

## Diálogo para el avance científico y tecnológico a la nanoescala\*

GIAN CARLO DELGADO\*\* Y ELENA LEÓN MAGAÑA\*\*\*

**RESUMEN:** La manera en la que se adquiere el prestigio de las disciplinas depende de su utilidad en el mundo real, situación que ha detonado, entre otras cuestiones, sistemas jerárquicos epistémicos. Esta situación se traduce en la exclusión, al menos relativa, de visiones del mundo, una marginación que forma parte del modo en el que hoy día se innova y se lanzan al mercado muchos de los productos y servicios, esto es, del mecanismo mediante el que éstos son socializados. Si bien ya desde hace varias décadas hay avances en el estudio y análisis sobre la lógica, estímulos, incertidumbre e implicaciones del avance científico y tecnológico, la exclusión de ciertas visiones y valores en la toma de decisiones, en distintos ámbitos, no sólo el político, sigue aún arraigado. Considerando lo anterior, se propone la necesidad de reinventar e incentivar el diálogo como instrumento clave para, por un lado, enfrentar la incertidumbre y la creciente complejidad tecnocientífica propia de principios del presente siglo, y por el otro lado, para abrir canales interdisciplinarios más robustos útiles para ampliar el ejercicio de repensar los objetivos mismos de la actividad tecnocientífica. Y es que conforme avanza y se torna más compleja la ciencia y la tecnología —léase tecnologías convergentes a la escala nanométrica—, todo en un contexto de necesidades sociales básicas aún sin resolver para el grueso de la población mundial, concluimos que es necesario apostar por un manejo socialmente responsable de la ciencia y la tecnología sobre la base de un amplio y genuino diálogo y consenso social.

**PALABRAS CLAVE:** incertidumbre, nanotecnología, tecnologías convergentes, diálogo, complejidad, interdisciplina.

**Abstract:** Current way in which disciplines acquire prestige depends on their utility in real world (their practical application). This has produced, among other issues, hierarchic epistemic systems that generate, at least, a relative exclusion of world visions. Therefore, such marginalization tends to be an aspect that characterizes current way of innovating and commercializing goods and services (or the mechanism in which those technological advances are socialized). Even if there has been important contributions on the study and analysis of the logic, stimulus, uncertainty and societal, ethical and environmental implications of scientific and technological development, the exclusion of certain visions and values is a feature still anchored within the decision making process, at the political and other levels. Considering the above, it is proposed the need of promoting and reinventing (social)dialogue as key instrument for confronting uncertainty and the increasing technoscientific complexity, but also for opening more robust interdisciplinary paths for strengthening the exercise of evaluating technoscience's purposes. As science and technology advances and becomes more complex —as it happens in the case of converging technologies at the nanoscale—, all within a context in which social basic needs are still unsolved for most of world population, we conclude that it is necessary to bet on a social and responsible management of science and technology based on a wide and genuine social dialogue and consensus.

**KEY WORD:** uncertainty, nanotechnology, converging technologies, dialogue, complexity, interdisciplinary.

---

\* Este trabajo es parte del proyecto Conacyt de Consolidación Nivel 1, número 118244.

\*\* Investigador titular de tiempo completo, definitivo, del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt y responsable del proyecto Conacyt número 118244.

\*\*\* Licenciada en comunicación y periodismo por la FES-Aragón, UNAM y maestrante del posgrado de filosofía de la ciencia de la FFyL de esa misma casa de estudios. Integrante del proyecto Conacyt número 118244.

## INTRODUCCIÓN

La discusión sobre los objetivos de la ciencia, sus valores y el papel de los sujetos que en ella intervienen continúa siendo un asunto de debate en la filosofía de la ciencia. Separar la política, la economía y lo socioambiental de la dinámica de desarrollo tecnológico es cada vez más complicado e indeseable, sobre todo cuando tratamos de hablar, por un lado de *objetividad*<sup>1</sup> científica, entendida como la presentación de un fenómeno u objeto en su estado más *puro*, y por el otro lado, de asegurar en la medida de lo posible el máximo bienestar. Pese a ello, la generación de conocimiento se ha hecho, al menos hasta poco después de la primera mitad del siglo XX, marcada y especialmente sobre la base del avance de disciplinas. Avance que se tradujo en una tendencia cada vez más definida hacia la especialización y, en consecuencia, hacia la fragmentación, inclusive hacia adentro de los propios campos de estudio.

Se desarrolló así un estrecho vínculo entre el empirismo y la verdad. Los procedimientos como avales de la justificación o verificación del conocimiento. La consolidación de una metodología que asegurara la *confiabilidad* del descubrimiento. La razón como el resultado del aislamiento de las cuestiones intangibles del sujeto. Las acciones científicas al margen del individuo, de ahí una ardua lucha por el alcance de la objetividad, del conocimiento exacto, del completo desprendimiento metafísico. La noción de exactitud y objetividad dieron pie a la subordinación de unas disciplinas con otras, quedando en el escalafón más alto aquellas cuya producción de conocimiento deriva en aplicaciones prácticas (comercializables) y dejando algunas ciencias sociales (ciertamente no la economía) y a las humanidades en los últimos peldaños. Tal estructura es en cierto sentido aún visible. En el caso de la nanotecnología, y en su conjunto el de las tecnologías convergentes, ello se da ciertamente no sin fricciones y en constante tensión con la articulación en cierto sentido obligada y que apunta hacia la conformación de especialidades híbridas (véase más adelante). Así, en el caso mexicano, los principales entes haciendo investigación en nanociencia y nanotecnología derivan de la física —tal y como sucede nítidamente en el caso de la UNAM.<sup>2</sup> Ello demuestra cómo incluso hacia adentro de la investigación en nanociencia y nanotecnología existen raíces históricas en las gradaciones del peso disciplinar y su incidencia. Consiguientemente, la inclusión de líneas de investigación conjuntas con científicos sociales y de las humanidades en esta área es aún limitada en el país, sobre todo en

<sup>1</sup> A lo largo del texto se desarrolla una argumentación que sostiene la incidencia directa del sujeto en la producción científica, de manera que no compartimos la idea de una objetividad científica aislada de las creencias del sujeto, y sostenida en la existencia de un mundo dado. Dicha objetividad tiene que ver con discusiones del tipo de realismo ingenuo de los filósofos griegos. Además, consideramos que las limitaciones técnicas y las constricciones sociales propias de cada época, y que dan forma en un grado u otro al desarrollo de la ciencia y la tecnología en curso, tienen un impacto profundo en la estructura operativa interna y en la representación e interpretación de la “realidad” (problemas epistemológicos).

<sup>2</sup> En el caso de la UNAM, donde el Instituto de Física ha tenido una preponderancia mayor, se observa entonces que la conformación de otras entidades se relaciona en sus orígenes con ese Instituto. Tal es el caso, por ejemplo, de la creación de Laboratorio de Física de Superficies y Propiedades Ópticas y de Sólidos ubicado en la ciudad de Ensenada y operativo en 1981. Los investigadores de este laboratorio provinieron del Instituto de Física de Ciudad Universitaria, UNAM. Debido a su crecimiento, el laboratorio se convirtió en el Centro de la Materia Condensada (1997), hoy Centro de Nanociencia y Nanotecnología (desde 2008). Algo similar sucedió en la conformación del entonces departamento de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, ubicado en Juriquilla (1997) y que en 2002 se convertiría en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada. Lo mismo puede decirse del Centro de Ciencias Físicas de la UNAM, campus Cuernavaca (1998).

el sentido de que no corresponde con la dimensión de los impactos esperados de dicho frente tecnológico. La UNAM tal vez es una relativa excepción con su consorcio nanoUNAM (al respecto, léase Delgado en: Takeuchi, 2011).

Pese a todo y tal y como se indicó, son observables impulsos hacia la búsqueda de la multidisciplinaria, y, en ocasiones, experiencias de cierta interdisciplina; proceso en curso con resistencias y contradicciones, sobre todo por parte de las disciplinas con mayor jerarquía histórica (Kuhn, 1971). La multidisciplinaria, sin embargo, tiene límites importantes, pues si bien fomenta la colaboración de distintos especialistas en un mismo proyecto, no necesariamente comparten un lenguaje común, ni visiones del mundo. La interdisciplina en cambio, busca trascender tales limitaciones, pretendiendo que las colaboraciones consigan un verdadero diálogo e intersección entre las distintas visiones del mundo, rompiendo además con las barreras establecidas entre las distintas áreas de las ciencias, dígase las ciencias naturales, exactas, las ingenierías, las ciencias sociales y las humanidades.

Tal proceso de permanencia en la disciplinaria con búsqueda aún relativamente limitada de la multidisciplinaria (común sin embargo en las fronteras del conocimiento) *versus* las iniciativas de genuina interdisciplinaria, no logra todavía desahogar el distanciamiento existente respecto de los intereses de los actores y de los campos disciplinares entre sí. La tendencia a la ruptura comunicativa se mantiene en un grado u otro entre los diferentes especialistas en tanto que cada disciplina y subdisciplina consolida lenguajes, discursos y grupos de interés particulares. Incluso, las disciplinas “híbrido” que obligadamente requieren de la multidisciplinaria o la interdisciplina, generalmente se limitan a colaboraciones con disciplinas afines y no en pocas ocasiones, una vez afianzadas en la estructura jerárquica del conocimiento, operan bajo criterios similares a la disciplinaria. Desde luego, existen apuestas en sentido contrario.

Así y pese a los avances logrados, siguen presentes fenómenos como la consolidación de jerarquías epistémicas, la descalificación entre disciplinas y la divergencia respecto de los supuestos sociales de los que parten. El diálogo, de por sí entrópico, se convierte en diversas ocasiones en una suerte de argumentos que pretenden superar a los otros, y no necesariamente en un ejercicio de comprensión y entendimiento del otro.

En lo que a la innovación tecnológica se refiere, existe pues una tendencia a la comprensión segmentada o parcial de los aspectos sociales y humanísticos, asumiéndose como natural la evolución que ha tomado la ciencia y la tecnología desde que se gestara lo que conocemos como la Primera Revolución Industrial (1770s). Se trata de una modalidad “industrializada” en la que el motor de la innovación es la innovación misma, garante de esquemas mayores de acumulación de capital. Tal esquema, que desde la segunda mitad del siglo XX adquiere características novedosas con la consolidación de lo militar como actor de peso en la innovación, y con la conformación de lo que se conoce como *big science*, calificado por algunos como de tecnociencia,<sup>3</sup> en efec-

---

<sup>3</sup> Referimos por ciencia a la producción de conocimiento y por tecnología a su aplicación práctica. Se usa la distinción entre ciencia y tecnología para propósitos meramente analíticos pese a que reconocemos que ambas son entidades íntimamente relacionadas y que, por tanto, no pueden verse como si fuesen autónomas. Preferimos, sin embargo, utilizar en ciertas ocasiones el concepto de *tecnociencia* (Echeverría, 2003) para dar cuenta enfáticamente del proceso y las implicaciones de la modalidad que ha adquirido la innovación desde la segunda mitad del siglo XX, un proceso que ha sido estudiado por numerosos académicos, entre otros: Melman (1970); Latour y Woolgar (1979) Rose y Rose (1980); McGrath (2002).

to demuestra una gran capacidad para desarrollar los medios de producción —ciertos medios de producción—, pero, pese a ello, no logra resolver de raíz las demandas sociales más básicas, ahondándose, en medio de la abundancia productiva, la miseria social y la crisis medioambiental. La desigualdad es clara pues, desde luego, en dicho contexto, sí hay un grupo limitado que tiene acceso a los avances tecnológicos.<sup>4</sup> Es por ello que se puede decir que con la modernidad<sup>5</sup> se instaura una tensión permanente entre los intereses privados, las políticas públicas y las necesidades sociales (léase un análisis de fenómeno para el caso de la nanomedicina en: Arnaldi *et al.*, 2011).

Precisamente, la consolidación del denominado modelo de la *Triple Hélice*<sup>6</sup> [Estado-empresa-unidades de conocimiento] sobre el cual descansa hoy por hoy la innovación, suele proyectarse en la constricción de los esfuerzos que discutan la axiología del actual sistema de producción; usualmente, iniciativas y roles propios del análisis social y humanístico.

El modelo de la *Triple Hélice* ha establecido estándares de medición basados en conceptos y mecanismos utilitarios como la competitividad, los índices de innovación, la eficiencia, la eficacia, la propiedad intelectual, los parámetros de transferencia tecnológica, entre otros, que si bien son funcionales para los propósitos que persigue (en particular, la mayor acumulación de capital), ello no deja de tener implicaciones en la gestión y utilidad del conocimiento, en el manejo de la incertidumbre,<sup>7</sup> la identificación y gestión de los potenciales riesgos y, en sí, sobre la visión del mundo que permea todo el proceso de desarrollo tecnocientífico.

La manera en que se conforman los grupos de investigación, en que se organizan las redes epistémicas, y se consolida el rumbo de los proyectos, afecta pues la producción de conocimiento y el sendero que éste toma, tanto a nivel teórico como práctico.

No sobra precisar que la incertidumbre que caracteriza la tecnociencia, cada vez más compleja, no sólo es técnica, sino también metodológica y epistemológica (cómo sabemos que sabemos); de ahí que como precisan Ravetz y Strand (2007), la incertidumbre no pueda ser completamente controlada o eliminada. Y, así como hay una distribución desigual de la riqueza y de los avances de la tecnociencia, en nuestro tiempo

<sup>4</sup> Los datos de UNDP precisan que la distribución actual de la riqueza se polariza a tal grado que el 83% de la riqueza está en manos del quintil o 20% de la población más rica, mientras que sólo el 1.4% de la riqueza se distribuye entre el quintil más pobre. Así, por ejemplo, en Brasil, el 10 % de los más acomodados acapara el 50,6 % de los ingresos frente al 0,8 % que recibe el 10 % más pobre de la población. En México, el décimo de la población más acaudalada recibe el 42,2 % de los ingresos, frente al 1,3% los más pobres. Y en Argentina, el 41,7% de los ingresos es acaparado por el 10% de los más ricos mientras el 1,1 % de los ingresos corresponde al 10 % más pobre de la población (Delgado, 2011).

<sup>5</sup> La palabra modernidad es utilizada en el sentido de una etapa, a partir del siglo XIX desde la cual la racionalidad es tomada como el valor máximo de la acción.

<sup>6</sup> El concepto de la Triple Hélice fue utilizado por Henry Etzkowitz (1994) para referirse a la relación que se da entre el Estado, la empresa y la universidad. El autor consideraba una práctica positiva el fomento de estos tres agentes en la producción de conocimiento. Para una discusión reciente del estado de situación de la innovación tecnológica de éstos actores en EUA, léase: Delgado (2010).

<sup>7</sup> Seguimos la sugerencia de Wynne quien precisa que los conceptos de riesgo, incertidumbre e indefinición no están en la misma dimensión o plano. La *indefinición* es la existencia de cadenas o redes de trabajo abiertas; la *incertidumbre* es cuando no se saben las probabilidades aunque se puedan conocer los parámetros generales y cuando se trata de reducir la incertidumbre se incrementa la ignorancia; el *riesgo* refiere a la situación en la que no se conocen las probabilidades (Wynne, 1992: 114). En otro sentido, lo precisado implica que cuando hay incertidumbre, si bien puede poseerse una hipótesis sobre un resultado dado, no se tiene, sin embargo, precisión sobre todos sus aspectos, de manera que los beneficios y costos no son del todo predecibles.

también hay una magnitud acumulada y una distribución desigual y cada vez más notoria de los riesgos (Beck, 1992).

El reto está entonces en cómo construir sobre la base del diálogo y no de la jerarquización–descalificación el mejor conocimiento posible para la toma de decisiones socialmente consensuadas, dígase, por ejemplo, del desarrollo de las denominadas tecnologías convergentes.

## LAS TECNOLOGÍAS CONVERGENTES: MODELANDO EL FUTURO TECNOCIENTÍFICO

Las *tecnologías convergentes* (TCs) aluden al “encuentro”, simbiosis, sinergia y potencial de cuatro frentes científicotecnológicos estratégicos: 1) la nanotecnología, 2) la biotecnología/biología sintética,<sup>8</sup> 3) la electroinformática (inclúyase aquí las ciencias de la información–comunicación, la electrónica/robótica/inteligencia artificial y afines) y, 4) las ciencias cognitivas/neurociencias/y similares. Dichas tecnologías se suman –de ser necesario– a ciertos sistemas de conocimiento paralelos que variarán según, con el objeto de alcanzar una meta común bien definida (por ejemplo, el conocimiento tradicional de la biodiversidad o del cuerpo, entre otros). De ahí que las TCs sean calificadas como ‘tecnologías facilitadoras o posibilitadoras’ (*enabling technologies*) del desarrollo científicotecnológico en su conjunto.<sup>9</sup>

Es notable el hecho de que dicha convergencia se caracteriza por una propensión creciente del uso de principios y métodos de investigación a la *nano* escala (una mil millonésima de metro o el mundo de los átomos y las moléculas). Se trata de un rasgo que no es casual pues, como se ha señalado, la tendencia de la ciencia y la tecnología (CyT) moderna ha sido precisamente la observación e interpretación de los fenómenos naturales desde un acercamiento cada vez más especializado, indagando el mundo de lo muy pequeño o de lo macro pero no en pocas ocasiones de modo fragmentado. Es por ello que algunos especialistas precisan que las distintas disciplinas que conforman las denominadas TCs están usando “los mismos bloques (nanométricos) de construcción de la materia” (Roco y Bainbridge, 2002:83), proceso que, sin embargo, no está exento de problemas de lenguaje ni de percepciones o visiones de cómo observar y manipular la materia a tal escala (al respecto, el debate entre Smalley y Drexler es una muestra clara entre visiones encontradas del potencial de la nanotecnología (Baum, 2003)).

La relativa convergencia es obligada conforme se avanza hacia la “nanometrización” de los acercamientos analíticos e interpretativos de múltiples disciplinas científicotecnológicas. Se dice “relativa” pues al mismo tiempo se observa una cierta pérdida en la capacidad de construir nociones integrales y complejas que den cuenta de la interrelación y complementariedad de las “partes” que constituyen los fenómenos observados, incluyendo sus dimensiones socioambientales y éticomorales. Además, se pueden pasar por alto o minimizar eventuales aplicaciones (vinculadas a metas predefinidas), debido a la falta del conocimiento que otros colegas han desarrollado.

---

<sup>8</sup> Tecnologías que tienen como fundamento el avance de la ingeniería genética. Mientras la primera busca manipular la materia viva a la escala del ADN con el objeto de obtener determinadas y/o nuevas características en tal o cual ser vivo “modificado”; la segunda procura desarrollar nuevas partes biológicas, dispositivos, sistemas, e incluso formas de vida, a partir de reordenar, sintetizar y construir cadenas y estructuras de ADN. Hasta 2007, su logro mayor había sido “crear” virus y bacterias antes inexistentes.

<sup>9</sup> Se sigue la sugerencia del grupo de asesores de la Comisión Europea en: Nordmann (2004).

La limitación que ello representa es tal que se ha tornado necesario, desde hace tiempo, no sólo una exponencial multidisciplinariedad de los científicos e ingenieros, sino también una mayor comunicación entre las distintas disciplinas. Es más, de cara a la complejidad e incertidumbre que caracteriza exponencialmente el avance científicotecnológico de vanguardia, se precisa la necesidad de una nueva fuerza de trabajo que opere en la multi e interdisciplinariedad, ruta que apunta a una suerte de aproximación que, como se indicó, opera en las fronteras de varias disciplinas y a través de éstas, lo que cada vez más deja de ser la excepción.<sup>10</sup>

Por tanto, y tomando nota de lo previamente indicado, parece ser más preciso referirse a las TCs como el producto del avance histórico del conjunto de las fuerzas productivas modernas y no como el encuentro accidental u oportuno de tales o cuales disciplinas que devela sorpresivamente la nanotecnología o el conjunto de tecnologías facilitadoras (que, a su vez, son producto del mismo proceso). Por el contrario, las TCs o “bio-sistémicas”, como las denomina Bouchard (2003:11), están siendo pensadas y diseñadas para que operen cuando menos en la multidisciplinariedad no sólo tecnológica sino también científica (véase la imagen 1). Pese a ello, la gradación disciplinaria sigue permeando mucho de ese esfuerzo.

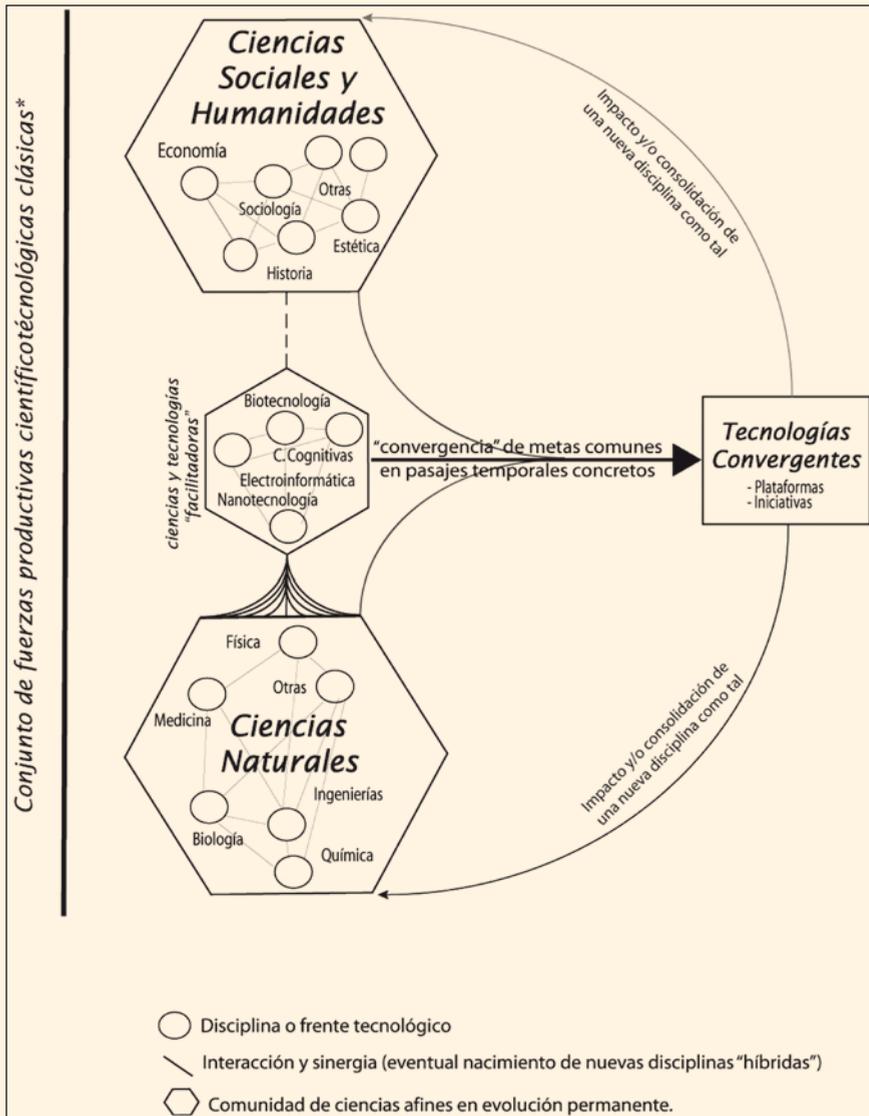
Debe advertirse entonces que no es lo mismo decir que las TCs son producto “natural” del avance científicotecnológico (postura determinista), que señalar que están siendo (socialmente) construidas para modelar buena parte de éste último hacia un rumbo y metas particulares. Desde luego, esto es aplicable para todos los conocimientos.

Así, si se considera la problemática existente en torno a la definición de lo que se asume por nanotecnología y, por tanto, sobre quiénes son y quiénes no son nanotecnólogos (léase Delgado, 2008), el señalamiento anterior se clarifica, pues se devela que tal dilema es aún mayor para el caso de las TCs. Muchos de los que se autodenominan nanotecnólogos realizaban prácticamente la misma actividad décadas atrás, dígase, bajo el rubro de estudio de “partículas muy pequeñas”; no obstante, hoy día no hay quien se considere simplemente un “tecnólogo convergente”.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Por ejemplo, la industria de los microelectrónicos cada vez más se mueve hacia la incorporación de nanoestructuras y nanodispositivos para el desarrollo de nuevas generaciones de microelectrónicos e incluso de nanoelectrónicos (dígame mediante el uso de nanocristales fotónicos, nanotubos de carbono, nanocables o nanomagnetos). La imitación del empaquetamiento de información de las células ha llevado a la exploración, junto a físicos e ingenieros —entre otros—, de la factibilidad de nanobiodispositivos y, más aún, de las computadoras moleculares/cuánticas. Asimismo, la neurociencia cognitiva, al examinar las ‘estructuras’ del cerebro *in vivo* por medio de resonancia magnética ha llegado a su límite de un milímetro cúbico; ahora se mueve hacia nuevas aproximaciones “nano-bio” para batirse hacia la escala de las neuronas (o nivel celular). De modo similar, la biomedicina, junto con las neurociencias, ya viene incorporando la electrónica y la robótica para el diseño de implantes de microchips neuromórficos retinales, biochips cerebrales como el BrainGate? de la empresa Cyberkinetics (EUA), o prótesis robotizadas o “*biomechatronics*” controladas por novedosos chips como el C-2000 (TMS-320) de Texas Instruments (EUA). Y así seguido.

<sup>11</sup> El fenómeno es reconocido por ejemplo en el ámbito de la nanofotónica por Aasmund Sudbo de la Universidad de Oslo quien reconoce que el área se consolidó antes de que el término fuera inventado (Delgado, 2008).

IMAGEN 1. Esquematización de las denominadas tecnologías convergentes.



\* No incluyen normativamente, por ejemplo, el conocimiento tradicional o precapitalista que reside todavía en algunas comunidades indígenas y campesinas, por ejemplo, en torno a la biodiversidad y sus usos.

Fuente: Elaboración de Gian Carlo Delgado.

Por lo antes dicho, las TCs se perfilan más como ‘conceptualizaciones’ del rumbo y metas que modelarían, en primera instancia y en lo particular, el grueso de las ciencias y tecnologías facilitadoras. Su unidad se encuentra, a decir de Dupuy (2004), en el nivel metafísico de los programas que estimulan tal convergencia. Si eventualmente las TCs podrán constituirse como un nicho tecnológico *per se* o no, lo más probable en el corto-mediano plazo es que, de seguir la actual tendencia, las TCs se afianzarán como uno de los principales motores para la apertura y/o consolidación de nuevas disciplinas híbridas, al tiempo que impactarán en uno u otro grado y modo, al conjunto de fuerzas productivas científicotecnológicas.

Es importante tener en cuenta lo anterior para proceder, de cara a la historia de la propia ciencia y tecnología, con una identificación más fina de los principales rasgos que caracterizan la lógica interna y la modalidad del avance de las denominadas TCs. Todo en un contexto en el que, por un lado, las especificidades normativas de su estímulo varían según la versión de su concepción –más o menos positivista, dígase en este caso la estadounidense o la europea (léase una revisión crítica en Kjolberg *et al.*, 2008)—, mientras que, por otro lado, se procede en relativa sinergia competitiva.

Considerando que tales versiones de uno y otro lado del Atlántico, cayendo la estadounidense en cierto grado de ciencia ficción, se fundan en un determinado *imaginario social*, es fundamental reflexionar comparativa y críticamente la dimensión subjetiva de las TCs en tanto actividad humana, es decir, como frente de innovación definido, construido y ejecutado socialmente; por ejemplo, con el establecimiento de “metas”, la modelización de discursos y la implementación y financiamiento de “plataformas” o “iniciativas” tecnológicas. El ejercicio no sólo sirve para “medir” el rol que tiene cada frente científicotecnológico (dígame la biotecnología, la nanotecnología, etcétera), sino, sobre todo, para discutir algunas de las características de la lógica plasmada en el desarrollo tecnocientífico de punta que permite la reproducción de ciertas configuraciones/disrupciones tecnosociales propias del actual sistema de producción así como del espectro y amplitud de sus eventuales implicaciones en el tiempo y en el espacio (al respecto, léase Delgado, 2008).

Por tanto, lo que interesa son las potenciales implicaciones (y limitaciones) ético-morales y sociales en el mediano y largo plazo, a partir de la identificación, de la gestión de la conceptualización de las TCs. ¿Existe una dirección consciente de las TCs?, ¿cuál es, y bajo qué modalidades y valores? En cuanto a la evaluación de la posibilidad “técnica” de determinadas innovaciones, la pregunta es distinta, misma que en este ejercicio no será considerada, pues en este momento, su sola idea está definiendo y moldeando económica, política y socialmente, en una u otra medida, el avance espaciotemporal de la agenda científica y de desarrollo de cada una de las tecnologías facilitadoras como constituyentes centrales de las TCs.

En este contexto resulta entonces pertinente apuntar y tener presentes algunas de las limitaciones e incertidumbres técnicas y metodológicas de carácter general que ya se identifican, a grosso modo, en la convergencia de las mencionadas TCs (véase la tabla 1).

**TABLA 1.** Algunas limitaciones e Incertidumbres técnicas y metodológicas de las tecnologías convergentes de frente a sus potenciales expectativas.

"Convergencia"	Limitaciones / Incertidumbres	Potenciales expectativas
Nano-Bio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La manipulación de ADN es aún embrionaria.</li> <li>• La proteómica está a varios años de su madurez.</li> <li>• Incapacidad de diseñar nuevas bases y sistemas protéicos.</li> <li>• Falta de conocimiento acerca del impacto de las nanopartículas en organismos y el medio ambiente.</li> <li>• Falta de conocimiento sobre el diseño de colonias de organismos basadas en nanotecnología sintética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personalización orgánica.</li> <li>• Colonias de organismos basados en nanotecnología sintética.</li> <li>• Organismos extremadamente pequeños.</li> <li>• Compresión de ADN.</li> <li>• Virus sintéticos para el mejoramiento de ADN.</li> </ul>
Nano-Info	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Casi todos los ingenieros están atrapados en la práctica digital y del silicón; pocos pueden referirse al uso de ADN, por ejemplo.</li> <li>• Falta de capacidades en ingeniería cuántica,</li> <li>• Falta de capacidades en manufactura <i>bottom-up</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computación cuántica / molecular.</li> <li>• Reducción de las dimensiones, incremento de la capacidad de los electrónicos. Minimización del coste.</li> <li>• Exploración de capacidades en inteligencia artificial.</li> </ul>
Nano-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad de vincular la nanotecnología con las ciencias cognitivas de modo convencional excepto por la de la informática. Como causa de la falta de conocimiento en los sistemas de procesamiento no electrónicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento sensorial por la vía de nanopartículas o nanoestructuras.</li> <li>• Inteligencia mecánica a través de MEMS y NEMS ¿?</li> <li>• Inteligencia por la vía de la física básica y la química usando el surgimiento de interacciones a escala pequeña.</li> </ul>
Bio-Info	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausencia de materiales electrónicos que son seguros en el cuerpo.</li> <li>• Necesidad de electrónicos imprimibles a temperatura ambiente para la reducción de costes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesamiento de bases de ADN dentro del cuerpo para sistemas inmune-sintéticos y control de cáncer.</li> <li>• Tele-cuidado y bioinformática como campos consolidados.</li> <li>• Monitores flexibles ideales para propósitos de monitoreo del cuerpo.</li> <li>• Piel activa.</li> <li>• Joyería emocional / monitoreo emocional.</li> </ul>
Bio-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poco entendimiento de métodos de computo biológico.</li> <li>• Sólo los mecanismos de inteligencia biológica son aquellos de base neuronal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de células madre en la regeneración del cerebro después de paro funcional o accidente.</li> <li>• Uso de sensores biológicos de mayor superioridad para el mejoramiento de la ingeniería de sistemas.</li> </ul>
Info-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conceptos del ciberespacio son aún muy inmaduros por lo que todavía no queda claro cómo las entidades de inteligencia artificial pueden progresar.</li> <li>• Persistente vacío del entendimiento de la conciencia.</li> <li>• Poco entendimiento de qué es lo que produce la vida.</li> <li>• Deficiencias legales en lo que respecta al desarrollo de vida inorgánica artificial o máquinas conscientes.</li> <li>• Falta de entendimiento sobre cómo podemos manejar las formas de vida híbridas que existen tanto en el ciberespacio como el mundo físico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso del ciberespacio para el aumento de objetos en el mundo físico.</li> <li>• Ambientes de respuesta inteligente.</li> <li>• Ventajas obvias en materia de comercialización derivados del uso de la inteligencia artificial.</li> <li>• Computación afectiva.</li> <li>• Compañías sin personal humano.</li> <li>• Sistemas autónomos.</li> </ul>

**TABLA 1.** (Continuación).

"Convergencia"	Limitaciones / Incertidumbres	Potenciales expectativas
Nano-Bio-Info	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se pueden hacer bien los vínculos Bio-Info a gran escala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bio-monitoreo avanzado.</li> <li>• Tele-sistemas de cuidado avanzados.</li> <li>• Blanqueo preciso de drogas.</li> <li>• Detección y destrucción de células cancerosas.</li> </ul>
Nano-Bio Cogno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la inteligencia biológica.</li> <li>• Células cerebrales artificiales.</li> <li>• Inteligencia, sensores y actuadores basados en MEMS y NEMS que pueden ser vinculados a sistemas biológicos.</li> </ul>
Nano-Info-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensamblaje <i>bottom-up</i> de sistemas avanzados de comunicación-información.</li> </ul>
Bio-Info-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las primeras versiones de vínculos chip-nervios muestra la dificultad de mezclar el silicón con la biología.</li> <li>• Desacuerdos entre los neurocientíficos en la naturaleza y los mecanismo de la conciencia.</li> <li>• Falta de entendimiento de cómo manejar formas de vida híbridas en el ciberespacio y en el mundo físico.</li> <li>• Poco entendimiento de los efectos sobre las neuronas al tratar de hacer vínculos con el cerebro directos vía contactos nanotecnológicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora de las capacidades sensoriales y de inteligencia.</li> <li>• Monitoreo sensorial remoto, grabación y estimulación.</li> <li>• Potenciales curas de espina dorsal.</li> </ul>
Nano-Bio-Info-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinación atractiva para el uso de nuevas armas altamente difícil de regular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes de sensores-sensores.</li> <li>• Sistemas híbridos.</li> <li>• Personalización biológica.</li> <li>• Bacterias y virus 'inteligentes'</li> <li>• Conexión completa y directa con el cerebro.</li> <li>• Inmortalidad mental.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia con base en Bibel (2004: 57-59).

## FINES E IMPLICACIONES DE LA INNOVACIÓN: REALIDADES Y RETOS

En tanto la ciencia deja de ser un lenguaje para convertirse en acción humana que conlleva necesariamente una acción práctica (Marcos, 2010), se torna racional en la medida en que produce "adecuadamente" lo que de ella se espera y que hoy implica, en gran medida, contribuya y afiance las relaciones productivas imperantes, así como los intereses imbricados como prerrequisito para cualquier satisfacción de necesidades humanas. Dicho de otro modo, la satisfacción de necesidades no se concreta sino es por la vía del mercado, lo cual deja a los avances tecnocientíficos fuera del alcance de toda persona que no cuente con los medios económicos para adquirirlos. Pero aún más: ¿qué se debe entender entonces por fines razonables?

La racionalización práctica de la ciencia afianza las jerarquías epistémicas y con ello fomenta las descalificaciones, estimulando que se delegue o degrade la relevancia o importancia de ciertos argumentos o visiones que no encajan o que se asumen como factores limitantes al avance tecnocientífico en curso. Así, no en pocas ocasiones tanto los planes de estudios como la financiación de proyectos devalúan la tarea de las

ciencias “blandas” por considerar que no tienen una influencia suficientemente importante en el “mundo real”. No sólo la administración de los proyectos proceden de esta forma, pues también al interior de la(s) red(es) científica(s) se presentan descalificaciones entre investigadores usando argumentos como la falta de comprobación de las teorías provenientes de la sociología, la filosofía, entre otras ciencias pertenecientes al área de humanidades. Hay incluso quienes han tomado posturas que consideran innecesaria la aplicación de dichos conocimientos en su área particular de estudio.<sup>12</sup>

En este escenario, resulta interesante que visiones cercanas a la ciencia ficción se presenten constantemente en el marco de discursos de apoyo o rechazo al avance de alguna tecnología de vanguardia, presentándose como argumentos válidos, no en la medida en que tengan sustento en tanto su factibilidad sociotecnocientífica, sino en el grado en que sean respaldados por las mencionadas jerarquías epistémicas. Tal es el caso de la nanotecnología durante los primeros años de financiamiento formal por parte de los Estados (léase Delgado, 2008).

No es sorpresa entonces encontrar que la figura del experto siga siendo fuertemente erigida y respaldada por los financiamientos en el marco de producción y gestión del conocimiento, hecho que se constata en la propia distribución de los recursos para la investigación. Así, quienes reciben mayores recursos son aquellos actores que están en áreas o disciplinas reconocidas como jerárquicamente dominantes y, al interior de éstas, la de los expertos de las ciencias exactas y las ingenierías. Ello perpetúa las jerarquías al exterior e interior de las propias áreas y disciplinas.

Así entonces, en el área nano, sólo alrededor del 4% del gasto mundial *gubernamental* (véase la tabla 2) se destina a cuestiones de aspectos ambientales, éticos, legales y sociales; un contexto en el que la mayor parte del financiamiento es destinado a cuestiones de toxicología; es decir, áreas propias a las ciencias exactas, que, aún en estas temáticas, continúan desplazando a segundo término a las ciencias sociales y las humanidades. No sobra recordar que el gasto privado mundial en nanotecnología es mayor que el público desde el 2004, lo cual indica que la iniciativa privada mira ya la posibilidad de lanzar productos al mercado en el corto plazo. Lo dicho implica que la velocidad con que llegan las innovaciones al mercado está claramente en desfase respecto a los ritmos de la investigación en aspectos legales, éticos, sociales y ambientales, así como de los de la implementación de cualquier tipo de regulación. Al día de hoy la suma global de financiamiento a la nanotecnología ronda los 70 mil millones de dólares, de los cuales 18 mil millones se ejercieron sólo en 2010.<sup>13</sup> El dato coloca en mayor perspectiva los ritmos de financiamiento y por tanto de estímulo, pero al mismo tiempo, del significado del gasto gubernamental en aspectos ambientales, éticos, legales y ambientales dentro del panorama mundial del avance de la nanotecnología.

<sup>12</sup> Ejemplo de ello son el contraste de opiniones vertidos en el coloquio *Totalidades y complejidades: crítica a la ciencia reduccionista*, llevado a cabo del 29 agosto de 2011 al 2 de septiembre del 2011 en el CEIICH-UNAM. Al interior de dicho espacio surgieron opiniones sobre el papel preponderante que deben jugar los expertos graduados de las academias sobre opiniones no científicas.

<sup>13</sup> La tendencia ascendente del gasto público ha ido disminuyendo drásticamente. Este indicador revela que el sector está pasando cada vez más del laboratorio a la aplicación concreta y su escalamiento a líneas de producción (a lo cual se suma, por supuesto, la crisis económica mundial). Así, del 2004 al 2008, el crecimiento del gasto público fue de alrededor de un 130% para después contraerse, hasta el día de hoy, en un 9.3%.

**TABLA 2.** Gasto gubernamental en nanociencia y nanotecnología en millones de dólares.

País o región	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
EUA	270	464	697	862	989	1,200	1,351	1,425	1,554	1,702	1,762
UE	200	225	400	650	950	1,050	1,150	1450	1,700	1,900	Nd
Japón	245	465	720	800	900	950	950	950	950	950	Nd
Otros	110	380	550	800	900	1,100	1,200	2,300	2,700	2,700	Nd
Total	825	1,534	2,367	3,112	3,739	4,200	4,651	6,125	6,904	7,252	Nd

Fuente: Roco, Mirkin y Hersam (2010).

Lo anterior no podemos reducirlo a una simple consecuencia de la repartición de recursos; es necesario abordar el problema desde distintas aristas, entre ellas la referente a la comunicación y el consenso de quienes van trazando el sendero científico, dígame de la nanotecnología o las tecnologías convergentes. Y es que a partir de éstas, la comunicación y la búsqueda de alguna forma de consenso, puede ser posible armonizar los diversos valores de la actividad humana y pretender, quizá, la búsqueda utópica de una suerte de relativo equilibrio epistémico, de tal modo que se pueda dejar de perseguir únicamente la certeza como la llave a la modernidad, e incluso la misma idea de modernidad y desarrollo como mera acumulación o crecimiento económico.

En este escenario, es evidente que las cuestiones éticas, sociales y ambientales de la tecnología de frontera —en especial aquellas relacionadas con la complejidad e incertidumbre de la misma— pueden ser punto de encuentro para el cada vez más necesario y deseable diálogo interdisciplinario de diversos actores, de formación, y visiones diversas del mundo. Es esta ventana de oportunidad la que debiera ser cada vez más demandada ante el aumento de la complejidad e incertidumbre de la tecnociencia; situación que sin duda requiere de un obligado alejamiento de la descalificación y de la búsqueda de caminos para el entendimiento, lo que no es igual al consenso íntegro de visiones y opiniones, pero sí de transparencia y comunicación acerca de las cuestiones que los diversos actores, directa e indirectamente involucrados o potencialmente beneficiados o afectados, consideran importantes.

El reto es considerable, puesto que lo moderno se traduce como la búsqueda de la autonomía y la confianza en la ciencia (Marcos, 2010: 100), cuya mutación está en función de la permanencia o no de un cierto modo de vida que implica una serie de valores políticos, económicos y sociales particulares y que por supuesto forman parte de las decisiones que toman los sujetos de manera individual y que después establecen de forma colectiva (*Ibid*: 70). Así, la modernidad, según Marcos (2010), exageró la autonomía llegando a la autonomía e incluso a la imposición de modelos jerárquicos, situación que se refleja permanente en el tema central de este ensayo: la descalificación entre las partes. Así, la pugna por eliminar las cuestiones metafísicas de la práctica científica no sólo excluyó y descalificó de a poco las creencias religiosas y alquímicas para colocar en el pedestal epistémico a la ciencia, sino que poco después y hasta la fecha ha emprendido también una lucha, implícita o explícita contra la relevancia y/o validez de las ciencias humanas, mismas que están en pos del sujeto y su

relaciones, así como lo que de éstas deriva (aunque en efecto, debe advertirse que éstas últimas no necesariamente apuestan por la defensa de la metafísica).

La búsqueda de un equilibrio entre el cultivo de relaciones sistémicas y de conexiones horizontales entre los diversos ámbitos de la vida humana parece entonces cada vez más utópico ya que el establecimiento de un diálogo entre lo moral, el arte y la ciencia suscita serías discusiones sobre la pertinencia de tomar en cuenta conocimientos imprecisos y difícilmente comprobables y verificables. No fue únicamente la lucha por darle un lugar preponderante al conocimiento científico, sino una larga campaña en contra de las desventajas de regirse por otros estilos de pensamiento, arguyendo que sólo la ciencia podría dirigir todos los ámbitos de la vida humana de una mejor manera. Actualmente, las colaboraciones interdisciplinarias son motivo de reticencia por parte de algunos investigadores que consideran poco o no lo suficientemente importante “desviar” sus esfuerzos para tomar también en cuenta una serie de variantes *blandas*. No obstante, en efecto se observa un cambio en los programas formales de investigación y desarrollo en áreas como la nanotecnología —y las Tcs— en donde, como se ha precisado, se ha tendido a incluir elementos o rasgos multidisciplinares y en ocasiones interdisciplinares (incluyendo materias de las ciencias humanas en programas de grado en el área) financiando proyectos sobre implicaciones éticas, sociales y legales o de divulgación; exigiendo la inclusión de algún experto de las ciencias sociales y las humanidades en los grupos de investigación aplicada en nanotecnología, como sucede en EUA, conformando grupos de expertos interdisciplinarios para el establecimiento de marcos regulatorios generales en el área, etcétera. De cara a la complejidad y grado de potenciales implicaciones de las innovaciones “nano”, el reto es aún mayor, y el camino largo, incierto y, al mismo tiempo, estimulante para conseguir realmente abandonar la descalificación de los conocimientos, los valores y las preocupaciones en juego. Esto es válido tanto para las ciencias naturales, exactas y las ingenierías, como para las ciencias sociales y las humanidades.

El esfuerzo es de gran valía, no sólo en el sentido del propio quehacer científico-tecnológico, sino también para ampliar las capacidades del manejo social<sup>14</sup> de la incertidumbre en áreas o aplicaciones tecnocientíficas donde lo que está en juego, los *stakes*, es cada vez mayor (Funtowicz y Ravetz, 1990).

Para ello nos parece oportuno el fomento de un establecimiento de relaciones horizontales entre los diversos ámbitos de la vida humana, ensayar distintas maneras de conectar esos diferentes ámbitos, sus valores, intereses y criterios, sin que se ejerza descalificación alguna sobre ninguno de ellos. Eso haría necesaria la reflexión sobre los pros y los contras de poner nuestro destino, en uno u otro grado, para bien y para mal, en manos exclusivamente de la tecnociencia. Una autonomía tecnocientífica, que se presume por la *sabiduría convencional* como un bien en sí misma, parece poco saludable y potencialmente costosa (tanto económica como socioambientalmente hablando) pues reduciría las posibilidades y ámbitos del ser humano a cuestiones meramente instrumentales. Asimismo, la búsqueda de la autonomía del sujeto en la acción y no sólo en el juicio se convierte en un tema controversial, pues más allá de una receta para hacer una mejor ciencia, habría que afrontar la estructura gubernamental y

<sup>14</sup> Somos conscientes de que tal manejo requiere, no sólo de identificar los procedimientos en los que los actores “negocian”, sino sobre todo, de dar cuenta de ciertos factores explicativos de su comportamiento. Esto significa que es necesario dar cuenta de aquello que posibilita comprender la dinámica, el rol y la responsabilidad que tienen los hombres y las mujeres como actores históricos y sociales involucrados.

de evaluación en la que se mueve diariamente el sujeto, la cual imponen diques para un libre desplazamiento en cuanto a la libertad de juzgar en cada campo basándose en sus propios criterios y valores; o bien, cuestionar los valores de ese momento. Esta ampliación de variables en un contexto con estructuras bien establecidas podría convertirse en un problema al momento de ejercitar el consenso, de manera que hay una tarea pendiente tanto para la filosofía de la ciencia como para los investigadores.

## RESPONSABILIDAD Y DEBATE

La ciencia, como una actividad humana, produce, transforma, comunica y distribuye el conocimiento (Velasco en Broncano: 2009). En tanto, poner énfasis en los productos finales de la ciencia sin tomar en cuenta los valores e intereses de los sujetos, si bien es importante, nos impediría ver la serie de destinos presupuestos, dirigidos por ciertas particularidades de los sujetos, así como por dinámicas socialmente construidas correspondientes al marco que establecen los diversos proyectos de nación. En tanto tal, ser conscientes de la injerencia del individuo en la obtención de determinados resultados, abre la posibilidad de desarrollar una responsabilidad-compromiso más amplio por parte de los colectivos que trabajan en la producción y avance de la tecnociencia, incluyendo una actitud un tanto más crítica y responsable respecto de su propio trabajo y una apertura hacia otras versiones del mundo. Ello, permitiría abrir paso a una nueva manera de producir conocimiento, todo al tiempo que se sientan bases sólidas para un consenso social, por mínimo que sea, sobre las prioridades de la investigación y la distribución más justa de los costos y beneficios.

La manera en que actualmente se evalúa a los sujetos que producen conocimiento, basada en estándares de medición de la productividad en cantidades y no necesariamente de forma cualitativa y acorde con cada especialidad, ha derivado en que el sujeto se concentre más en acumular artículos, menciones, participaciones y patentes, más allá de la calidad del aporte desarrollado. Desde luego, hay excepciones.

Existe pues una cuota productiva que responde a cuestiones de financiamiento, ingresos y evaluaciones personales, mediciones numéricas y no necesariamente a los alcances sociales de las innovaciones (en el sentido de la solución concreta y a fondo de las principales demandas sociales). Por ende, se puede argumentar que los beneficios de la tecnociencia no en pocas ocasiones se asumen como una cuestión automática, cuyo impacto social eventualmente llega a toda la sociedad, mientras que sus potenciales implicaciones no deseadas tienden a ser ignoradas o se asume que siempre son manejables. Es una situación que en contextos de alta incertidumbre, como se podría abogar para el caso de ciertas aplicaciones nanotecnológicas o de las TCs, bien puede resultar contraproducente, pues no necesariamente se estimula el desarrollo del mejor conocimiento posible sobre determinados aspectos para la toma de decisiones, en una manera informada, transparente y con visión de largo plazo. Los costos potenciales son múltiples, desde colateralidades indeseables que pudieron prevenirse o cuyo impacto pudo ser aminorado, hasta aspectos como la duplicidad de esfuerzos y por tanto de costos; la dispersión de esfuerzos; un (auto)limitado aprovechamiento de oportunidades para hacer llegar desarrollos tecnológicos socioambientalmente útiles a tiempo o en marcos temporales socioambientalmente adecuados; etcétera.

Sustituir la estructura científica actual por una receta de buenas intenciones sería inadecuado y casi imposible. Jesús Vega Encabo (en Broncano, 2009:52) propone

reemplazar la racionalidad instrumental por un modelo donde la estructura del espacio social cobre mayor importancia y al interior del cual los individuos estén comprometidos a ejercer la *razón pública* en su actividad científica.<sup>15</sup> Ello implicaría, por un lado, un ejercicio de diálogo participativo que logre integrar, pero también trascender la demostración experta de modo tal que el resultado sea útil para la toma de decisiones (incluyendo las políticas), esto es, que habilite la mejor información disponible en un momento dado como consecuencia de un proceso que parte de un consenso social mayoritario (Funtowicz y Strand, 2007). Por otro lado, demandaría la construcción de una ética en continuo cambio, de una ética especializada (enfocada en la resolución de dilemas éticos) hacia una ética cada vez más panorámica (interesada en problemáticas relativas a la propia lógica del avance tecnocientífico y que trata de contestar preguntas como ciencia para qué y para quién, a costo o a cambio de qué, entre otras cuestiones) (al respecto, léase Strand y Nydal, 2008; para una reflexión alrededor del caso de la nanomedicina: Delgado, 2011).

El rescate de dicha razón pública en un contexto en el que ha prevalecido la descalificación entre disciplinas, e incluso entre los individuos, se vuelve pertinente desde el replanteamiento de una autoridad epistémica no fija, sino renovada y en permanente construcción y enriquecimiento. Tal autoridad se manifiesta, según lo entendemos, como una entidad en el espacio de las relaciones interpersonales, espacio en el que se discuten temas en común y bajo principios racionales para la mayoría de los sujetos. Una esfera pública donde los sujetos se asocian de manera libre, guiando su conducta bajo ciertos principios que rigen las discusiones y que ciertamente habrá que construir sin que éstos tomen tintes restrictivos, sino más bien de guías que eviten anarquías y entropías comunicativas; pero, en todo caso, si bien se trata de ejercer la razón pública, es cierto que un consenso de mediana índole será siempre necesario para poder establecer márgenes de desplazamiento.

Ese camino se observa como fundamento clave para una cooperación fructífera entre los diversos actores involucrados en la conformación de la ciencia y la tecnología, pero también, con otros, dígase aquellos en los espacios de toma de decisiones.

## DESCALIFICACIÓN *VERSUS* COMUNICACIÓN

Uno de los principales retos que enfrenta la gestión de producción de conocimiento de corte interdisciplinar, humanista y participativa es el trazo de puentes comunicativos. Tratar las razones y valoraciones de los otros como de peso similar a las propias parece una hazaña. ¿Cómo dotar de la misma pretensión de autoridad a las razones que no están en nuestra habitual línea de pensamiento? Aquí encontramos una parábola puesto que es más sencillo aceptar razones que están en función de nuestras preferencias, de nuestra visión del mundo, y, sin embargo, es la variabilidad en nuestras

---

<sup>15</sup> Un cambio de tal naturaleza significa para Encabo la sustitución de la racionalidad instrumental por el ejercicio de la razón pública, un proceso dentro del cual la estructura del espacio social tenga un peso importante (en Broncano, 2009: 51). Para Broncano, la razón pública es el ejercicio de principios semejantes a los propuestos por Kant, consistente en las máximas del sentido común, presentes en los intercambios mundanos de los individuos, y que se presentan como inherentes al sujeto (*Ibid*). De tal manera, que la esfera pública se conforma por un ámbito social y uno político, que aplicado al terreno científico puede alimentarla con el planteamiento de conflictos surgidos en torno a la naturaleza individual y social del sujeto (*Ibid*).

preferencias y visiones las que nos llevan a plantear el fortalecimiento de la comunicación entre sujetos epistémicos de áreas distintas y lo que nos encamina hacia la posibilidad de construir un conocimiento más robusto.

De manera intrínseca, la disección y subespecialización de las disciplinas surgidas para conocer al mundo contribuyen al debate, ya que no sólo hablamos de una ciencia global, sino de jerarquías disciplinares, donde unas tienen mucho mayor peso epistémico que otras, así que el encuentro de todas en un punto de retroalimentación es un reto. Ello, como se ha precisado anteriormente, es incluso visible en la convergencia de la nanociencia y la nanotecnología con otras disciplinas o con otras tecnociencias (léase TCs). En este sentido, la metodología, los valores y objetivos “idóneos” de una sociedad que quiere transitar hacia un estadio pleno de la razón se convierten en un problema al momento de querer definir dicha ruta.

El establecimiento de puentes y puntos de entendimiento pretende sortear la autarquía absoluta de la tecnociencia, evitando que ésta encabece un poder sin regulación alguna en la vida común de los sujetos,<sup>16</sup> de ahí que la alternativa esté en pensar en un sujeto genuinamente responsable; consciente de la inserción de sí mismo en aquel conocimiento que produce, capaz de reconocer las consecuencias positivas y negativas de su proceder, consciente del peso epistémico, político y social que tiene su actividad.

En tanto, la comunicación —el diálogo participativo— es la única actividad que puede retroalimentar la tarea científica porque permite eliminar los *excesos* e intentar contrarrestar lo que Ortega ha llamado la “barbarie del especialismo” (en Marcos, 2010), esto es, la tendencia hacia la uniformidad, al acotamiento de posibilidades, a la segregación. Se trata de un especialismo al interior del cual se erige la tecnociencia como un modelo a seguir; un autómatas, un *golem* (Collins y Pinch, 1998) y no como un ámbito o subsistema más que puede ser integrado a la vida humana, no como un fin último, sino como un elemento positivo de configuración social.

La búsqueda del equilibrio requiere el distanciamiento de la actitud de poder que algunas disciplinas han tomado sobre otras en un ejercicio para poder combatir las descalificaciones y fomentar el trabajo interdisciplinar y donde la actitud regulatoria y de guía provenga de los debates llevados a cabo entre distintas versiones del mundo. En este sentido, se convierte en una necesidad la integración de redes epistémicas alejadas de una visión de producción de conocimiento exclusivamente para la innovación tecnológica en sí misma. En cambio, se considera necesaria la gestión de la producción de conocimiento antes de la conformación y planteamiento de los proyectos, de tal modo que éstos respondan a las necesidades sociales más urgentes, esto es, de quienes al final le dan sentido a la producción de conocimiento.

La integración de la ciencia en el conjunto de la vida humana sólo puede conseguirse a partir del desarrollo del diálogo y la crítica al interior de la comunidad científica, y de ésta hacia fuera con el resto de la sociedad. Una perspectiva sistémica supondría la comprensión de una sociedad como un sistema compuesto de otros subsistemas, todos ellos relacionados entre sí. Aquí la importancia de disipar por completo la idea de una tecnociencia que tiene la autoridad y exclusividad de dirigir o definir en una u otra medida todos los diversos ámbitos de la vida; de una tecnocien-

<sup>16</sup> Es decir, un contexto en el que en lugar de que la tecnociencia sirva al sujeto, el sujeto sirva a la tecnociencia (para una reflexión sobre la relación entre el sujeto investigador y objeto investigado, léase, por ejemplo, Latour (1979 y 2001).

cia sin errores, siempre capaz de manejar la incertidumbre, y con una bondad intrínseca para el desempeño de la esfera social.

En un primer acercamiento al diálogo, la descalificación requiere hacerse a un lado para dar paso a la posibilidad de otras visiones del mundo, mismas que no orlilen al sujeto a la aceptación sin reflexión ni diálogo, sino justamente al intercambio de ideas y el planteamiento de visiones conjuntas. La conformación del avance científicotecnológico como tecnociencia, como se ha dicho, ha traído consigo nuevos valores que no tienen por qué dictaminar un sistema cerrado. En cambio, los resultados de ese avance pueden ser medios para la interrelación de las distintas áreas del conocimiento.

Sin embargo, es la visión de un sistema global la que ha problematizado la llegada de la tecnociencia, pues la ha llevado a establecer un conflicto con la esfera del saber. De manera que, la absolutización de la esfera del saber reduce la esfera de la moral a la intimidad de los individuos, anula las posibilidades de una discusión pública, de carácter panorámico, y la convierte en una cuestión de preferencia o disyuntivas éticas particulares.

La moral se convierte entonces en un asunto que se explica desde una perspectiva científica, que incluso puede ser manipulada y modulada de manera técnica, con argumentos neurofisiológicos, psicológicos o sociológicos, que luchan por una tecnificación del individuo, quien sólo se reduce a responder a fórmulas implantadas por la naturaleza, misma que parte de una interpretación del sujeto epistémico. Si bien no todos los esquemas de innovación tecnológica calzan del todo con este esquema, sí existen interpretaciones cercanas como las propuestas del uso de las tecnologías convergentes para el mejoramiento humano o nociones que hablan del (re)diseño de la materia a escala atómica para mejorar a la naturaleza (de ahí se derivan propuestas nano denominadas *biobimicry* —o *biomimetics*—, esto es, imitar a tales escalas “las mejores ideas de la naturaleza”, mejorándola o adaptándola).

Por tanto, consideramos que el diálogo permite plantear situaciones relacionadas con el impacto de la investigación científica —dígase en este caso de las tecnologías convergentes a la escala nano— en los valores socialmente reconocidos, tales como los derechos humanos, la dignidad, la salud o la seguridad, entre otros; áreas que suelen estar delimitadas por fronteras sociopolíticas, jurídicas o económicas.

El diálogo parece ser la manera más efectiva, sino es que la única deseable para alinear la balanza y establecer un debate que impulse la producción y gestión del conocimiento desde un punto de vista que garantice, en la medida de lo posible, que la ciencia y la tecnología beneficie efectivamente los intereses de la gran mayoría, al tiempo que mantenga una armonía con la naturaleza y que es marco primero y último de referencia de la vida misma.

La acción comunicativa no persigue finalidades funcionales, tampoco se atiene a criterios estratégicos, en todo caso, busca el genuino entendimiento. Es todo un reto que sin duda alguna se debería atender, sobre todo por parte de las nuevas tecnologías y en particular de aquellas que se construyen sobre la base de la convergencia.

## REFLEXIONES FINALES

A principios del siglo XXI, con el empuje de las llamadas tecnologías convergentes, viene quedando patente el hecho de que el quehacer político está siendo rebasado por el

alto grado de complejidad e incertidumbre que ha alcanzando, desde hace ya un tiempo la tecnociencia. Esto es no sólo por la cada vez más complicada toma de decisiones, sino porque pone en cuestión una serie de *hechos* y *valores* medidos subjetivamente desde nuestra limitada proximidad temporal como individuos que construimos tan sólo un momento de la historia (pero que sin duda llegan a tener repercusiones de largo plazo).

De frente a tal situación se han desarrollado diversas propuestas que puedan hacer “más manejables” la incertidumbre y los conflictos de valores a través de abrir el proceso de evaluación (y, consecuentemente, en una u otra forma el de asesoría política) (Funtowicz y Ravetz, 1990; Funtowicz y Strand, 2007; Gibbons *et al.*, 1997; Wickson, 2011); un señalamiento valioso en sí mismo, independientemente de las particularidades de cada propuesta. La idea, en términos generales, es no asumir los ‘hechos’ como dados y la de incluir, por la vía de un amplio dialogo participativo, la diversidad de ‘valores’ que comprende una problemática dada.

Así, partiendo de la noción de la necesidad de abrir este proceso a través del establecimiento de un diálogo social ‘genuino’ y la deconstrucción del dualismo del ‘experto’ (cómo se define quién es experto y cómo se determina cuál o cuáles son las evaluaciones, aproximaciones y procedimientos correctos), se hace una propuesta epistemológica normativa *del cómo* proceder para abrir el sistema de evaluación de ‘pares válidos’ cuando hay una fuerte incertidumbre (Funtowicz y Ravetz, 1990).

La necesidad de este ejercicio se establece cuando se observa un incremento cada vez mayor de un discurso que llama a la participación extendida, misma que es entendida como el dar a las partes ‘no expertas’ el *potencial* derecho de voz en un contexto en el que dicha participación está determinada por los expertos y sus diversas jerarquías, de modo que siguen siendo los que definen los parámetros, las aproximaciones y las partes participantes.

En el caso de los ejercicios de evaluación de la incertidumbre, como es el caso de la nanotecnología u otras tecnologías que conforman las TCs, se observa una gran variedad de versiones que en su mayoría siguen atadas, en un grado u otro, al proceder del experto tradicional pese a que en efecto aumentan las iniciativas que rompen con la disciplinariedad y con la comunicación reducida a pares afines, esto es, entre las ciencias naturales, exactas y las ingenierías, dejando de lado las ciencias sociales y las humanidades. El llamado al diálogo y al debate público sobre los aspectos éticos, sociales y ambientales de la nanotecnología sigue en general impregnado de esos parámetros cuando establece un encuadre particular *a priori* (explícito y/o implícito), dígase por ejemplo de las ‘partes’ participantes, las cuestiones que se consideran relevantes, el contexto de debate y del diálogo.

Es un panorama en el que concordamos con Strand cuando precisa que:

[...] mientras unos sugieren la necesidad de una plataforma de conocimiento estratégico sobre las percepciones del público, desde la cual se pueda actuar sobre éstas y modificarlas, otros prefieren mantener el caso abierto independientemente de si el público tiene buenas o malas razones para estar en contra[...] enfatizando la necesidad de comprender y aprender a partir del análisis de las diversas perspectivas que están presentes en el debate. La mayoría tendería a coincidir, sin embargo, en que la situación actual de desconfianza entre el público y el *establishment* tecnológico es altamente indeseable y costosa. (Strand en: Foladori e Invernizzi, 2006: 53-54)

Lo anterior significa que en el avance de las TCs, en conjunto o de manera individual —nanotecnología, biotecnología, etcétera—, la justificación de su avance, del

gasto destinado y su composición (que implica destinar recursos a cambio de algo más o con énfasis en ciertas cuestiones), así como las propias limitaciones y expectativas, deben ser ampliamente comunicadas, dialogadas y consensuadas socialmente.

El papel y la participación del “gran público” es pues crucial e inevitable, aunque desde luego en el proceso se requiere, entre otros aspectos y tal y como sugiere Wynne (en Rip *et al.*, 1995), de una distinción entre conocimiento real del riesgo y percepciones subjetivas, no sólo en el caso de “la agenda” del público en general, sino las de todos los grupos y subgrupos que componen el tejido de hombres y mujeres de ciencia.<sup>17</sup>

El futuro, más allá de las TCs y del sistema actual de producción, está en nuestras manos, sea para bien o para mal; para su gestión en colectivo o por grupos jerárquicos particulares. En cualquier caso, si se piensa en un contexto democrático, la construcción colectiva de la *conciencia social*<sup>18</sup> se perfila como la punta de lanza para la búsqueda y edificación de proyectos más coherentes y robustos, así como socioambiental y democráticamente responsables.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arnaldi, Simone., Delgado, Gian Carlo., Piccinni, Mariassunta., Poletti, Piera. (eds.). (2011). *Nanomedicina. Entre políticas públicas y necesidades privadas*. CEIICH, UNAM/CIGA, Universidad de Padua. México.
- Baum, Rudy. (2003). “Drexler and Smalley make the case for and against ‘molecular assemblers’”. *Chemical & Engineering News*, vol. 81, núm. 48: 37-42.
- Beck, Ulrich. (1992). *Risk society: Towards a new modernity*. Sage. Londres, Reino Unido.
- Bierstedt, Robert. (1966). *Emile Durkheim*. Dell Publishing Co. New York, EUA.
- Bibel, Wolfgang (editor y rapporteur). (2004). *Converging technologies and the natural, social and cultural world*. Special Interest Group for European Comisión via an Expert Group on Foresighting the New Technology Wave.
- Bouchard, Raymond. (2003). *Bio-systemics síntesis*. Science and Technology Foresight Pilot Project. Reporte núm. 4. Canadian National Research Council. Canadá.
- Broncano, Fernando. (2009). *La ciencia y sus sujetos*. Siglo XXI, México.
- Collins, Harry y Pinch, Trevor. (1998). *The Golem: What you should know about science*. Cambridge University Press, Reino Unido.

---

<sup>17</sup> El autor suscribe textualmente en torno a la conflictividad de las percepciones de los “expertos” y del “público corriente” que: “...either of these conflicting judgements or models is legitimate and arguable; there is relevant evidence to deploy, and structure to the institutional debate which would need to be articulated amongst the different parties. However the expert framing is no more objectively grounded nor automatically superior, just because it commands the rhetoric of asocial objectivity. A resolution of this controversy would have to be negotiated, not imposed a priori by defining it as a dispute between real risk-knowledge and mere subjective perceptions. A learning process would have to encourage each party to recognise, articulate and debate the unrecognised social models, assumptions and commitments tacitly shaping its factual discourse. These are not ‘impacts’ models, but become prescriptive ordering commitments.” (Wynne en: Rip *et al.*, 1995: 27).

<sup>18</sup> Se sigue la sugerencia de Durkheim sobre su conceptualización de “conciencia colectiva”: aquella que se piensa como la *conciencia social total*, en la que es imposible pensar en uno mismo sin pensar en los demás. Si bien es cierto que la conciencia colectiva es totalmente diferente a la conciencia individual; en efecto, no se puede llegar a ella si no es a partir de esta última. La conciencia colectiva si bien no se mantiene constante a lo largo de la historia del ser humano, siempre es la misma para el conjunto social y nunca pierde su carácter colectivo. Véase: Bierstedt (1966: 64-84).

- Delgado-Ramos, Gian Carlo. (2002). *La amenaza biológica: mitos y falsas promesas de la biotecnología*. Plaza y Janés, México.
- Delgado Ramos, Gian Carlo. (2008). *Guerra por lo invisible. Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. CEIICH, UNAM, México.
- Delgado Ramos, Gian Carlo. (2010). "Ciencia, tecnología y competitividad del aparato tecnocientífico y productivo estadounidense." *Norteamérica. Revista académica del CISAN-UNAM*, año 5, núm. 2, México, julio-diciembre.
- Delgado Ramos, Gian Carlo. (2011). "Implicaciones éticas, economicosociales y legales de la nanomedicina: el caso de México", en: Arnaldi, Simone., Delgado, Gian Carlo., Piccinni, Mariassunta., Poletti, Piera. (eds.). *Nanomedicina. Entre políticas públicas y necesidades privadas*. CEIICH, UNAM/CIGA, Universidad de Padua. México: 67-112.
- Di Trocchio, Federico. (1995). *Las mentiras de la ciencia*. Alianza Editorial, Madrid, España.
- Dupuy, Jean Pierre. (2000). "Do we shape technologies, or do they shape us?" en: Dupuy, Jean Pierre, *The mechanization of the mind*. Princeton: Princeton University Press. EUA.
- Dupuy, Jean-Pierre. (2004). *Complexity and uncertainty. A prudential approach to nanotechnology*. Presentación escrita en la reunión "Mapping out nano risks" de la Dirección General de Salud y Protección al Consumidor de la Comisión Europea. 1-2 de marzo.
- Dupuy, Jean Pierre y Grinbaum, Alexei. (2004). "Living with uncertainty: Toward the on-going normative assessment of nanotechnology". *Techné*, vol. 8, núm 2, invierno.
- Etzkowitz, Henry. (1994). "Academic-industry relations: A sociological paradigm for economic development", en Leydesdorff y Van den Besselaar (eds.), *Evolutionary economics and chaos theory: New directions in technology studies*. Pinter, Londres, Reino Unido.
- Echeverría, Javier. (2003). *La revolución tecnocientífica*. FCE, España.
- Funtowicz, Silvio y Ravetz, Jerome R. (1990). *Uncertainty and quality in science for policy*. Kluwer Academic. Londres, Reino Unido.
- Funtowicz, Silvio y Strand, Roger. (2007). "De la demostración experta al diálogo participativo". *Revista CTS*, vol. 3 núm. 8: 77 - 113. España, abril.
- Foladori, Guillermo e Invernizzi, Noela (coords.) (2006). *Nanotecnologías disruptivas. Impactos sociales de las nanotecnologías*. Porrúa, México.
- Gibbons, Michael et al. (1997). *La nueva producción del conocimiento*. Pomares-Corredor. Barcelona, España.
- Kjolberg, Kamilla; Delgado, Gian Carlo; Wickson, Fern; Strand, Roger. (2008). "Models of governance for converging technologies". *Journal of Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 20: 83-97, Routledge, Reino Unido.
- Kuhn, Thomas S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. FCE, México.
- Latour, B., y Woolgar, S. (1979) *Laboratory life*. Sage, Londres.
- Latour, Bruno. (2001). *La esperanza de Pandora*. Gedisa, España.
- Melman, Seymour. (1970). *Pentagon capitalism*. McGraw-Hill Paper Backs, Nueva York, EUA.
- McGrath, Patrick J. (2002). *Scientist, business and the State*. The University of North Carolina Press, EUA.
- Marcos, Alfredo. (2010). *Ciencia y acción*. FCE, México.

- Nordmann, Alfred (*rapporteur*). (2004). *Converging technologies-Shaping the Future of european societies*. Comisión Europea, Bruselas.
- Pérez, Carlota. (2004). *Revoluciones tecnológicas y capital financiero*. Siglo XXI, México.
- Ravetz R. Jerome (1971). *Scientific knowledge and its social problems*. Oxford University Press, Nueva York, EUA.
- Ravetz, Jerome y Strand, Roger. (2007). "De la demostración experta al diálogo participativo". *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol. 3, núm. 8. Buenos Aires, Argentina.
- Rip, Arie, Misa, Thomas y Schot, Johan. (1995). *Managing technology in society. The approach of constructive technology assessment*. Pinter, Londres, Reino Unido.
- Roco, Mihail, C. y Bainbridge, William. (2002). *Converging technologies for improving human performance*. National Science Foundation. EUA, junio.
- Roco, Mihail, Mirkin, Chad y Hersam, Mark. (2010). *Nanotechnology research directions for societal needs in 2020*. Springer. EUA.
- Rose, Hilary, y Rose, Steven. (1980). *La radicalización de la ciencia*. Nueva Imagen, México.
- Sölvell, Örjan. (2008). *Clusters. Balancing evolutionary and constructive forces*. Ivory Tower Publishers. Estocolmo, Suecia.
- Strand, Roger y Ungar, Paula. (2005). "Complejidad: una reflexión desde la ciencia de la conservación". *Nómadas*, abril, 36-46.
- Strand, Roger y Nydal, Rune. (2008). "Nanoética buena-nanotecnología buena". *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria de Nanociencia y Nanotecnología*, vol 1, núm. 1. nanoUNAM, México: 61-79.
- Takeuchi, Noboru (coord.). (2011). *Nanociencia y nanotecnología. Panorama actual en México*. CEIICH-UNAM. México.
- Wickson, Fern. (2011). "Gobernanza nanotecnológica: por qué no podemos confiar en evaluaciones de riesgo científicas". *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, vol. 4, núm. 1, enero-junio: 33-56.
- Wynne, Brian. (1992). "Uncertainty and environmental learning". *Global Environmental Change*, vol. 2, núm. 2, junio.
- Wynne, Brian (*chairman*). (2007). *Taking european knowledge society seriously*. Comisión Europea. Informe del Grupo de Expertos en Ciencia y Gobernanza. Bélgica.