la producción presentara una nueva fisonomía en esos países. Los sistemas de fabricación a gran escala fueron reemplazados por los flexibles, que permiten la continua reprogramación de la producción. Es decir, ajustarla cuantitativa y cualitativamente a la demanda en el momento que se desee. Se crearon condiciones tecnológicas para que el capital activara el consumo y el mercado. La implantación de los sistemas flexibles implicó la sustitución de los obreros especializados de las cadenas de producción, por instalaciones automatizadas y el empleo de un reducido número de trabajadores de alta calificación



(programadores e ingenieros). El uso generalizado de internet permitió que las empresas realizaran las operaciones financieras a través de la red e introducir el dinero electrónico. Ello trajo como consecuencia la transformación de la estructura del capital constante de las instituciones financieras, que disminuyera la proporción de inversión en edificios y creciera la realizada en medios informáticos. Al propio tiempo, el uso de Internet aumentó extraordinariamente el alcance geográfico, la velocidad y el tamaño de las operaciones financieras y permitió crear un mercado global de reacciones prácticamente instantáneas (Parlamento Europeo, 2000; Valdaliso y López, 2008: 417-480).

De este modo se transformó, por una parte, el consumo y la distribución de fuerza de trabajo y de capital constante en la industria y la banca, y por otra parte; el intercambio de bienes. En particular, los conocimientos científicos se convirtieron claramente en una importante mercancía. Las nuevas tecnologías resultaron adaptadas a las políticas económicas neoliberales. Actualmente son estudiadas las consecuencias que para la comunidad científica ha tenido la globalización del neoliberalismo (Moore et al, 2011; Pavone, 2012; Randalls, 2010).

Entre los países industrializados de la época se encontraban los que formaban el bloque socialista europeo encabezado por la Unión Soviética. Éstos quedaron rezagados en la revolución tecnológica, fundamentalmente como resultado de las relaciones de producción y del sistema político que los caracterizaba. Distintos aspectos de la evolución del denominado socialismo soviético hasta la desaparición de la Unión Soviética han sido rigurosamente examinados (Buzgaliny Linke, 2013; Gerovitch, 2008; PCUS, 1986: 141-168, 280-331). En nuestra opinión, tiene interés y actualidad extraer enseñanzas del derrumbe de aquel modo de producción. Vale la pena analizar críticamente aspectos como los siguientes: 1) el surgimiento y consolidación de una estructura burocrática de control de los medios de producción, excesivamente centralizada y vertical, que obstaculizaba la participación activa de la población en la solución de acuciantes problemas sociales y ambientales; 2) el papel de esa estructura y de su élite en el estancamiento tecnológico durante la revolución de la automatización y las comunicaciones; y 3) la incapacidad de los ciudadanos soviéticos para movilizarse y evitar el deterioro económico y social del país. Desde nuestro punto de vista, estos tres aspectos tienen sus análogos en la sociedad global actual.

Para resumir la caracterización de las fases analizadas destacaremos que la revolución tecnológica del consumo operada aproximadamente entre 1970 y 1990 tuvo las características siguientes:

- Tránsito de la sociedad hacia la amplia utilización de los sistemas electrónico-digitales que automatizan la adquisición, el almacenamiento, el procesamiento y la comunicación de la información.
- Crecimiento de la intensidad de la actividad de desarrollo tecnológico.
- Transformaciones significativas del consumo social y de las relaciones de producción a escala mundial. Establecimiento de políticas económicas neoliberales y crisis del sistema socialista de corte soviético.



Al abordar problemas teóricos y prácticos de la computación y teoría de información clásicas (particularmente los vinculados a la eficiencia de ejecución de los algoritmos, la miniaturización de los dispositivos utilizados, la fiabilidad y la velocidad del procesamiento y transmisión de la información), a partir de la década del 90 comenzaron a desarrollarse la computación y la teoría de la información cuánticas (Nielsen y Chuang, 2009: 2-12). La búsqueda de una base conceptual cualitativamente diferente para la construcción de sistemas de cálculo y comunicación indica que se estaban agotando los fundamentos científicos de la revolución tecnológica del consumo operada entre 1970 y 1990.

Según hemos propuesto, para observar una nueva revolución tecnológica del consumo social es necesario conformar el cuerpo crítico de conocimientos teórico-prácticos que le dé sustento. Suponemos que este proceso comenzó en torno a 1990 con las nuevas fases de la investigación y el desarrollo.

### 3.4. Fases desde 1990 a la actualidad. Implicaciones para el DHS

Prácticamente al iniciarse la década del 90 se renueva el interés le hacia las ciencias básicas. La activación del interés hacia las investigaciones fundamentales podría relacionarse con la estructuración del cuerpo crítico de conocimientos del que se origina una nueva revolución tecnológica del consumo social. Precisamente eso fue lo ocurrido entre 1920 y 1970, cuando se creó la base de conocimientos de la revolución de la automatización y las comunicaciones. Sin embargo, como muestra el **Gráfico 2**, ya no hay margen para esperar un crecimiento espectacular del interés hacia las ciencias fundamentales, similar al experimentado durante la anterior fase ascendente de la actividad investigadora.

Con la publicación del primer informe del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) en 1990, la comunidad científica se estremeció al conocer la posibilidad de que, sin percatarnos, hayamos estado transformando aceleradamente la composición de la atmósfera de la Tierra durante los últimos dos siglos (IPCC, 1990). Es claramente adversa la tendencia general de los cambios ambientales detectados en los últimos años y la humanidad se encuentra ante la impostergable tarea de evitar un desastre irreversible. Por otra parte, lo anterior no puede ser desligado de los niveles de desigualdad existentes en relación con el índice de desarrollo humano, el crecimiento poblacional, el derecho a la paz, el acceso a tecnologías, al agua y la alimentación (IPCC, 2014). Hoy la humanidad se encuentra ante el reto más difícil de su historia que es, enunciado de la forma más positiva posible, lograr el desarrollo humano sostenible.

En los informes sobre la ciencia mundial publicados por la UNESCO en 1996 y 1998, en el apartado “Cuestiones contemporáneas” se incluyen, entre otros, los temas siguientes:

- La relación entre las ciencias de la Tierra y el medioambiente (Berger, 1996).
- El problema de la degradación de la tierra (Verstappen, 1996).
- El problema de la biodiversidad (Di Castri, 1996).

- La biotecnología y el desarrollo (Colwell y Sasson, 1996).
- La relación entre la ciencia y la seguridad alimentaria (Swaminathan, 1998).
- El estado y la utilización de los recursos hídricos del planeta (Shamir, 1998).

Si se compara el informe de la UNESCO de 1993 con los antes mencionados, salta a la vista la diferencia de enfoque. El de 1993 refleja la reactivación de las investigaciones en los campos de la matemática, la física y la química. De conformidad con ello resalta las siguientes líneas de investigación: los nudos y la topología de baja dimensión, el estudio del caos y la dinámica no lineal, la física de partículas, la química del femtosegundo y de los materiales, los CFC y sus alternativas, la construcción del mapa genético de diferentes especies. Solamente un artículo del informe está dedicado específicamente a la cooperación para el desarrollo (Salam, 1993). Sin embargo, los dos informes posteriores, de 1996 y 1998, subrayan claramente cuestiones relativas al DHS y reflejan el inicio de un cambio de la motivación del pensamiento científico global (Lubchenko, 1998). El cambio también lo sugiere el hecho de que a partir del 2000 apareciera una serie de revistas especializadas y artículos en reconocidas publicaciones que tratan sobre la emergente ciencia de la sostenibilidad (Bettencourt y Kaur, 2011; Clark, 2007; Komiya y Takeuchi, 2006; Leemans y Patwardhan, 2009; Vilches et al, 2014).

Suponemos que la fase ascendente  $C_3O_4C_4$  de la actividad investigadora está centrada en el DHS y prepara las condiciones para una nueva revolución tecnológica del consumo en este campo. Dicha suposición se basa en los condicionamientos siguientes:

- La posibilidad real de una catástrofe medioambiental que ponga en peligro a nuestra especie (Rifkin, 2010: 463-481). Tal situación no puede ser enfrentada sin el concurso de la ciencia y la tecnología.
- La imposibilidad de observar un crecimiento espectacular del interés le hacia las ciencias básicas tradicionales y la necesidad de que estas ciencias contraigan el compromiso social de contribuir a establecer los fundamentos para alcanzarla sostenibilidad (Lubchenko, 1998).
- La penetración de toda la I+D por contenidos relativos al DHS. Ello se pone de manifiesto en la alineación de múltiples áreas de trabajo en torno a esos contenidos y, particularmente, en el auge de campos específicos del conocimiento dedicados a tratarlos (ICSU, 2012).
- El crecimiento exponencial del interés le hacia el área del DHS (Gráfico 3). En la actualidad el log (le) tiene para esa área un valor similar al calculado para la matemática, la física o la química hacia 1950 (Gráfico 2). Es decir, los problemas relativos a la sostenibilidad son hoy tan relevantes para la I+D como en su época fueron los solucionados por ciencias básicas líderes. Precisamente en los aportes de esas ciencias líderes se sustentó el cuerpo crítico de conocimientos que dio origen a la revolución tecnológica de 1970-1990.

Las investigaciones en torno al DHS abarcan los temas referidos a la eficiencia energética y al uso de fuentes renovables de energía: producción de electricidad

fotovoltaica, empleo de generadores eólicos, el hidrógeno como vector energético, las redes distribuidas e inteligentes de electricidad entre otros. Incluyen el campo de las ciencias ambientales: ciencias de la atmósfera, ecología, química ambiental, geología ambiental, epidemiología ambiental, estadística ambiental. Están relacionadas con investigaciones sociales sobre economía ecológica, derecho ambiental, ética, relaciones CTSA y educación para la sostenibilidad. No pueden desligarse del DHS la química sostenible, la arquitectura sostenible, la biotecnología, la denominada nanotecnología e investigaciones prometedoras sobre la salud humana; la utilización de células madre y de los conocimientos sobre el genoma para la curación y prevención de enfermedades.

La multiplicidad de temáticas que tratan las investigaciones sobre DHS hace inevitable convertir en centro del conocimiento un universo de interrelaciones entre objetos cualitativamente diferentes. Precisamente ese universo, el de las complejas interacciones sociedad-naturaleza, es el campo de investigación de la ciencia de la sostenibilidad (Vilches et al, 2014). Por ello suponemos que la próxima revolución tecnológica del consumo estará referida no solamente a la invención y uso de las denominadas “tecnologías verdes”, sino también y especialmente a los mecanismos necesarios para la organización científicamente fundamentada del consumo, la distribución y el intercambio de bienes en beneficio del DHS. Nos apresuramos a señalar que concebimos tal organización como resultado de una amplia y activa intervención ciudadana y no simplemente de la labor científica. A continuación nos referimos a algunas características generales de las relaciones de producción que actualmente condicionan la I+D.

256

#### *3.4.1. El dominio de la economía neoliberal en el mundo*

Para comprender por qué las políticas neoliberales se han hecho dominantes, deben ser considerados múltiples factores (Kotz, 2002). Entre ellos se encuentran los siguientes: 1) el estrecho vínculo, ya expuesto, entre las actuales relaciones de producción y la revolución tecnológica de la automatización y las comunicaciones; 2) los éxitos del sistema capitalista en cuanto al desarrollo del estado del bienestar en las sociedades industrializadas y, como consecuencia, la atenuación de la lucha anticapitalista de los trabajadores; y 3) la extinción de la Unión Soviética y del bloque socialista europeo hacia 1990. Con el derrumbe del modo soviético de producción y del campo socialista europeo desapareció, por una parte, la demanda de Estados que regulaban la economía capitalista en el enfrentamiento con tan poderoso adversario y, por otra parte, decayó extraordinariamente la influencia de la ideología marxista capaz de competir con la neoliberal. De esta forma se favoreció que las GCTN privadas adquirieran mayor protagonismo en el consumo, el mercado y la distribución de bienes.

#### *3.4.2. La extraordinaria centralización de la producción en empresas monopolistas*

A partir de los datos económicos sobre las 500 mayores compañías del mundo es posible estimar que desde 2008 hasta 2012 sus ingresos anuales fueron, en promedio, el 36% del PIB mundial, y en 2012 el 40,6 %. Recientemente se ha justificado que en el actual sistema de mercado aproximadamente unas 737 empresas trasnacionales de 43060 (el 1,7%) controlan el 80% del valor accionario total y que el 40% de las acciones del mundo lo dominan unas 147 compañías (Vitali

et al, 2011) De este modo, la consolidación de un grupo de GCTN ha llevado a la aparición de una élite empresarial mundial con capacidad para regular la mayor parte (80%) de la gran producción industrial (tecnología militar incluida), las finanzas y los servicios.

### 3.4.3. *La ineficacia de la estructura burocrática dominante al afrontar el DHS*

Treinta años después de la cumbre de Estocolmo se celebró la de Johannesburgo en 2002. Durante ese lapso se hicieron varias declaraciones de intenciones, se tomaron medidas como respuesta a los retos ambientales y sociales, y se ampliaron y profundizaron considerablemente los conocimientos sobre el estado de nuestro planeta y las vías para lograr el DHS. Sin embargo, no obstante el tiempo transcurrido, el informe de Johannesburgo resalta la continuación del deterioro ambiental y destaca la permanencia de enormes disparidades sociales que podrían conducir a los pobres del mundo a “perder la fe en sus representantes y en los sistemas democráticos que nos hemos comprometido a defender y a empezar a pensar que sus representantes no hacen más que promesas vanas” (ONU, 2002: 3). El informe expresa indirectamente, pero con claridad, las limitaciones de las relaciones de producción imperantes y la necesidad de transformarlas. El texto tiene múltiples referencias a la necesidad de lograr el consumo sostenible, de promover la distribución equitativa y justa de los bienes y de utilizar las relaciones de intercambio y el mercado en beneficio humano.

Un decenio después de la reunión de Johannesburgo se celebró la cumbre Río+20, con una declaración final en la que abundan los reconocimientos a la persistencia de problemáticas, la reafirmación de buenas intenciones y los llamamientos a la acción comprometida (ONU, 2012). Coherente con su título, la declaración pone nuevamente de manifiesto que en las actuales estructuras burocráticas imperantes se comprende perfectamente la situación de emergencia planetaria y que sus élites son capaces de expresar el futuro que queremos. Sin embargo, a 40 años de la reunión de Estocolmo esas élites continuaban y continúan mostrándose incapaces de llevar a cabo acciones efectivas que conduzcan a la solución definitiva de los graves e impostergables problemas que tratan. En nuestros días unos 842 millones de personas pasan hambre en el mundo y la desnutrición causa aproximadamente el 45% de las muertes de niños menores de 5 años en el planeta (WFP, 2013). Recientemente los especialistas en clima han ratificado que las concentraciones de gases de efecto invernadero crecerán continuamente y que el cambio climático tendrá efectos catastróficos para muchos habitantes del planeta (ICCP, 2013, 2014).

La extraordinaria centralización del control de la producción y las estructuras burocráticas dominantes, inadecuadas para conformar la amplia, activa y efectiva participación de los ciudadanos en la solución de acuciantes problemas ambientales y sociales, recuerdan las raíces de la desaparición de la URSS. A más de cuarenta años de la cumbre de Estocolmo no podemos creer que esas mismas estructuras favorecerán una revolución tecnológica del consumo que, basada en profundos cambios de las relaciones de producción, asegure un futuro sostenible para todos.

Ante los retos ambientales, económicos, de construcción democrática y de supervivencia humana, cabe esperar que en la diversidad de relaciones sociales

actuales se descubran múltiples caminos emergentes que conduzcan al desarrollo humano sostenible. Se trata no solamente de crear y extender tecnologías compatibles con el entorno, sino también, y muy especialmente, de transformar por distintos caminos las relaciones imperantes de consumo, distribución e intercambio de bienes materiales. Por ello, consideramos que en los próximos años crecerá el interés de la I+D hacia el área de las ciencias sociales.

## Conclusión

Sobre la base del análisis estadístico de numerosas publicaciones, hemos identificado varias regularidades cuantitativas del desarrollo de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico en el mundo. Entre esas regularidades se han destacado las oscilaciones acopladas de las intensidades  $I_c$  e  $I_t$  de dichas actividades y el crecimiento exponencial del interés hacia el área de desarrollo humano sostenible.

Hemos interpretado las tendencias estadísticas detectadas, yuxtaponiéndolas a hechos de la historia de la ciencia, de la tecnología y de los procesos socioeconómicos. Tal yuxtaposición justifica y reafirma la idea de que ciencia, tecnología y sociedad conforman un sistema que evoluciona como un todo. Para describir esa evolución introdujimos el concepto de revolución tecnológica del consumo social.

258

Desde la década de 1850 hasta la actualidad han ocurrido dos revoluciones tecnológicas del consumo social en el mundo. Las características generales de estas revoluciones son las siguientes:

- Emergencia de unos pocos campos de la tecnología sometidos a transformaciones radicales durante un período determinado. Dichos campos se convierten en el eje central de la actividad de I+D en ese tiempo.
- Fase ascendente de la intensidad  $I_t$  de la actividad de desarrollo tecnológico.
- Incorporación paulatina de las tecnologías revolucionarias tanto al consumo productivo como al individual.
- Variaciones significativas de las relaciones de producción a escala global y en torno a la línea principal de las transformaciones tecnológicas.

Hemos inferido que cada revolución tecnológica del consumo social es sucedida por un período de ascenso de la intensidad de la actividad científico investigadora y de descenso de la intensidad de la actividad de desarrollo. Durante el tiempo que ocupan esas dos fases se prepara el cuerpo crítico de conocimientos teóricos y prácticos que sustentará la siguiente revolución tecnológica del consumo.

Suponemos que en estos momentos la comunidad científica se encuentra enfrascada en crear el sistema crítico de conocimientos con el que se iniciará una nueva revolución tecnológica del consumo social, cuyo eje central será el DHS.

Pensamos que esa revolución se referirá no solamente al modo de emplear la naturaleza y las denominadas “tecnologías verdes”. Creemos que la sociedad podrá idear y sustentar científicamente procedimientos de control sobre la propiedad, el consumo, la distribución y el intercambio de bienes. Por lo tanto, esperamos que se favorezca el crecimiento significativo del interés de la I+D hacia las relaciones CTSA, la historia, la filosofía, la economía política y otras ciencias sociales y que los estudios en estos campos se integren definitivamente con las investigaciones sobre la naturaleza y la tecnología. Muy posiblemente la emergente ciencia de la sostenibilidad desempeñe un papel clave en esa integración. Estamos convencidos de que la búsqueda del desarrollo humano sostenible será una orientación principal (tal vez la orientación principal) de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico experimental en el mundo durante los próximos años.

En apretada síntesis hemos intentado argumentar las afirmaciones anteriores. ¿Cuánto tiempo demorará construir la base de conocimientos científicos que sustente la revolución tecnológica del desarrollo humano sostenible? ¿Será posible tal revolución? Las fases ascendentes y descendentes de las intensidades de las actividades de investigación y desarrollo han tenido más de 20 años de duración. Si son ciertas las regularidades detectadas, es necesario alertar de que posiblemente el planeta no está en condiciones de esperar tantos años para iniciar las transformaciones necesarias del consumo, la distribución y el intercambio de bienes en el mundo. Sea esta una voz de alarma más, por la seguridad de nuestra especie.

259

## Bibliografía

ACEVEDO, J. A. (2006): “Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: un análisis social e histórico”, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, vol. 3, n° 2, pp. 198-219.

BAR-ILAN, J. (2008): “Informetrics at the beginning of the 21st century – A review”, *Journal of Informetrics*, vol. 2, n° 1, pp. 1-52.

BASALLA, G. (2011): *La evolución de la tecnología*, Barcelona, Crítica.

BERGER, A. R. (1996): “Geoscience and the environment: understanding human impacts on natural processes”, en H. Moore (ed.): *UNESCO World Science Report 1996*, París, UNESCO Publishing, pp. 225-235.

BETKER, M. R.; FERNANDO, J. S. y WHALEN, S. P. (1997): “The history of the microprocessor”, *Bell Labs Technical Journal*, vol. 2, n° 4, pp. 29-56.

BETTENCOURT, L. M. A. y KAUR, J. (2011): “Evolution and structure of sustainability science”, *PNAS*, vol. 108, n° 49, pp. 19540-19545.

BIDDLE, J. B. (2014): "Can patents prohibit research? On the social epistemology of patenting and licensing in science", *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, vol. 45, n° 1, pp. 14-23.

BRAY, J. (2009): *Innovation and the communications. Revolution from the Victorian pioneers to broadband Internet*, Londres, Institution of Engineering and Technology.

BROCK, D. C. (2012): "From automation to Silicon Valley: the automation movement of the 1950s, Arnold Beckman, and William Shockley", *History and Technology*, vol. 28, n° 4, pp. 375-401.

BUZGALIN, V. y LINKE, P. (2013): *URSS. Un proyecto inacabado*, Moscú, URSS (en ruso).

CLARK, W. C. (2007): "Sustainability Science: A room of its own", *PNAS*, vol. 104, n° 6, pp. 1737-1738.

COLWELL, R. y SASSON, A. (1996): "Biotechnology and development", en H. Moore (ed.): *UNESCO World Science Report 1996*, París, UNESCO Publishing, pp. 253-268.

DERRY, T. K. y WILLIAMS, T. I. (1990): *Historia de la tecnología. Desde 1750 hasta 1900*, Madrid, Siglo XXI.

260 DI CASTRI, F. (1996): "Biodiversity", en H. Moore (ed.): *UNESCO World Science Report 1996*, París, UNESCO Publishing, pp. 242-252.

DUNNEWIJK, T. y HULTÉN, S. (2007): "A brief history of mobile communication in Europe", *Telematics and Informatics*, vol. 24, n° 3, pp. 164-179.

ENGELS, F. (1974): "Carta a José Bloch", en C. Marx y F. Engels: *Obras escogidas Tomo III*, Moscú, Editorial Progreso, pp. 514-516.

GEROVITCH, S. (2008): "InterNyet: why the Soviet Union did not build a nationwide computer network", *History and Technology: An International Journal*, vol. 24, n° 4, pp. 335-350.

GRISSET, P. y SCHAFFER, V. (2011): "Hosting the World Wide Web Consortium for Europe: from CERN to INRIA", *History and Technology: An International Journal*, vol. 27, n° 3, pp. 353-370.

ICSU (2012): "Future Earth Research for Global Sustainability". Disponible en: <http://www.futureearth.org/who-we-are>.

IPCC (1990): *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment Contribution of Working Group I*, Cambridge, Cambridge University Press.



IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press.

IPCC (2014): *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability*. IPCC Working Group II. Contribution to AR5. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.

JONES, G. (1993): "Introduction: Transnational Corporations – A Historical Perspective", en G. Jones y J. H. Dunning (eds.): *Transnational Corporation: A Historical Perspective*. Volume 2, Londres, Routledge, pp. 1-20.

KOMIYAMA, H. y TAKEUCHI, K. (2006): "Sustainability science: building a new discipline", *Sustainability Science*, vol. 1, n° 1, pp.1-6.

KOTZ, D. M. (2002): "Globalization and Neoliberalism", *Rethinking Marxism: A Journal of Economics, Culture & Society*, vol. 14, n° 2, pp. 64-79.

KUDRIATSEV, P. S. (1956): *Historia de la física Tomo I*, Moscú, Prosveshenye (en ruso).

KUDRIATSEV, P. S. y KONFEDERATOV, I. Y. A. (1960): *Historia de la física y de la técnica*, Moscú, Prosveshenye (en ruso).

LAVE, R., MIROWSKI, P. y RANDALLS, S. (2010): "Introduction: STS and Neoliberal Science", *Social Studies of Science*, vol. 40, n° 5, pp. 659-675.

261

LEEMANS, R. y PATWARDHAN, A. (2009): "The inaugural issue of Current Opinion in Environmental Sustainability", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 1, n° 1, pp. 1-3.

LEINER, B. M., CERF, V. G., CLARK, D. D.; KAHN, R. E., KLEINROCK, L., LYNCH, D. C.; POSTEL, J., ROBERTS, L. G. y WOLFF, S. (2012): "Brief history of the Internet". Disponible en: <http://www.internetsociety.org/brief-history-internet>.

LENIN, V. I. (1961): *El imperialismo fase superior del capitalismo*, Moscú, Progreso.

LUBCHENKO, J. (1998): "Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science", *Science*, vol. 279, n° 5350, pp 491-497.

MARX, C. (1973): "El proceso de trabajo", *El Capital*, La Habana, Ciencias Sociales, pp. 139-147.

MARX, C. (1975): "Introducción a la crítica de la Economía Política", *Contribución a la crítica de la economía política*. La Habana, Ciencias Sociales, pp. 221-259.

MARX, C. (1976): "Tesis sobre Feuerbach", en C. Marx y F. Engels: *Obras escogidas Tomo I*, Moscú, Editorial Progreso, pp. 7-10.



MC GREW, W. C. (2010): "Chimpanzee technology", *Science*, vol. 328, n° 4, pp. 579-580.

MOORE, K., KLEINMAN, D. L., HESS, D. y FRICKEL, S. (2011): "Science and neoliberal globalization: a political sociological approach", *Theory and Society*, vol. 40, n° 5, pp. 505-532.

NIELSEN, M. A. y CHUANG, I. L. (2009): *Quantum Computation and Quantum Information*, Cambridge, Cambridge University Press.

NÚÑEZ, J. y FIGAREDO, F. (2008): "CTS en contexto: la construcción social de una tradición académica", en J. Núñez, L. F. Montalvo y F. Figaredo (comps.): *Pensar Ciencia, Tecnología y Sociedad*, La Habana, Editorial Félix Varela, pp. 1-30.

NSB (1976): *Science at the Bicentennial. A Report from the Research Community*, Washington, U.S. Government Printing Office.

OECD (2002): *Frascati Manual*, París, OECD Publication Service.

ONU (2002): "Informe de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible. Johannesburgo pp. 65-66. A/CONF.199/20. Naciones Unidas, Nueva York". Disponible en: <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/doconf.htm>.

ONU (2012): "Resolución aprobada por la Asamblea General el 27 de julio de 2012. El futuro que queremos. Resolución A/RES/66/288". Disponible en: [http://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/66/288&Lang=S](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/66/288&Lang=S).

OSVATH, M. (2009): "Spontaneous planning for future stone throwing by a male chimpanzee", *Current Biology*, vol. 19, n° 5, pp. R190-R191.

PAPON, P. y BARRÉ, B. (1996): "Science and technology systems: a global overview", en H. Moore (ed.): *UNESCO World Science Report*, París: UNESCO Publishing, pp. 8-22.

PARLAMENTO EUROPEO (2000): "Directiva2000/46/EC". Disponible en: <http://www.toezicht.dnb.nl/en/binaries/51-216983.pdf>.

PAVONE, V. (2012): "Ciencia, neoliberalismo y bioeconomía", *Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad – CTS*, vol. 7, n° 20, pp. 145-161.

PCUS (1961): *Programa del Partido Comunista de la Unión Soviética*, Moscú, Gospolitiadat (en ruso).

PCUS (1986): *Materiales del XXVII Congreso del Partido Comunista de la Unión Soviética*, Moscú, Izdatelstvo Politicheskoy Literaturi (en ruso).

PHOTONICS.COM (2010): "Laser Timeline". Disponible en: [www.photonics.com/LinearChart.aspx?ChartID=2](http://www.photonics.com/LinearChart.aspx?ChartID=2).

PRUETZ, J. D. y BERTOLANI, P. (2007): "Savanna Chimpanzees, Pan troglodytesverus, Hunt with Tools", *Current Biology*, vol. 17, nº 5, pp. 412-417.

RANDALLS, S. (2010): "Weather profits: Weather derivatives and the commercialization of meteorology", *Social Studies of Science*, vol. 40, nº 5, pp. 705-730.

REICH, L. S. (1977): "Research, patents, and the struggle to control radio: A study of big business and the uses of industrial research", *Business History Review*, vol. 51, nº 2, pp. 208-235.

RIFKIN, J. (2010): *La civilización empática. La carrera hacia una conciencia global en un mundo en crisis*, Barcelona, Paidós.

ROUSSEAU, R. y YANG, L. (2012): "Reflections on the activity index and related indicators", *Journal of Informetrics*, vol. 6, nº 3, pp. 413- 421.

SALAM, A. (1993): "Cooperation for development" en *UNESCO World Science Report 1993*, París, UNESCO Publishing, pp. 166-173.

SÁNCHEZ RON, J. M. (2011): *La nueva ilustración: ciencia, tecnología y humanidades en un mundo interdisciplinar*, Oviedo, Nobel, D. L.

SEGURA, F. S. (2005): *Historia económica*, Madrid, Ediciones Académicas.

SHAMIR, U. (1998): "Science and the management of water" en H. Moore (ed.): *UNESCO World Science Report 1998*, París, UNESCO Publishing, pp. 260-272.

SWAMINATHAN, M. S. (1998): "Science and food security", en H. Moore (ed.): *UNESCO World Science Report 1998*, París, UNESCO Publishing, pp. 248-259.

TATON, R. (1973): *Historia general de las ciencias. Volumen III*, Barcelona, Ediciones Destino.

TATON, R. (1975): *Historia general de las ciencias. Volumen IV*, Barcelona, Ediciones Destino.

TÍJONOV, A. N. y KOSTOMAROV, D. P. (1979): *Relatos sobre matemática aplicada*, Moscú, Nauka (en ruso).

VALDALISO, J. M. y LÓPEZ, S. (2008): *Historia Económica de la Empresa*, Barcelona, Crítica.

VALDÉS, P., VALDÉS, R., GUISSASOLA, J. y SANTOS, T. (2002): "Implicaciones de las relaciones ciencia-tecnología en la educación científica", *Revista Iberoamericana de Educación*, vol.1, nº 28, pp. 101-128.

VERSTAPPEN, H.T.H. (1996): "Land degradation", en H. Moore (ed.): *UNESCO World Science Report 1996*, París, UNESCO Publishing, pp. 236-241.