

El *green-hype* nanotecnológico y la desmaterialización de la economía

Gian Carlo Delgado Ramos*

Se puede decir que, en general, el potencial beneficio de las aplicaciones nanotecnológicas no parece estar en el proceso de elaboración del producto final *per se* (por lo menos en el corto-mediano plazo), sino en el proceso de su uso, pues podría contraer el consumo energético de fuentes no-renovables (uso de nano-fotoceldas en electrónicos); reducir el empleo de energía y materiales para que la fabricación de ese mismo producto sea a través de la mejora del proceso productivo como tal (mejores y más resistentes medios de producción, insumos *ad hoc*, etc) o mediante la extensión del tiempo de vida del mismo (una cuestión contradictoria para el sistema capitalista de producción pues obliga una caída de la tasa de ganancia), o para incrementar la capacidad de su reciclamiento (en ciertos casos).

Muchas son las aplicaciones potenciales de la nanotecnología¹. No obstante, por el momento, casi todas giran en torno al perfeccionamiento

de materiales existentes (a veces transformando sus propiedades completamente) y en la innovación de nuevos materiales.

Los materiales nanodiseñados pueden ser utilizados en productos de lujo como bolas de tenis, golf o boliche (a modo de reducir el número de giros que dan las mismas), nanopartículas para la fabricación de neumáticos de alto rendimiento; fibras para la fabricación de telas con propiedades anti-manchas o antiarrugas; nanopartículas para cosméticos y fármacos; filtros/membranas de agua nanoes-

* Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental, Universidad Autónoma de Barcelona.

¹ La descripción lingüística más adecuada de nanotecnología, tal vez sea aquella contenida en las definiciones oficiales y que en general coinciden en que se trata de una tecnología que opera a la *nano* escala, es decir que trabaja en dimensiones de entre 10^{-6} a 10^{-9} de metros, o siendo más precisos, aquella que, como indica la Royal Society, opera manipulando estructuras y sus interacciones de entre los 100 nanómetros (nm) hasta el tamaño de los átomos (aproximadamente 0.2nm). Ello responde a que a esa (nano) escala las propiedades de los materiales pueden ser muy diferentes que aquéllas a la macro escala (Royal Society, julio de 2004). No obstante, algunas disciplinas como

la denominada nanofotónica, siguen esencialmente haciendo el mismo tipo de investigaciones que cuando se denominaba “fotónica”. El caso es compartido por otras áreas de conocimiento científico-tecnológico, lo que sugiere que dicha tendencia de disciplinas madres e hijas (nano) sea reflejo de una debilidad de las fronteras entre las disciplinas que operan a una misma escala pero no como producto de una convergencia espontánea sino como consecuencia del avance del conjunto de fuerzas productivas capitalistas de fines del siglo XX y de lo que va del XXI. Para una reflexión sobre la problemática de definir lo que es nanotecnología, véase: Delgado, Gian Carlo, “Sociología Política de la Nanotecnología Civil y Militar” en Foladori e Invernizzi (eds), *Nanotecnologías*

disruptivas, Porrúa, México, 2006. Para una breve reflexión del autor sobre la complejidad de la nanotecnología, léase: Delgado, Gian Carlo, “Promesas y Peligros de la Nanotecnología” en *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, núm. 9. España, enero-junio de 2004, <www.ucm.es/info/nomadass/9/giandelgado.htm>.

estructurados y ‘remedios’ medioambientales; mejora de procesos productivos mediante la introducción de materiales más resistentes o eficientes; o el diseño de nuevos materiales para usos que van desde la electrónica, la aeronáutica y toda la industria del transporte, hasta para su uso en armas más sofisticadas y novedosas (explosivos, balística, materiales antibala y *stealth*, etcétera).

Las propiedades de tales materiales nanoestructurados, sustento de esas y otras aplicaciones, han generado una doble atención. Por un lado, se observan los amplios beneficios que posibilitaría la reestructuración de prácticamente todo el entorno material que nos rodea. Y, por el otro lado, se identifican las posibles implicaciones que esa transformación generaría en el medio ambiente y de ahí, en la salud puesto que estarían presentes novedosas nanopartículas y nanoestructuras cuyas características, en su gran mayoría, son todavía desconocidas (véase los numerosos Informes oficiales de Estados Unidos o la Unión Europea que lo corroboran)².

La incertidumbre es tal que, además de organismos como el ETC Group³ o Greenpeace⁴, incluso compañías aseguradoras como la Compañía Aseguradora Suiza o Allianz AG (Alemania) ya han hecho expresa su preocupación⁵.

La presente reflexión más allá de ahondar en los potenciales impactos ambientales y a la salud *per se*, indaga críticamente en las exageraciones a cerca del potencial “verde” de la nanotecnología o lo que podríamos calificar como el *green-hype* de la nanotecnología pues se perfila como un aspecto que viene plagando en un grado u otro el discurso

convencional pero que no necesariamente corresponde a las verdaderas dimensiones del plausible potencial de tal o cual aplicación de este novedoso frente tecnológico.

Una de las argumentaciones que mejor sirve para mostrar esa *green-hype* es la que gira entorno a la potencial funcionalidad de la nanotecnología para lograr la *desmaterialización de la economía* (o la reducción absoluta / relativa de la cantidad de materiales necesarios para el funcionamiento de la economía)⁶; una perspectiva extendida (e.g. por la EPA⁷) que, ‘fácilmente’ ha provocado en el ‘público’ una vinculación y confusión dimensional entre las proporciones de la escala de manipulación de la materia (nanométrica) con la reducción misma del contenido de materia del producto final y la supuesta minimización del uso de materia en el proceso de su producción. Sin embargo, la manipulación a escala nanométrica, al menos por el momento y seguramente en el corto-mediano plazo, no necesariamente implica un uso “mini” de materiales, ni en el proceso mismo de manipulación, ni mucho menos si se revisa la totalidad del sector *nano* (centros de investigación, de manufactura, etc). No obstante sí se pueden visualizar potenciales beneficios tanto en términos objetivos como subjetivos.

En este sentido, para juzgar con mayor atino la amplitud de su potencial, es pertinente observar la totalidad de la *mochila ecológica* que carga consigo cada aplicación nanotecnológica y que considera el producto, no solamente desde la “cuna a la tumba”, sino más aún, de la “cuna a la

² Por ejemplo: 1) Roco, Mihail C., and Bainbridge, William S., *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, National Science Foundation, EUA, marzo de 2001. 2) Renzo, Tomellini and Roco, Mihail C., *Nanotechnology Revolutionary Opportunities and Societal Implications*. European Commission. Belgica, febrero de 2002. 3) Environmental Protection Agency EPA, *Nanotechnology and the environment: Applications and Implications*, Washington, EUA, agosto de 2002. 4) Roco, Mihail. C., and Bainbridge, William S. *Nanotechnology: Societal Implications – Maximizing Benefits For Humanity*, National Nanotechnology Initiative. EUA, 3-5 de diciembre de 2003. 5) Royal Society, *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. Londres, Julio de 2004. 6) Department for Environment, Food and Rural Affairs, *Characterising the Potential Risks Posed by Engineered Nanoparticles*. UK Government. Londres, 2005.

³ La referencia clásica de ETC Group es: *The Big Down: From Genomes to Atoms*, Canadá, enero de 2003. Para otras publicaciones sobre la temática, consúltese su página electrónica: <www.etcgroup.org>.

⁴ Arnall, Alexander H., *Future Technologies, Today's Choices*. Greenpeace Environmental Trust. Londres, julio de 2003.

⁵ Véase: 1) Hett, Ammabelle. *Nanotechnology: Small Matter, Many Unknowns*. Swiss Reinsurance Company. Suiza, 2004; 2) Lauterwasser, Christoph, *Opportunities and Risks of Nanotechnologies*. Allianz AG. Center for Technology / OECD. Londres, junio de 2005.

⁶ En 1988 Robert Herman, Siamak Ardekani y Jesse Ausubel comenzaron a explorar la cuestión de si la “desmaterialización” de las sociedades humanas estaba aconteciendo. Entonces la desmaterialización era definida como el descenso del peso de los materiales usados en productos industriales finales a lo largo del tiempo o en el contenido de energía de los mismos (Véase: Herman, Robert., Ardekani, Siamak., Ausubel, Jesse, “Dematerialization”, en Ausubel, y Sladovich, Hedy (Eds), *Technology and Environment*. National Academy Press. Washington, D.C. 1989).

⁷ Por ejemplo, la *Environmental Protection Agency* (EUA) suscribe textualmente que: “...Nanotechnology can be of benefit to environmental protection in applications such as reducing use of raw and manufactured materials (dematerialization), minimizing or eliminating the generation of wastes and effluents, and reducing toxics.” (“Nanotechnology: Basic Information”, Página electrónica de la EPA. En: <http://es.epa.gov/ncer/nano/questions/index.html>). Véase esta misma concepción en: Choi, Kyungchee, “Ethical Issues of Nanotechnology in Development in the Asia-Pacific Region”, UNESCO – Regional Unit for Social & Human Sciences in Asia and the Pacific, Bangkok, 5-7 de noviembre de 2003, p. 341. El autor asegura que: “...the development in nanotechnology might...contribute to dematerialization resulting in less environmental impact from the extraction, transport, manufacture, use and disposal of materials” (*Ibid*).

cuna”⁸. Para ello, parece pertinente una revisión detenida del metabolismo (interno y externo) o del movimiento de flujos de energía y materiales que requiere no solamente la producción de tal o cual nano-producto, sino el funcionamiento del sector como tal (claro está que la borrosa definición de lo que es el sector de la nanotecnología complejiza el asunto). Debe advertirse que lejos de avocarse a presentar este ejercicio analítico en particular, lo que interesa ahora es más bien mostrar las líneas generales de esa sugerencia.

El análisis de los flujos de energía y materiales de la economía es un aspecto ampliamente estudiado por la Economía Ecológica⁹ y, en un ámbito más puntual –el del *metabolismo industrial*– por la Ecología Industrial¹⁰. Tal perspectiva aproximativa sobre el metabolismo socioeconómico observa el funcionamiento de los sistemas productivos humanos como sistemas abiertos y por tanto en un grado u otro no-sustentables. Esto es porque, a decir de Ayres, “los sistemas industriales no reciclan sus nutrientes” dado que se trata de ‘sistemas abiertos’. Ayres precisa:

...Un sistema es *cerrado* si no hay recursos o vertederos externos. En este sentido, la Tierra como un todo es esencialmente un sistema cerrado, excepto por un meteorito ocasional...Un sistema cerrado se constituye en un *ciclo cerrado* si el sistema está también en un estado estático, si los *stocks* en cada compartimento son constantes y no cambian, por lo menos en promedio. La condición de un balance material implica que los inputs materiales de cada

⁸ Friedrich Schmidt-Bleek propone el concepto de “mochila ecológica a partir de desarrollar lo que denominó Input Material por Unidad de Servicio (MIPS – Materials Intensity Per Service Unit). Sintéticamente lo que el MIPS intenta medir son los flujos de materiales y energías que incorpora la extracción de un recurso o la fabricación y tiempo de vida de un producto (Schmidt-Bleek, Friedrich, *The fossil makers*, Boston, 1993. Disponible en la página del Factor 10 Institute de Austria: <www.faktor10.at>.

⁹ Véase, por ejemplo: 1) Georgescu-Roegen, Nicholas, *The entropy law and the economic process*, Harvard University Press, Cambridge, 1971; 2) Martínez-Alier, Joan, *Ecological Economics, Energy, Environment and Society*, Basil Blackwell, Oxford, 1987; 3) Martínez-Alier, Joan y Roca Jusmet, Jordi, *Economía Ecológica y Política Ambiental*, Fondo de Cultura Económica, México, 2000; 4) Adriaanse et. al., *Resource flows*, World Resource Institute, Washington, 1997; 5) Matthews et al. *The Weight of Nations*, World Resource Institute, Washington, 2000; 6) Eurostat. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators*. Statistical Office of the European Communities. Bruselas, 6 de marzo de 2001.

¹⁰ 1) Ayres, Robert. “Industrial Metabolism: Theory and Policy” en, *The Greening of Industrial Ecosystems*. National Academy Press, Washington, 1994; 2) Ayres, Robert U., y Simonis, Udo E. *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development*. The United Nations University, Tokyo/Nueva York, Paris, 1994.

compartimento debe estar exactamente balanceado con el de los outputs (en promedio)...Es fácil dar cuenta que un ciclo cerrado de flujos puede ser sostenido indefinidamente solo por medio de un continuo flujo de energía libre. Ello se deriva inmediatamente de la segunda ley de la termodinámica que indica que la entropía global incrementa en cada proceso reversible...Un sistema abierto, por el contrario, es inherentemente inestable y no-sustentable. Debe o estabilizarse o colapsarse respecto a un punto de equilibrio térmico en el que todos los flujos o todos los procesos físicos y biológicos acaben [...En este sentido] un sistema industrial es un sistema abierto en el que los ‘nutrientes’ son transformados en ‘desechos’ pero no son significativamente reciclados. El sistema industrial de hoy en día es por tanto no-sustentable [...contexto en el que] las escalas de tiempo han sido drásticamente acortadas¹¹.

Entonces, visto desde la perspectiva del metabolismo industrial, el análisis de las características y el funcionamiento concreto del *metabolismo nano-industrial* parece colocarse como una herramienta de medición que ayuda a disipar cualquier exageración sobre el potencial de la nanotecnología para la desmaterialización de la economía al tiempo que, como escribe Lekas, “...una perspectiva de la ecología industrial puede ayudar a entender el tipo y la extensión de los impactos ambientales de la nanotecnología¹².”

Tan solo un breve y reducido recuento de la cantidad de materiales y energía que requiere la *lyD* nanotecnológica puede dar buena idea de lo que ya demanda y seguramente demandará un pujante sector productivo basado en procesos nanotecnológicos. Por ejemplo, del lado de los *inputs* se puede señalar que gran parte de la investigación nanotecnológica que se basa en el avance de las altas energías obliga un uso mayor de materiales y energía tanto para la construcción como para la operación de instalaciones altamente sofisticadas que incluyen espacios térmicamente controlados o de vacío, cuartos-limpios y de criogénesis, y sus generalmente forzosos centros anexos de supercomputo, entre otros (muchos de ellos en pleno proceso de ampliación o de construcción). El equipo ahí contenido a su vez está conformado de materiales muy particulares y

¹¹ Ayres, 1994, *Op cit*, pp. 23-37.

¹² Lekas, Deanna (a), “Análisis de Nanotecnología desde una Perspectiva de Ecología Industrial: Parte I: Inventario y Evaluación de los Ciclos de Vida de las Nanotecnologías.” Yale School of Forestry & Environmental Studies. EUA, noviembre de 2005: 2.

que en general requieren procesos de producción sofisticados de alto consumo energético y material. Súmese el consumo exorbitante de energía que pueden llegar a tener los aceleradores de partículas y similares de gran envergadura (e.g. el CERN en Ginebra).

Además, en lo que refiere puntualmente a la manufactura de nanoestructuras o nanopartículas, el consumo energético y material –además del necesario para las instalaciones adecuadas a ese fin– puede llegar a ser considerable. La mochila ecológica de la nanoestructuración de materiales, sobre todo mediante técnicas nanotecnológicas *top-down*¹³, llega a ser de buena dimensión y, en el caso de las *bottom-up*¹⁴, aunque prometedoras, aún queda por ver sobre todo cuanta energía requerirán para la producción de nanoestructuras a escala industrial.

Un cálculo de Lekas tan sólo del coste material de la fabricación de nanotubos de carbón (en base a deposición química en fase de vapor - CVD) es ejemplificador¹⁵. La producción de 12 kilos de nanotubos de carbón al año requiere –además del carbón como tal– de gases de procesamiento como acetileno, amonio, metano e hidrógeno (un tanque por año de cada uno, conteniendo cerca de 8.5 m³ de gas a presión atmosférica); partículas de cerámica de estímulo catalítico (alrededor de 2kg/año); compuestos catalizadores de crecimiento de acero, cobalto y níquel (alrededor de 1kg/año); y, en caso de purificación, baños de ácido hidro-

clórico, hidróflorico o nítrico (alrededor de 8 litros/año). Añádase además, el coste energético del propio proceso de producción de los nanotubos¹⁶. Generalizando los datos de Lekas, la cantidad de materiales empleados para la fabricación de 108 toneladas de nanotubos que se calculan globalmente para 2004 (en un 90% usados para actividades de investigación) rondan en: 76 millones de litros a presión atmosférica de cada uno de los gases de proceso (acetileno, amonio, metano e hidrógeno = + 300 mil litros); 18 mil kg de partículas de cerámica de estímulo catalítico; 9 mil kg de compuestos de acero, cobalto y níquel; y 72 mil litros de ácidos¹⁷.

Aquellas investigaciones en nano/microelectrónica sugieren una situación similar: instalaciones costosas como cuartos-limpios y equipos sofisticados; el empleo exponencial de metales o compuestos para la fabricación de componentes de fabricación ambiental/energéticamente caros; etc. La “desmaterialización” en efecto de tales nano/microcomponentes en su forma de producto final es engañosa pues como demuestra un estudio de Ayres *et al*, la fabricación de un chip de dos gramos requiere aproximadamente de poco más de 34 mil gramos de recursos (e.g. combustibles fósiles, químicos, agua, gases elementales)¹⁸.

Del lado de los *outputs*, se identifican una serie de residuos importantes en todas las etapas productivas desde la extracción de la materia prima hasta la entrega del producto final. Vale puntualizar, por ejemplo, una cantidad dada de gases de efecto invernadero generados por el consumo de grandes cantidades de energía necesaria para la operación del equipo de investigación y para la manufactura de nanoestructuras (al menos mientras el grueso de la energía sea generada por combustibles fósiles o, peor aún en términos medioambientales, por energía nuclear); un coste ambiental determinado que arrastra la extracción de los materiales empleados y una serie de desechos que en términos generales se pueden reducir a un abanico de nanopartículas y nanoestructuras vertidas en tierra, aire y agua con implicaciones desconocidas.

Y si bien es cierto que conforme la nanotecnología vaya avanzando, el peso de los materiales contenidos en el

¹³ Producción de nanoestructuras a partir de grandes porciones de material en bruto (miniaturización). De ahí que se le califique como *nanoscale bulk technology* (producción a granel en la nanoescala).

¹⁴ Construcción de estructuras átomo por átomo y molécula por molécula. También denominada como *molecular nanotechnology* o *nanoscale engineering* (nanotecnología molecular o ingeniería a la nanoescala).

¹⁵ Tres son los principales modos de fabricación de tubos de carbón tanto en su versión de una o múltiples capas o paredes (*single* y *multi-walled-nanotubes*). 1) Disposición Química en fase de Vapor (CVD): proceso en el que un sustrato catalítico de óxido metálico (e.g. níquel o hierro) es expuesto a uno o más precursores gaseosos de base carbónica (e.g. metano, monóxido de carbono o acetileno), que reaccionan o se descomponen en la superficie del sustrato para producir un depósito deseado de tubos de carbono de una o múltiples capas y de alta calidad. 2) Arco de descarga eléctrica: involucra un proceso de plasma en el que se usa una descarga de vapor (e.g. helio, hidrógeno) en condiciones de altas temperaturas a través de uno o dos electrodos de carbón sólido (fabricación de nanotubos multicapa). Un catalizador metálico es añadido para la fabricación de nanotubos monocapa. 3) Vaporización por Pulsos de Láser: método que utiliza pulsos de láser de alta potencia para vaporizar el grafito pulverizado con un catalizador de metal. Solamente produce nanotubos monocapa y en cantidades más pequeñas que los otros dos métodos pero con una pureza mayor (Lekas, Deanna (b), “Análisis de Nanotechnology from an Industrial Ecology Perspective Part II: Substance Flor Análisis Study of Carbon Nanotubes.” Yale School of Forestry & Environmental Studies. EUA, noviembre de 2005: 7).

¹⁶ Lekas se basa en datos de consumo proporcionados por NanoLab (EUA). Véase: Lekas (b), noviembre de 2004, *Op. cit.*, p. 8.

¹⁷ Lekas (b), noviembre de 2005, 9.

¹⁸ Los autores hablan de 34,372 gramos de recursos. Véase: Ayres, Robert., Williams, Eric., y Heller, Miriam, “The 1.7 Kilogram Microchip: Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices” en *Environmental Science and Technology*, vol. 39, núm. 5, 94A-95A, 2002, citado en, Lekas (a), noviembre de 2005, *Op. cit.*, p. 4.

producto final (no necesariamente el número de éstos) puede ir reduciéndose, la mochila ecológica que arrastrará en términos materiales y energéticos seguramente será mayor o igual a la de productos fabricados convencionalmente. Por ejemplo, actualmente la fabricación de bolas de golf, raquetas de tenis o de neumáticos con nanotubos de carbono no implica una reducción de su peso (es prácticamente el mismo). No sugiere una disminución de la cantidad de energía y materiales empleados para su producción, por el contrario, está se incrementa sustancialmente al considerar la cantidad materiales y energía que se necesitó para la fabricación de los nanotubos, además del resto de materiales (donde son “insertados” los nanotubos) y energía que implica la fabricación de esos productos. Y, finalmente, los nano-residuos generados (en la producción y por el desecho del producto) si bien pueden no incrementarse en cantidad, si lo hacen en su calidad pues ahora hay que afrontar las implicaciones de la introducción de desechos nanoestructurados a la naturaleza¹⁹.

En otras palabras, la dimensión del flujo de materiales y energía que implica la producción de artículos que contienen nanopartículas o nanoestructuras (Imagen 3) incluye: la mochila ecológica que arrastra cada material extraído del medio natural para su empleo como materia prima en la nanoestructuración de tubos de carbono; la cantidad de energía empleada en el propio proceso de nanoestructuración (sin contar la mochila ecológica de la infraestructura para su manufactura); el contenido material y energético adicional para la manufactura del producto final (dígase una bola de golf); todos los gastos asociados a su transporte y comercialización; así como los costes ambientales (y a la salud) por la generación de desechos y nano-desechos en cada una de las etapas anteriores, en paralelo al gasto energético y material de su reciclamiento (en su caso).

Tomando nota de lo anterior, se puede decir que, en general, el potencial beneficio de las aplicaciones nanotecnológicas no parece estar en el proceso de elaboración del producto final *per se* (por lo menos en el corto-mediano

plazo), sino en el proceso de su uso pues podría contraer el consumo energético de fuentes no-renovables (uso de nano-fotoceldas en electrónicos); reducir el empleo de energía y materiales para la fabricación de ese mismo producto sea a través de la mejora del proceso productivo como tal (mejores y más resistentes medios de producción, insumos *a doc*, etc) o mediante la extensión del tiempo de vida del mismo (una cuestión contradictoria para el sistema capitalista de producción pues obliga una caída de la tasa de ganancia²⁰); o incrementar la capacidad de su reciclamiento (en ciertos casos).

En lo que respecta a las aplicaciones nanotecnológicas de remedio ambiental, se debe observar la mochila ecológica que arrastra su producción y las potenciales consecuencias secundarias no-deseadas, versus la mejora ambiental que ofrece tanto en términos objetivos como subjetivos. El riesgo en última instancia es que, como se dice coloquialmente, “el remedio sea peor que la enfermedad” (tanto en términos ambientales como humanos).

Finalmente, la concepción de la desmaterialización de la economía gracias al avance de la nanotecnología falla en dar cuenta de las implicaciones que genera la forma organizativa del mundo por el capital en naciones centrales y periféricas. Esto es porque las denominadas “ventajas comparativas” de cada región, obligan a un proceso ya bien experimentado: mientras las naciones capitalistas centrales se avocan a la generación de productos y servicios intensivos en conocimiento/tecnología y en muchos casos de menor contenido material en el producto final; las naciones capitalistas periféricas se dedican en muy buena medida a la extracción de materias primas a granel que se caracterizan por ser de gran peso y poco conocimiento añadido. El resultado es pues un comercio internacional desigual en el que los países periféricos se ven obligados a explotar crecientemente

¹⁹ El caso de las implicaciones de los nanotubos de carbono, al igual que el grueso de nanoestructuras, es controversial pues mientras se indica que éstos libremente tienden a amontonarse y formar estructuras con potenciales impactos mucho menores a los de las fibras [e.g. asbestos], por otro lado se sabe que las propiedades de los tubos pueden penetrar las células sin que el sistema inmunológico responda —una característica de estas nanoestructuras que está siendo explorada por la industria farmacéutica para el desarrollo de nuevos mecanismos de ‘entrega de droga’. Las implicaciones de la presencia de estas estructuras en cantidades considerables en las células son desconocidas.

²⁰ Debe considerarse que no es de esperarse que el tiempo de vida de las mercancías se alargue (excepto las que son propiamente mercancías se alargue (excepto las que son propiamente mercancía de uso militar y que por tanto no operan bajo los principios del mercado). Por lo menos no en el grueso de los casos. Esto responde a que la tendencia del sistema capitalista de producción es la de generar y estimular constante y crecientemente la tasa de ganancia. De ahí que sea fundamental un consumo exponencial de mercancías. No es casual que conforme avanza la tecnología, las mercancías han ido reduciendo su tiempo de vida o de uso. Lo que sí es de esperarse es que el capitalista busque alargar lo más posible el periodo de vida de sus medios de producción, dígase de las máquinas que hacen máquinas y de las máquinas necesarias para la producción de bienes de consumo.

sus recursos naturales para poder acceder a productos tecnológicamente intensivos pero de un contenido material incomparable²¹.

Tal situación o el establecimiento de tales “ventajas comparativas” no es casual sino forzosamente necesario para poder sostener los niveles de vida (y de consumo) sobre todo de las naciones centrales. No es extraño que el grueso de materiales y energía extraídos a nivel mundial sean consumidos en su mayor parte por los países centrales (exceptuando el caso de China e India que más bien responden a la cantidad de población que concentran)²².

Vinculado a lo anterior, vale señalar que los ajustes de la geoeconomía y la geopolítica de los recursos naturales a lo largo de la historia humana han estado íntimamente relacionados con el tipo de tecnología disponible tanto en términos de la energía que “mueve” los procesos productivos (e.g. madera, carbón, electricidad/petróleo) como en el de los materiales que le dan forma a los medios de producción y sus innovaciones. En tal sentido, nótese que la biodiversidad no era un recurso estratégico como banco de genes

²¹ Véase por ejemplo, Martínez-Alier y Roca, 2000, *Op. cit.*

²² Por ejemplo, EUA despilfarra una cuarta parte del petróleo mundial, además de que “absorbe” cantidades importantes de otros recursos minerales (no energéticos). Para un análisis del caso de la transferencia de recursos naturales de América Latina, véase: 1) Galeano, Eduardo, *Las venas abiertas de América Latina*, Siglo XXI, México, 1971; 2) Schatan Weitzman, Jacobo, *El saqueo de América Latina*, LOM Editorial, Chile, 1998; 3) Martínez-Alier, Joan. y Oliveras, A., *¿Quién debe a quién?. Deuda ecológica y deuda externa*. Barcelona, Ed. Icaria, 2003.

hasta que la industria biotecnológica hizo formal aparición²³. En esta misma línea de pensamiento, vale observar y analizar –tal y como ya lo indiqué en otra ocasión²⁴– en qué medida las distintas aplicaciones nanotecnológicas irán obligando una redefinición de la geopolítica y la geoeconomía de los ahora recursos estratégicos para su desarrollo (e.g. metales preciosos, tierras raras, etc)²⁵.

Por todo lo indicado, hay pues que mantener una postura sobria y medida respecto al potencial de las nanotecnologías, evitando todo tipo de *green-hype* dado que sobre dimensionamientos de esa naturaleza pueden llevar a un peligroso optimismo tecnológico que, acompañado de una continuidad en los ritmos de consumo energético y de sobre-explotación de otros recursos, podría tener consecuencias ecológicas aún mayores y que no podrían ser calificadas mas que de gran irresponsabilidad.

²³ Para una discusión detallada al respecto, véase: Delgado, Gian Carlo, *La Amenaza Biológica: mitos y falsas promesas de la biotecnología*, Plaza y Janés. México, 2002 y, Delgado, Gian Carlo, *Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Militarización*, Plaza y Valdéz. México, 2004.

²⁴ Delgado, Gian Carlo. “Promesas y peligros de las nanotecnologías. La incertidumbre del nano-mundo”, *The Ecologist para España y Latinoamérica*, núm. 15, España, octubre de 2003.

²⁵ Es bien sabido que varias aplicaciones nanotecnológicas hacen uso masivo del carbón, un material cuya disponibilidad no preocupa. No sucede así con los metales preciosos como la plata o el oro (e.g. nanocáscaras o nanoestructuras de oro de uso médico –véase más adelante), u otros materiales útiles por ejemplo para la fabricación de nano/microelectrónicos (e.g. silicio, galio, platino, vanadio, berilio; además de las tierras raras como el cerium, neodimium, lanthanum o disprosium). Debe aclararse que aún es relativamente temprano para poder identificar con precisión que materiales serán centrales para la revolución nanotecnológica, no obstante, parece pertinente ir identificando desde ahora patrones o tendencias.